

## РАСЧЁТНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ШЕСТИСТУПЕНЧАТОГО ОСЕВОГО КОМПРЕССОРА ДВИГАТЕЛЯ НК8-2У

Д.В. Ворошнин, А.С. Муравейко  
ООО «НУМЕКА», Санкт-Петербург

### NUMERICAL COMPUTATION OF INTEGRAL CHARACTERISTICS OF STAGE COMPRESSOR OF THE NK8-2U ENGINE

D. Voroshnin, A. Muraveiko  
Numeca Russia, St.Petersburg

### AN AXIAL SIX

Numerical computations are performed for a six stage axial compressor to obtain its integral characteristics. Different widths of tip gaps and hot geometry imitation are considered. The influence of casing treatment on the stall margin and integral characteristics is investigated for the first three stages.

Проведено расчётное исследование течения и определение интегральных характеристик осевого шестиступенчатого компрессора двигателя НК8-2У, который включает стойку, регулируемый входной направляющий аппарат и шесть ступеней. В расчётах учтены радиальные зазоры в рабочих колёсах, расточка ротора и внезапное расширение канала перед спрямляющим аппаратом (Рис.1).

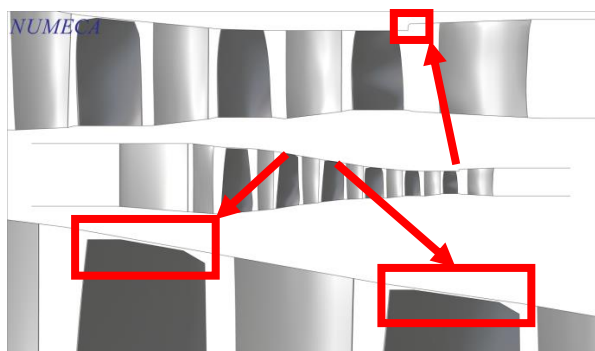


Рис.1. Геометрическая модель компрессора.

Расчёты проведены в ПО NUMECAFINE/Turbov 11.2 в стационарной постановке и с использованием нелинейного гармонического метода (NLH), позволяющего учитывать нестационарные эффекты в турбомашине, связанные с ротор-статор взаимодействием. Граничные условия на входе - полное давление и температура, направление потока. Направление потока задавалось эпюрой, соответствующей выходу из направляющего аппарата третьей ступени КНД (Рис.2). Испытания КВД проводились отдельно от двигателя, т.е. в изолированном состоянии ( $T_{вх}^* = 288,15$  К и  $p_{вх}^* = 101325$  Па). При

проведении испытаний перед стойками опоры компрессора устанавливался входной направляющий аппарат, который и задавал указанные углы. На выходе ставились граничные условия среднего статического давления или массового расхода.

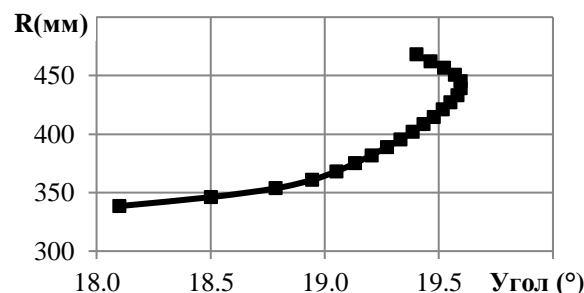


Рис.2 Радиальная эпюра углов потока на входе.

Рассмотрены три варианта геометрии компрессора:

1) Горячие зазоры (холодная геометрия лопаток с зазорами 0.2 мм в каждом рабочем колесе)

2) Холодные зазоры (холодная геометрия с зазорами, принятыми в конструкторской документации (КД))

3) Имитация горячего состояния дисков (сделано предположение, что диск первого ротора вытягивается на 0.2 мм, диск 6-го ротора - на 1 мм, остальные диски вытягиваются линейно). Зазоры при этом закрывались с учётом подъёма втулки, основываясь на значениях зазоров, принятых в КД).

Расчётные характеристики модели с имитацией горячего состояния близки к характеристикам с холодными зазорами в запуске и приближаются к

характеристикам с горячими зазорами у границы устойчивости (Рис.3). Учёт нестационарных эффектов в компрессоре привёл к существенному занижению  $\eta^*$  и увеличению КПД на 1%.

