

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Жерехов В.В., Пахов В.В., автоматизированный измерительный комплекс аэродинамической трубы Т-1К для определения интегральных аэродинамических коэффициентов // XI Международная Четаевская конференция. 2012. Т. 1, С. 161-168.
2. Freymuth, P. "Frequency response and electronic testing for constant-temperature hot-wire anemometers." Journal of Physics E.: Scientific Instruments 1977 Volume 10, 705-710.
3. Freymuth, P. "Interpretations in the control theory of thermal anemometers." Meas. Sci. Technol. 8 (1997) 174-177.

**INVESTIGATION OF VELOCITY FIELDS AND FLOW
TURBULENCE OF MODIFIED T-1K WIND TUNNEL**

Bozhenko A., Pakhov V.

ANBozhenko@kai.ru, Vvpakhov@kai.ru

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan)

Experimental results of velocity field and turbulence measurements, carried out in the modified T-1K wind tunnel using hot-wire anemometry, are presented. The test section of the T-1K wind tunnel has been modified to allow performing aeroacoustic measurements by adding retractable side walls around the test section.

УДК 629.036

**ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА СТУПЕНИ ВЕНТИЛЯТОРА
ДВИГАТЕЛЯ E3-GE С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ CFD**

Волков А.А., Кудряшов И.А. Корнеева А.И.

a44rey@gmail.com

Научный руководитель: Г.М. Попов, к.т.н., доцент
*(Самарский национальный исследовательский
университет имени академика С.П. Королева, Самара)*

Данная работа посвящена моделированию рабочего процесса вентилятора турбореактивного двухконтурного двигателя (ТРДД) E3-GE в программном комплексе NUMECA. По техническим отчётам NASA воспроизведена геометрия лопаток вентилятора и проточной части. Создана конечно-объемная модель, а также произведен расчет низшей точки характеристики вентилятора.

В настоящее время широко применяется численное моделирование для исследования рабочего процесса авиационных двигателей с помощью современных программных комплексов таких как NUMECA, Ansys и др. Это направление находит сейчас активное применение в авиационном двигателестроении. В данной работе выполнено создание численной модели ступени вентилятора двигателя E³-GE и исследование его рабочего процесса.

Двигатель E³-GE – это совместный научный исследовательский проект таких фирм как NASA и General Electric разрабатываемый в 1970 - 1980 х годах. Нарботки, полученные в ходе данного проекта, послужили основой нового семейства современных турбовентиляторных двигателей компании General Electric для гражданской авиации, таких как GE-90, GENx, GE9x.

Основной целью данной работы является создание и верификация численной модели вентилятора ТРДД со смешением E³-GE. Одной из главных причин для моделирования данного узла двигателя – отсутствие необходимой информации в найденных открытых русскоязычных источниках о моделировании рабочего процесса вентилятора. Исходными данными для этого послужили отчеты фирмы NASA и General Electric, в которых приведены основные данные по различным узлам данного двигателя, в том числе и по вентилятору[1].

Объектом данной работы являются вентилятор и подпорная ступень вентилятора. Вентилятор – самая заметная часть ротора двигателя, и одновременно – самая крупная его часть. Вентилятор осуществляет нагнетание воздуха в двигатель, что аналогично рабочему процессу в компрессоре ГТД, а в случае ГТД с большой степенью двухконтурности (Trent-1000, GE-90 и другие) создают большую часть его тяги. В первой постановке задачи было принято допущение: не учитывать второй разделитель потоков, а использовать только один. Исходные данные, такие как: β_1, β_2 – относительные и α_1, α_2 – абсолютные углы на входе и на выходе в межлопаточный канал, угол установки лопатки γ , длина хорды c , максимальная толщина T_m , количество лопаток, типы профилей, форма меридиональных обводов (рисунок 1) и граничные условия взяты из документации NASA данного двигателя, пример таблицы с исходными данными для профилирования лопаток представлена на рисунке 2 [1].

