

Рис. 6. Зависимость коэффициента нормальной силы комбинации 3 от угла атаки

Таким образом, для исследованных комбинаций РН с закреплёнными в горизонтальной плоскости симметрии БУ влияние интерференции БУ и корпуса значительно и численно выражается с помощью найденных коэффициентов интерференции.

## INTERFERENCE OF ROCKETS-CARRIER MODELS WITH SIDE ACCELERATORS LOCATED IN HORIZONTAL PLANE OF SYMMETRY

*Novikova Anastasiya*

*novikova\_nastasiya@mail.ru*

Supervisor: Vladimir Frolov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor  
(*Samara National Research University, Samara*)

The paper presents experimental study of interferences caused by the interaction of the body and the side accelerator in vehicle models. The three launch vehicle combinations investigated for side accelerators located in the horizontal plane of symmetry. In paper coefficient of the interferences are calculated. It is showed significant effect interference between the body and side accelerator.

УДК 629.036

## СОЗДАНИЕ ЧИСЛЕННОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА КОМПРЕССОРА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ ДВИГАТЕЛЯ E3-GE

*Новикова Ю.Д., Сулейманов А.Р., Ращупкина А.В.*

*artur.suleimanov1997@gmail.com*

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

В данной работе описывается создание численной модели рабочего процесса компрессора высокого давления турбореактивного двухконтурного двигателя со смешением (ТРДДсм) E<sup>3</sup>-GE в программном пакете NUMECA Fine/Turbo. Для воспроизведения геометрии лопаток и проточной части использовались исходные данные, полученные из технических отчетов NASA. Построена конечно-объемная модель, а также рассчитаны первые две ступени.

В представленной работе рассматривается создание численной модели рабочего процесса компрессора высокого давления. Двигателем-прототипом является двухконтурный турбореактивный двигатель со смешением потоков E3-GE (рис. 1).

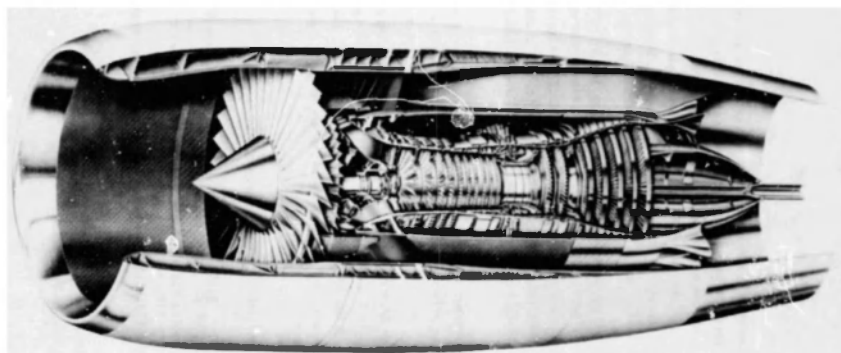


Рисунок 1 – Двигатель E3-GE

Этот двигатель является научно-исследовательским проектом двух компаний: NASA и General Electric. Его разработка проходила в 1970-1980 годах, и на основе полученных результатов создавались такие современные двигатели как GE90, GEnx, GE9x.

В качестве исходного двигателя выбран E<sup>3</sup>-GE потому, что его десятиступенчатый компрессор высокого давления (рис. 2) является одним из самых выдающихся компрессоров на момент создания за счет своих характеристик:  $\pi_k = 23, \eta = 86,1\%$ . И на сегодняшний день данный компрессор не потерял своей актуальности и может быть использован в качестве ориентира при разработки современных двигателей.

