

УДК 629.7.036.33

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОТНОСИТЕЛЬНЫХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТУРБОКОМПРЕССОРА НА МАССУ

© 2012 В. С. Кузьмичев, И. Н. Крупенич, В. В. Кулагин, Е. С. Михеева, А. А. Николаев

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

В статье приводятся результаты исследования влияния относительных геометрических параметров турбокомпрессора на его массу.

*Турбокомпрессор, диаметр втулки относительный, соотношения геометрические.*

В качестве объекта исследований рассматривается двухвальный двухконтурный реактивный двигатель (ТРДД) без подпорных ступеней со следующими параметрами:

- суммарный расход воздуха через двигатель  $G_{\Sigma} = 340 \text{ кг/с}$ ;
- суммарная степень повышения давления  $\pi_{\Sigma}^* = 32$ ;
- степень повышения давления в вентиляторе  $\pi_{\text{ВП}}^* = 1,6$ ;
- температура газа перед турбиной  $T_{\Gamma}^* = 1600 \text{ К}$ ;
- степень двухконтурности  $m = 6,1$ .

В качестве исходных данных при проектировании проточной части задавались результаты проектного термогазодинамического расчёта, а также следующие параметры:

- число ступеней вентилятора  $z_{\text{вент}} = 1$ ;
- относительный втулочный диаметр на входе в вентилятор  $\bar{d}_{\text{вент.вх}} = 0,3$ ;
- коэффициент напора вентилятора по периферии  $\bar{H}_{\text{п}} = 0,25$ ;
- относительный втулочный диаметр на выходе КВД  $\bar{d}_{\text{квд.вых}} = 0,918$ ;
- средний коэффициент напора компрессора ВД  $\bar{H}_{\text{ср.квд}} = 0,35$ ;
- параметр нагруженности турбины ВД  $u_{\text{ТВД}}^* = 0,47$ ;

- число ступеней турбины ВД  $z_{\text{ТВД}} = 1$ ;
- материал (ЖС-6К) и коэффициент запаса прочности рабочих лопаток турбины ВД  $K_{\sigma \text{ ТВД}} = 2$ ;
- параметр нагруженности турбины НД  $u_{\text{ТНД}}^* = 0,5$ ;
- число ступеней турбины НД  $z_{\text{ТНД}} = 4$ ;
- форма проточной части всех элементов турбокомпрессора задавалась постоянством среднего диаметра  $D_{\text{ср}} = \text{const}$ .

Диаметральные размеры, высоты лопаток и геометрические соотношения на входе и выходе для каждого элемента турбокомпрессора однозначно связаны, поскольку задана форма проточной части. Поэтому анализ влияния геометрических соотношений на входе и выходе заменим анализом влияния только параметров на входе в элемент.

Как видно из рис. 1, с ростом относительного диаметра втулки на входе вентилятора  $\bar{d}_{\text{вент.вх}}$  наблюдается монотонный рост массы турбокомпрессора. Это объясняется увеличением периферийного диаметра на входе в вентилятор, который при заданной окружной скорости определяет допустимую частоту вращения каскада НД. Снижение частоты вращения (рис. 2) приводит к росту массы турбины низкого давления (НД), которая и определяет указанный рост массы (рис. 3). Масса вентилятора при этом изменяется незначительно, что определяется

противоположным влиянием двух факторов: ростом массы диска вентилятора и снижением массы лопаток (рис. 4).