Для профилирования лопаток использовался профилятор – «Система профилирования осевого компрессора», в котором была воспроизведена геометрия с некоторыми допущениями – использовано иное распределение толщины. Для каждой из лопаток построено несколько сечений. Далее по известным геометрическим данным построены меридиональные обводы данного узла двигателя. Все полученные геометрические модели были перенесены в программное обеспечение NUMECA, в которой было произведено создание конечно-объемной модели и дальнейший расчет узла двигателя.

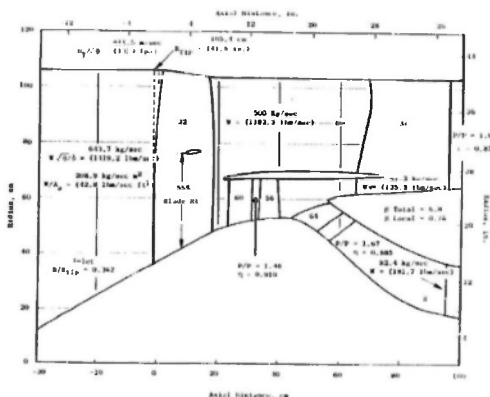


Рисунок 1 – Меридиональные обводы вентилятора и подпорной ступени

Appendix C: Stator 1 Plane Section Geometry.

Percent Blade Ht	Section Ht		Chord		Stagger	Camber	Tw/c	BLE	Bye
	cm	in.	cm	in.	deg	deg		deg	deg
-0.6	-1.037	-0.408	8.103	3.190	19.48	41.48	0.0463	40.88	-0.60
0	0	0	8.103	3.190	19.01	39.17	0.0486	38.92	-0.25
10	1.568	0.617	8.103	3.190	18.53	37.06	0.0518	36.83	-0.23
20	3.136	1.235	8.103	3.190	18.50	36.12	0.0541	36.48	0.36
30	4.704	1.852	8.103	3.190	18.66	35.60	0.0558	36.54	0.94
40	6.271	2.469	8.103	3.190	18.92	35.18	0.0573	36.71	1.53
50	7.839	3.086	8.103	3.190	19.25	34.97	0.0584	37.10	2.13
60	9.407	3.703	8.103	3.190	19.66	34.88	0.0593	37.54	2.66
70	10.975	4.321	8.103	3.190	20.15	34.64	0.0601	37.87	3.23
80	12.542	4.938	8.103	3.190	20.66	34.36	0.0608	38.23	3.87
90	14.110	5.555	8.103	3.190	21.02	34.20	0.0614	38.54	4.34
100	15.679	6.173	8.103	3.190	21.10	33.84	0.0621	38.36	4.52
101.2	15.869	6.248	8.103	3.190	21.10	33.38	0.0622	38.35	4.97

NB = 60
Stacking Axis: R_{TD} = 66.612 cm (26.2250 in.)
R_{TD} = 50.933 cm (20.0523 in.)
Z_{ax} = 26.671 in (10.5003 in.)

Рисунок 2 – Таблица с исходными данными для профилирования лопатки

В ходе исследования было решено произвести расчет характеристик вентилятора последовательно, начиная только с вентиляторной ступени этого модуля авиационного ГТД. Это связано с тем, что расчет вентилятора подобен расчету осевого компрессора ГТД, то есть необходимо вести расчет последовательно добавляя следующие ступени, но у него есть отличительная черта при расчете – расчет характеристики данного модуля включает в себя сразу две характеристики: характеристика внутреннего контура и характеристика внешнего контура.

Конечно-объемная модель создавалась в программном комплексе NUMECA AutoGrid5 (рисунок 5). Помимо основных блоков для создания конечно-объемной сетки численной модели, добавляется три дополнительных условия, таких как:

1. Выбор численной модели с контролем двухконтурности;
2. Настройка части сетки на входе в расчетную область (рисунок 3);
3. Настройка сетки вблизи разделителя потоков (рисунок 4).