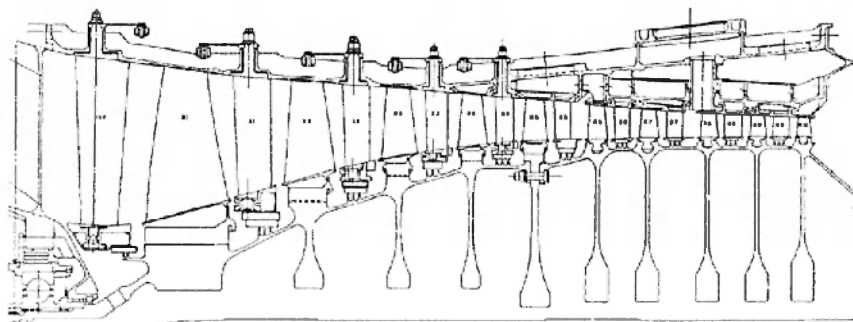


Рисунок 2 – Компрессор высокого давления двигателя E3-GE

Исходные данные для воссоздания геометрии лопаточных венцов получены из технического отчета [1]. Для каждой лопатки известны: тип профиля и геометрические параметры (рис. 3). Для получения меридиональных обводов использовались координаты точек из отчета [1], описывающих проточную часть.

SECT.	HT.	CHORD	CAMBER	STAGGER	BETA1*	BETA2*	TM/C	% TM	TTE/C
34.725	10.2761	9.66	62.71	63.38	53.72	0.0250	83.20	0.0044	
33.695	10.2598	7.17	60.85	61.54	54.37	0.0260	61.66	0.0046	
32.709	10.2577	4.67	59.01	59.82	55.15	0.0276	60.35	0.0048	
31.399	10.2623	4.42	58.40	57.95	53.54	0.0307	58.75	0.0050	
30.063	10.2806	5.94	53.68	56.42	50.48	0.0340	57.24	0.0054	
28.685	10.2608	8.38	50.73	55.04	46.67	0.0391	56.06	0.0059	
27.249	10.2805	12.08	47.38	53.85	41.77	0.0475	55.16	0.0054	
25.735	10.2602	17.22	43.49	52.87	35.65	0.0607	54.66	0.0070	
24.112	10.2587	24.67	38.96	52.06	27.39	0.0770	54.57	0.0079	
22.328	10.2573	35.88	33.58	51.54	15.66	0.0995	54.86	0.0096	
20.269	10.1732	53.24	27.14	51.70	-1.55	0.0948	55.51	0.0124	
19.069	10.1062	65.20	23.22	52.21	-12.99	0.0960	56.00	0.0144	

Рисунок 3 – Пример исходных данных для построения лопатки

Для создания геометрии лопаточных венцов использовалась программа, разработанная на кафедре теории двигателей летательных аппаратов, профилятор – «Система профилирования осевого компрессора». В качестве допущений принято иное распределение толщины относительно исходных данных, указанных в техническом отчете [1]. Для создания каждой лопатки строилось двенадцать сечений. Координаты полученных профилей импортируются в сеткогенератор AutoGrid5 в расширении \*.geomturbo. Меридиональные обводы получены с помощью имеющихся чертежей компрессора высокого давления.

Расчет компрессора производится по следующей методике. Из-за недостатка данных по распределению статического давления по ступеням, расчет необходимо проводить последовательно. Таким образом сначала рассчитывается первая ступень, из полученных результатов используется статическое давление для того, чтобы провести инициализацию расчета двух ступеней и так далее.

Конечно-объемная модель создавалась в программном модуле NUMECA AutoGrid5 (рис. 4). Расчет компрессора производился в программном пакете NUMECA FineTurbo. В качестве рабочего тела выбран идеальный газ с газовой постоянной  $R = 287,9$  Дж/(кг · К) и показателем адиабаты  $k = 1,4$ . Граничные условия для расчета задавались следующие: полное давление  $p^* = 58055,9$  Па и полная температура на входе  $T^* = 301,4$  К, и статическое давление на выходе, значения которых соответствовали аналогичным исходным данным [1]. Модель турбулентности использовалась Spalart-Allmaras, как наименее требовательная к вычислительной мощности [2].