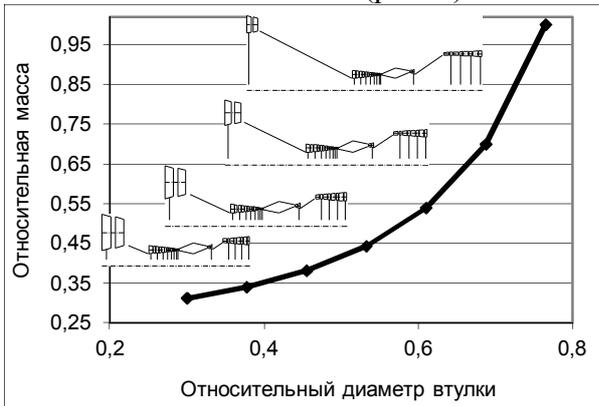


Рис. 1. Зависимость относительной массы  $\bar{M}_i = M_i/M_{\max}$  турбокомпрессора от относительного диаметра втулки на входе вентилятора  $\bar{d}_{\text{вент.вх}}$

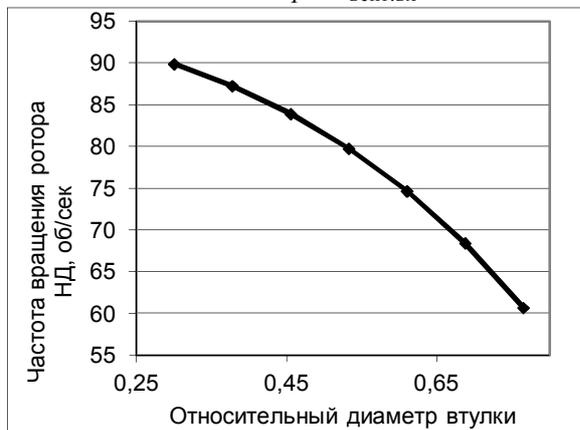


Рис. 2. Зависимость частоты вращения ротора НД от относительного диаметра втулки на входе вентилятора  $\bar{d}_{\text{вент.вх}}$

С увеличением относительного диаметра втулки на входе каскада высокого давления (ВД)  $\bar{d}_{\text{квд.вх}}$  наблюдается монотонное уменьшение массы турбокомпрессора (рис. 5), которое объясняется сокращением числа его ступеней (рис. 6), связанное с ростом окружной скорости компрессора при увеличении диаметральных размеров в условиях, когда частота вращения каскада ВД определяется прочностью турбины.

При увеличении отношения  $D_{\text{ср}}/h_{\text{л}}$  на входе турбины ВД наблюдается взаимосвязанное влияние нескольких факторов. Масса ротора турбины  $M_{\text{диск}}$ , отнесённая к отдельной ступени, увеличивается в связи с увеличением

втулочного диаметра проточной части, а масса лопаток ступени  $M_{\text{прот}}$  уменьшается за счёт уменьшения их высоты (рис. 7).

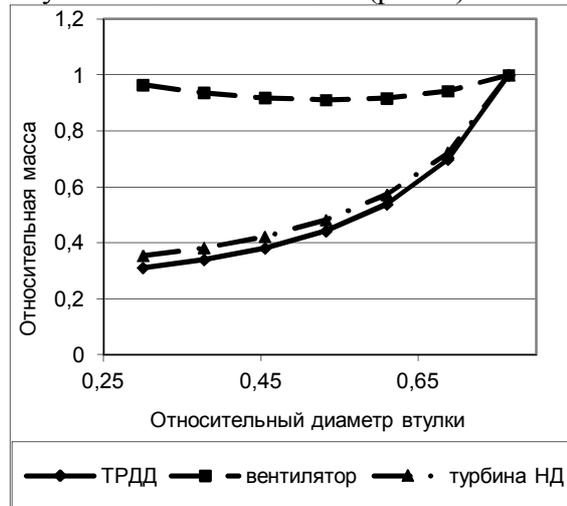


Рис. 3. Зависимость относительной массы  $\bar{M}_i = M_i/M_{\max}$  турбокомпрессора от относительного диаметра втулки на входе вентилятора  $\bar{d}_{\text{вент.вх}}$