Все эти условия позволяют более точно рассчитать рабочий процесс в вентиляторе авиационного ГТД.

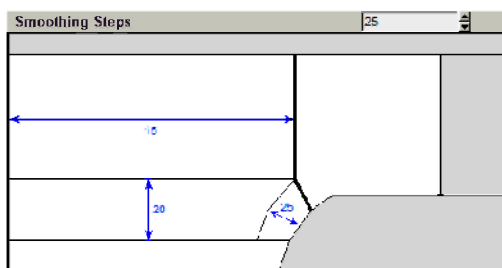


Рисунок 3 – Модуль настройки сетки вблизи кока ГТД

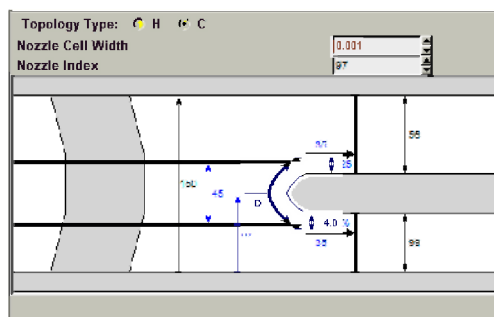


Рисунок 4 – Модуль настройки сетки вблизи разделителя потоков

Подготовка численной модели производилась в программном комплексе NUMECA FineTurbo. В качестве рабочего тела использовалась модель идеального газа, с газовой постоянной $R = 287,9 \frac{Дж}{кг \times K}$ и показателем адиабаты $k = 1,4$. В качестве граничных условий при расчете использовались полное давление $p^* = 101325 Па$, полная температура $T^* = 293,15 K$ на входе и статическое давление на выходе, значения которых соответствовали аналогичным исходным данным в источнике [2] (рис. 6). В качестве модели турбулентности была выбрана однопараметрическая модель турбулентности Spalart-Allmaras, поскольку она является самой экономичной с точки зрения вычислительных ресурсов [2].

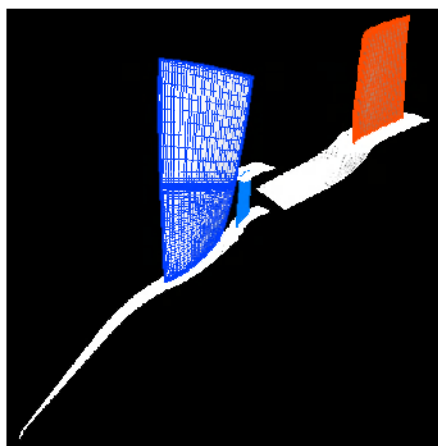


Рисунок 5 – Конечно-объемная модель вентиляторной ступени двигателя E³-GE

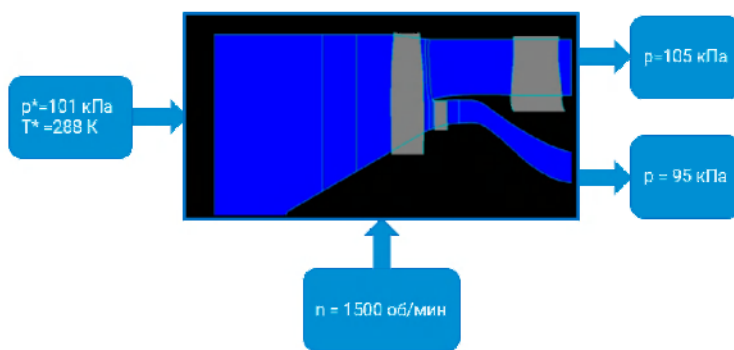


Рисунок 6 – Расчетная модель

В результате работы была рассчитана низшая точка характеристики вентилятора, и проведен анализ его рабочего процесса счетов. Результаты расчета приведены на рисунках 7, 8, 9.