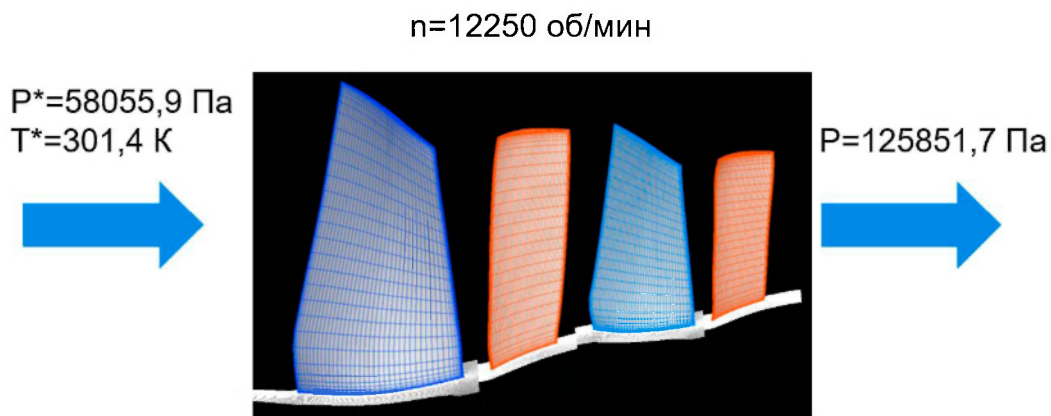
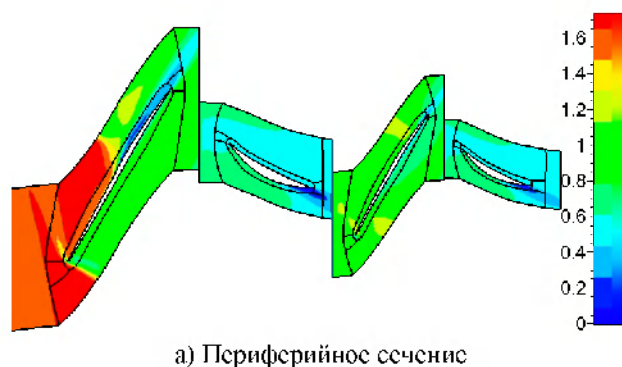


Рисунок 4 – Конечно-объемная модель двух ступеней с граничными условиями

Из-за сложности решения проблемы о согласовании ступеней на момент написания статьи было рассчитано только две ступени.

В качестве результатов расчета приведены распределения числа Маха в периферийном сечении, среднем сечении и втулочном сечении (рис. 5).



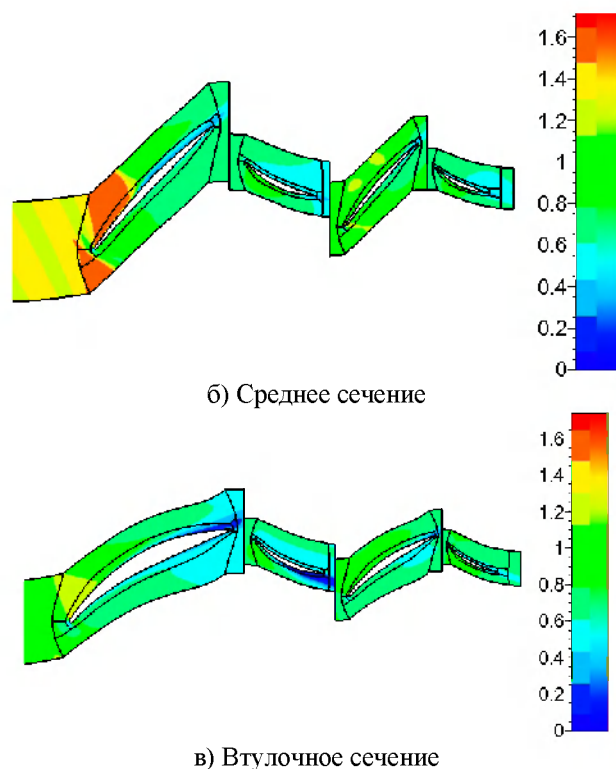


Рисунок 5 – Распределение числа Маха

Из приведенных результатов видно, что в межлопаточном канале число Маха уменьшается, то есть скорость падает, такие картины распределения параметров соответствуют существующим физическим представлениям, что подтверждает адекватность полученных результатов.

Число Маха в периферийном сечении достигает значений 1,5–1,6, что соответствует значениям, указанным в отчете [1] для первой ступени равному 1,5. Степень повышения давления составляет  $\pi_k=2,76$ , а КПД  $\eta=84,2\%$ .

