

## АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ КОЛИЧЕСТВА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СЕТИ НА РЕЗУЛЬТАТ CFD – РАСЧЕТА

*Новикова Ю.Д., Попов Г.М., Горячкин Е.С.*

Научный руководитель: Г.М. Попов, ассистент

*(Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика  
С.П. Королёва (национальный исследовательский университет))*

Аннотация: В данной работе было исследовано влияние размерности расчётной сетки на результаты моделирования характеристик компрессора. Предметом исследования является трехступенчатый компрессор низкого давления газотурбинного двигателя. Расчет был проведен в программном комплексе Numeca Fine/Turbo.

## THE ANALYSIS OF INFLUENCE OF FINITE ELEMENT GRID QUANTITY ON THE CFD – CALCULATION RESULT

*Novikova Yu., Popov G., Goryachkin E.*

Supervisors: G. Popov, assistant

*(SAMARA STATE AEROSPACE UNIVERSITY)*

Abstract: Influence of finite element grid quantity on received characteristics of the compressor was investigated in this work. An object of research is the three-stage compressor of low pressure of the gas-turbine engine. Calculation was carried out in the program Numeca Fine/Turbo complex.

В настоящее время программные комплексы, предназначенные для численного моделирования газодинамических процессов, широко применяются в турбомашиностроении и позволяют моделировать реальные процессы с достаточной точностью. Это стало особенно актуально с появлением вычислительной техники большой мощности. Однако моделирование сложных процессов, например, протекающих в авиационном двигателе, все еще требует длительного промежутка времени. В связи с этим видится актуальным определить оптимальные параметры численных моделей, которые позволят получить достоверные результаты, при наименьших ресурсозатратах.

Предметом исследования является компрессор низкого давления (КНД) газотурбинного двигателя. Расчет был осуществлен в программном комплексе *Numeca Fine/Turbo*, его результатом стало получение основных параметров потока в компрессоре. На их основе были построены следующие зависимости: КПД компрессора  $\eta_k^*$ , степени повышения давления компрессора  $\pi_k^*$  от расхода воздуха  $G_B$ . В результате работы было исследовано влияние размерности расчётной сетки на результаты моделирования характеристик компрессора.

Выработаны рекомендации по построению расчётных моделей компрессоров низкого давления.

В ходе выполнения работы были созданы три расчётные модели КНД. Расчётные модели отличались друг от друга количеством элементов расчётных сеток. Так, модель первого уровня (*КНД\_сетка1*) содержала, примерно, 450 000 элементов на один лопаточный венец (ЛВ). Модель второго уровня (*КНД\_сетка2*) – примерно, 1 000 000 элементов на один ЛВ. Модель третьего уровня (*КНД\_сетка3*) - примерно 2 000 000 элементов на один ЛВ.

Создание не одной, а трех расчётных моделей, необходимо для обоснования выбора достаточного количества элементов расчётной сетки в межлопаточных каналах для численного моделирования рабочего процесса в КНД (исследование так называемой *сеточной сходимости*);

При построении всех численных моделей использовались следующие допущения.

1. Течение в каждом ЛВ направляющего аппарата (НА) и рабочего колеса (РК) обладает свойством циклической симметрии. Иными словами, течения во всех межлопаточных каналах в пределах одного ЛВ одинаковы, поэтому каждый ЛВ можно моделировать одним межлопаточным каналом с наложенными на его боковые поверхности условиями периодичности.

2. Характер течения в компрессоре не является сугубо нестационарным: отсутствуют крупные вихри, пульсации и т.д. Поэтому расчёт можно выполнять в стационарной постановке.

3. Деформация лопаток от рабочих нагрузок моделировалась раскруткой лопаток на некоторый угол. Для втулочного сечения угол был принят равным нулю. В периферийном сечении угол был принят равным одному градусу. В остальных сечениях угол раскрутки определялся из условия линейного закона распределения по высоте лопатки;

4. Свойства рабочего тела описываются моделью идеального газа с учетом переменности теплоёмкости и вязкости в зависимости от температуры рабочего тела.

5. Турбулентность изотропна по всем направлениям. Данное допущение позволяет использовать при расчётах более простые, а, следовательно, менее затратные с точки зрения вычислительных ресурсов одно- и двухпараметрические модели турбулентности, такие как *Spalart-Allmaras*, *k-ε* и *'SS'k-ω*.

На основе указанных допущений в программном комплексе *Numeca AutoGrid5* была построена геометрия расчётной области КНД. Построение сеток также выполнялось в программном комплексе *Numeca AutoGrid5*. Полученная сетка для модели «*КНД\_сетка1*» представлены на рис. 1.