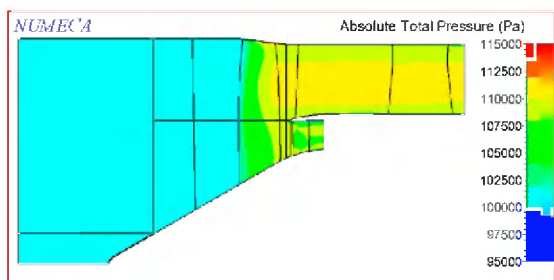


Рисунок 7 – Распределение полного давления вдоль оси двигателя

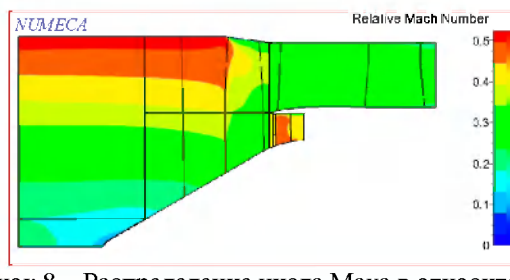


Рисунок 8 – Распределение числа Маха в относительном движении вдоль оси двигателя

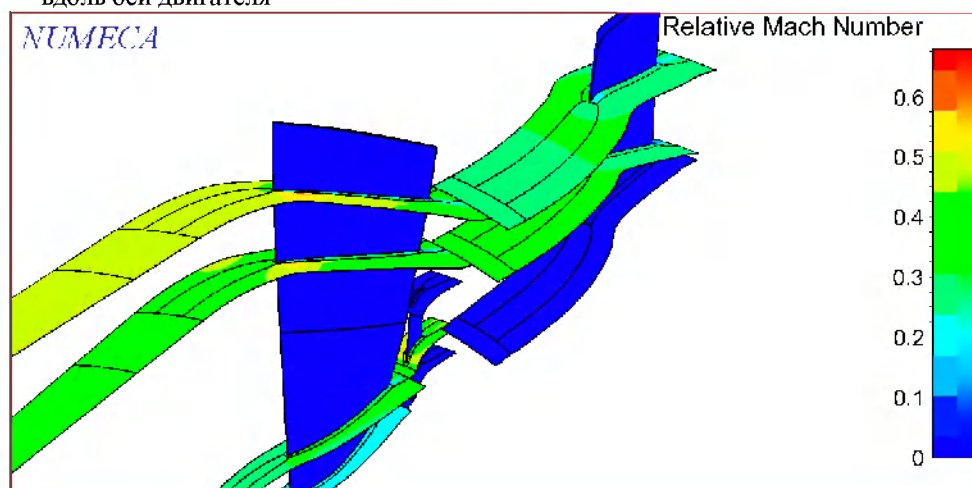


Рисунок 9 – Распределение числа Маха в относительном движении в BladeToBlade View

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Sullivan T.J., Luebering, G.W., Gravitt R.D.* Energy Efficient Engine Fan Test Hardware Detailed Design Report, 1980.
2. *Попов Г.М.* Численное моделирование рабочего процесса и расчета характеристик вентилятора ГТД с помощью методов вычислительной газовой динамики [Электронный ресурс]: электрон. учеб. пособие / Г.М. Попов, Е.С. Горячкин, Ю.Д. Смирнова; О.В. Батурин Минобрнауки России, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т). - Электрон. текстовые и граф. дан. (11,4 Мбайт). - Самара, 2014.

INVESTIGATION OF THE WORKING PROCESS OF E3-GE FAN STAGE USING CFD

Volkov A., Kudryashov I., Korneeva A.

a44rey@gmail.com

Supervisor: G. Popov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
(*Samara National Research University, Samara*)

This work is devoted to the modeling of the workflow of a turbojet fan bypass engine E3-GE in the NUMECA software package. According to NASA technical reports, the geometry of the fan blades and the flow part is reproduced. Finite volume model was created, and the lowest point of the fan characteristic was calculated.