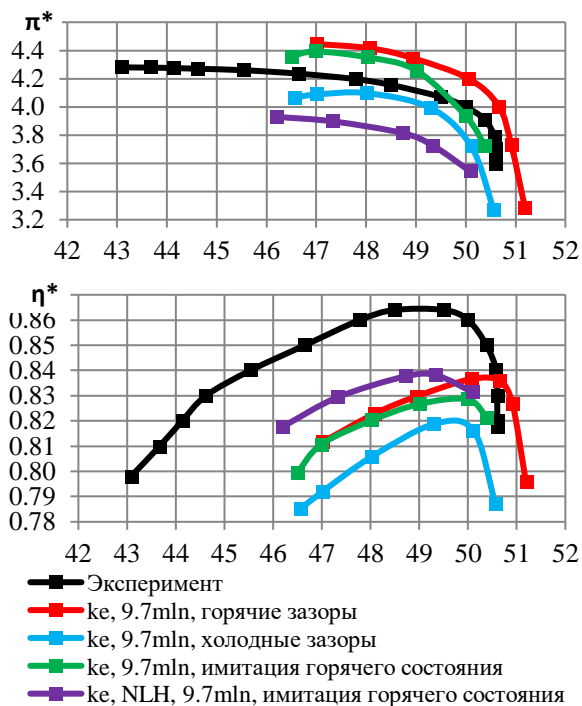


Рис.3 - Расчётные характеристики компрессора. Стационарная постановка.

Исследовано влияние надроторного устройства и его упрощённой осесимметричной модели на интегральные характеристики первых трёх ступеней (Рис.4).

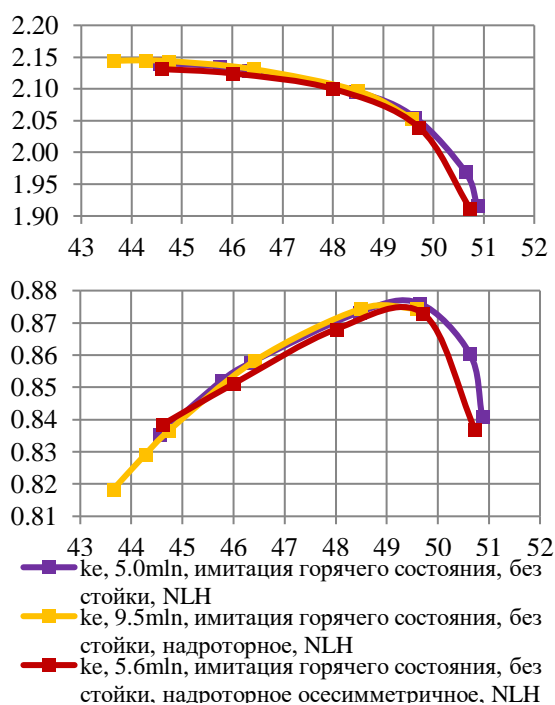


Рис.4 - Расчётные характеристики первых трёх ступеней.

НРУ привело к увеличению протяжённости расчётной ветки примерно на 1 кг, а осесимметричное НРУ никакого прироста не дало.

Создана 3DCFD модель компрессора. В ходе создания модели достигнута сеточная сходимость. Получены расчётные напорные характеристики компрессора. У характеристик, полученных нелинейным гармоническим методом, степень повышения полного давления меньше по сравнению со стационарной постановкой, но при этом больший КПД.

Стоит отметить, что существует несколько вариантов экспериментальных характеристик, различающихся по максимальному уровню КПД и диапазону расходов. Есть вероятность, что оба варианта характеристик приняты в математической и термодинамической моделях двигателя, и не являются экспериментальными данными в чистом виде.

#### Литература:

1. Japikse D. "Introduction to Turbomachinery", Concepts ETI, Inc., 1997.
2. C. Hirsch, Numerical Computation of Internal & External Flows: the Fundamentals of Computational Fluid Dynamics, 2nd ed. Elsevier, 2007.
3. NUMECA Int., "Flow Integrated Environment", User Manual, Numeca Int., Brussels, Belgium, 2014.

#### Сведения об авторах:

**Ворошнин Денис Владимирович**, Генеральный Директор, ООО «Нумека», 198095 г. Санкт-Петербург, ул. Маршала Говорова, 35 А, оф. 216. E-mail: [d.voroshnin@numeca.org](mailto:d.voroshnin@numeca.org). Область научных интересов: проектирование и доводка турбомашин, вычислительная газовая динамика.

**Муравейко Александр Сергеевич**, инженер, ООО «Нумека», 198095 г. Санкт-

Петербург, ул. Маршала Говорова, 35А,  
оф. 216. E-mail: [a.muraveiko@numeca.com](mailto:a.muraveiko@numeca.com).  
Область научных интересов:  
проектирование турбомашин,  
вычислительная газовая динамика и  
акустика.