В дальнейшем планируется выполнить расчет характеристики компрессора, выполнить валидацию полученной модели. А также исследование влияния параметров численной модели на результаты расчета.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Hollwyn P.R., Knight G.L., Koch C.C., Shaffer S.J.* Energy efficient engine high pressure compressor detail design report, 1982.
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. Батулин* 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.

#### CREATING A NUMERICAL MODEL TO INVESTIGATE THE WORKING PROCESS OF THE HIGH-PRESSURE COMPRESSOR OF E3-GE ENGINE

*Novikova Yu., Suleymanov A., Rashchupckina A.*  
*artur.suleimanov1997@gmail.com*

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

This paper describes the creation of a numerical model of the workflow of a high-pressure compressor of a turbojet bypass engine with a mixing E3-GE in the NUMECA Fine / Turbo software package. To reproduce the geometry of the

blades and the flow part, source data obtained from NASA technical reports were used. Of course, the elemental model was built, and the first two stages were calculated.

УДК 629.7.02

## **СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УСЛОВИЙ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ ТУРБОВАЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ И КОМПРЕССОРА ПНЕВМОТОРМОЗА**

*Поветкин И.С., Корнеева А.И.*

*povetkinigor98@gmail.com*

Научный руководитель: Ю.Д. Новикова, ассистент  
*(Самарский национальный исследовательский  
университет имени академика С.П. Королёва, Самара)*

В данной статье рассматривается вопрос согласования испытуемого турбовального двигателя и пневматического тормозного устройства. Построена дроссельная характеристика испытуемого двигателя и мощностная характеристика компрессора пневмотормозного устройства.

Среди всех типов газотурбинных двигателей (ГТД) особое место занимают турбовальные двигатели (ТВаД) – тепловые машины, в которых большая часть полезной тепловой энергии преобразуется на свободной турбине в механическую работу и отводится потребителю мощности (воздушный винт, электрогенератор и т.д.). ТВаД широко применяются в качестве силовых установок вертолётов, речных и морских судов, для наземного транспорта, на компрессорных газоперекачивающих станциях магистральных газопроводов, в пиковых тепловых электростанциях, а также в качестве вспомогательных силовых установок (ВСУ). Последние применяются на современных самолетах и вертолетах для пуска основных двигателей, питания систем кондиционирования, привода электрогенератора и другого вспомогательного оборудования. Как и любой другой серийный продукт, а, в особенности, газотурбинный двигатель, ТВаД проходит испытания. В процессе испытаний определяется соответствие созданного изделия заявленным характеристикам. Для того, чтобы их определить используются загрузочные тормозные устройства, которые помимо точного определения крутящего момента также должны воспринимать вырабатываемую в процессе испытаний двигателя мощность.

В некоторых случаях для этих целей используется пневматическое тормозное устройство, выполненное на базе осевого многоступенчатого компрессора. Разработка пневмотормоза для каждого нового двигателя с нуля – затратно и долго. Поэтому на ПАО «Кузнецов» была предложена идея взять уже существующий рабочий компрессор, близкий по своим характеристикам к требуемым, и доработать его с минимальным количеством изменений, что позволит сократить затраты и время разработки пневматического тормозного устройства [1].

Однако анализ совместной работы узлов газотурбинного двигателя довольно сложен, так как параметры узлов взаимосвязаны и эту связь не всегда можно выразить аналитически. Например, характеристики отдельных узлов (компрессора, турбины), необходимые для такого анализа, задаются в графическом виде [2]. В случае турбовального двигателя в систему добавляется загрузочное устройство жестко связанное со свободной турбиной ТВаД. В связи с этим в данной работе описаны результаты оценки согласованности работы турбовального двигателя и компрессора пневмотормозного устройства.

В данной статье рассматривается вопрос согласованности работы для двух режимов: 1 режим – обороты ротора свободной турбины 5000об/мин, поглощаемая мощность 25 МВт, 2 режим - обороты ротора свободной турбины 5500об/мин, поглощаемая мощность 32 МВт.

Для проведения оценки была построена дроссельная характеристика испытываемого двигателя в виде зависимости мощности ТВаД от частоты вращения ротора свободной