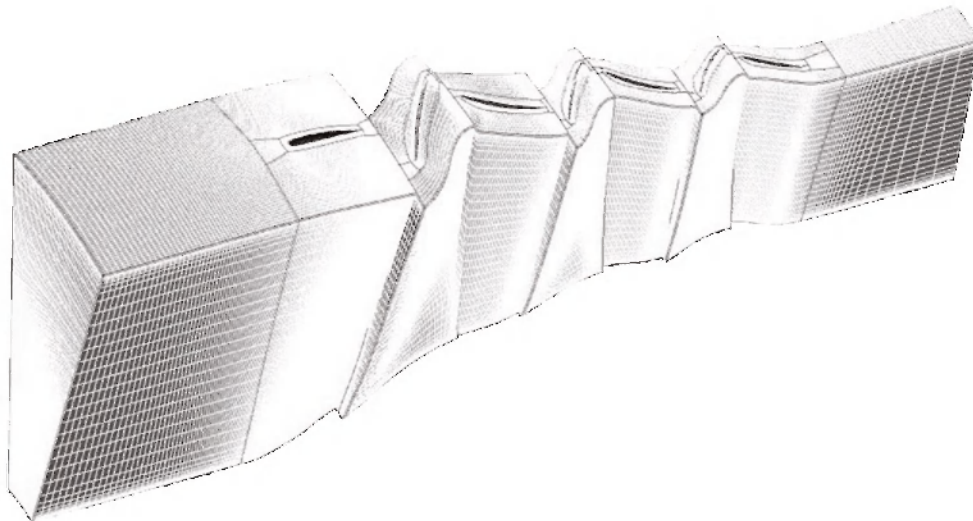


Рис. 1. Сетка конечных элементов для модели первого уровня

Расчёты выполнялись в стационарной постановке с использованием модели турбулентности *Spalart-Allmaras*.

При расчётах компрессора учитывалось вращение доменов РК. Скорость вращения определялась режимом работы КНД и составляла 5000 об/мин (режим 1) и 5500 об/мин (режим 2).

В качестве интерфейса между доменами лопаток НА и РК использовался интерфейс *Full Non Matching Mixing Plane*, усредняющий при передаче данных параметры потока в окружном направлении.

В качестве граничных условий на входе в компрессор были заданы атмосферные условия. На выходе из компрессора задавалось статическое давление на втулке.

По результатам расчёта характеристик с использованием каждой из моделей были построены следующие зависимости (Рис. 2 и Рис. 3).

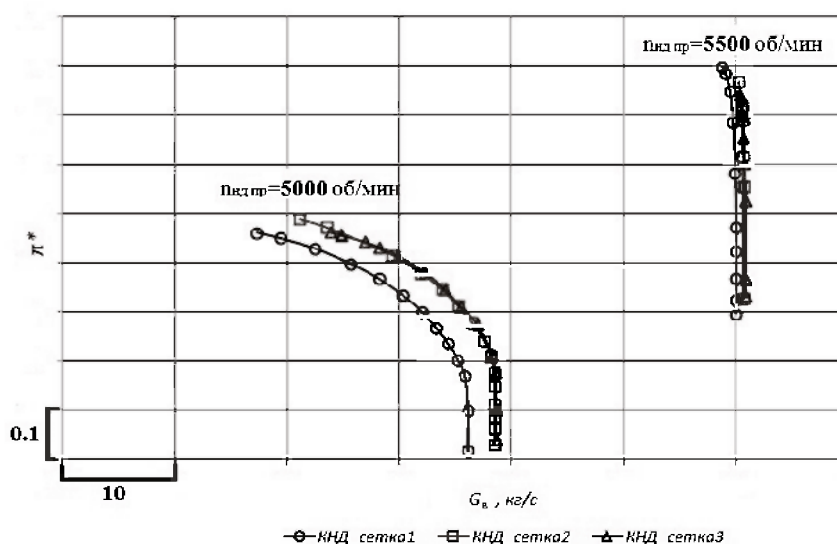


Рис. 2. Зависимость  $\eta_k^* = f(G_B)$  для КНД

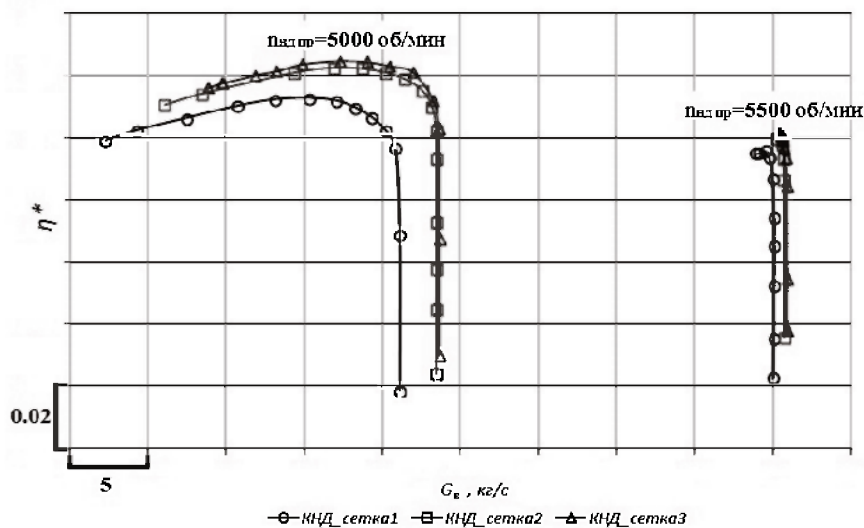


Рис. 3. Зависимость  $\pi_x^* = f(G_B)$  для КНД

Из анализа полученных графиков (Рис. 2) можно сделать следующие выводы:

1. Модели всех трёх уровней КНД позволяют оценивать характер изменения основных параметров, несмотря на некоторую погрешность в предсказании абсолютных величин параметров;

2. Видно, что зависимости, полученные при расчёте с использованием моделей второго и третьего уровня, отличаются друг от друга незначительно. Следовательно, при исследованиях достаточно использовать модели второго уровня, как обеспечивающие ту же точность, но имеющие меньшее количество элементов расчётной сетки по сравнению с моделями третьего уровня.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Правительства Российской Федерации (Минобрнауки) на основании постановления №218 от 09.04.2010 (шифр темы 2013-218-04-4777)*