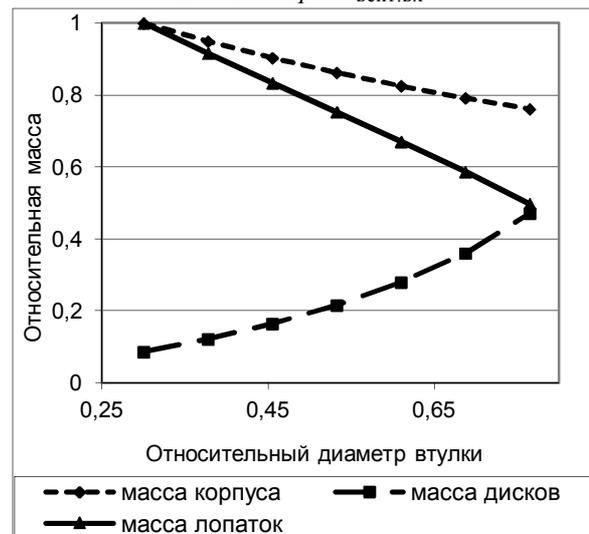


Рис. 4. Зависимость относительной массы  $\bar{M}_i = M_i/M_{\max}$  составляющих вентилятора от относительного диаметра втулки на входе вентилятора  $\bar{d}_{\text{вент.вх}}$

Преобладающее влияние оказывает рост  $M_{\text{диск}}$ , и масса ступени увеличивается по параметру  $D_{\text{ср}}/h_{\text{л}}$ . Однако при этом увеличивается окружная скорость на среднем диаметре турбины, что приводит к сокращению числа её ступеней. Совокупное влияние всех этих факторов приводит к тому, что масса турбины в целом по параметру  $D_{\text{ср}}/h_{\text{л}}$  имеет минимум (рис. 8).

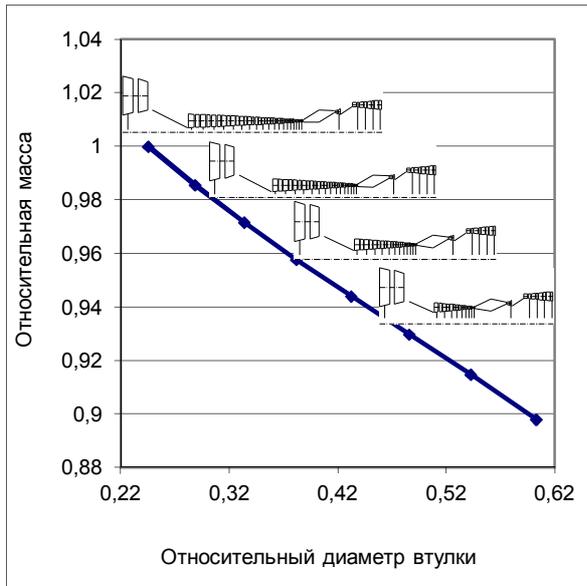


Рис. 5. Зависимость относительной массы  $\bar{M}_i = M_i/M_{\max}$  турбокомпрессора от относительного диаметра втулки на входе КВД  $\bar{d}_{\text{КВД,ВХ}}$

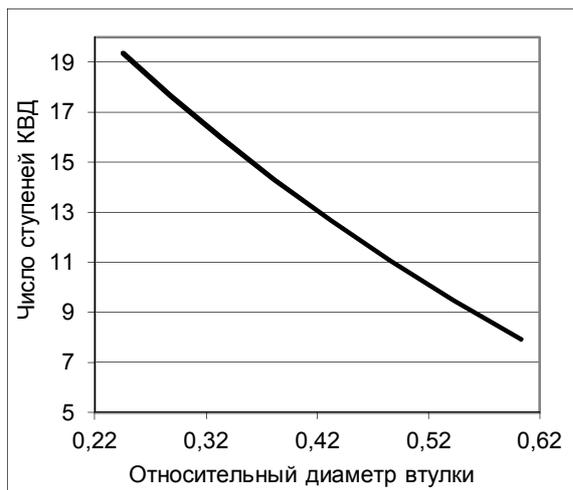


Рис. 6 – Зависимость числа ступеней компрессора ВД от относительного диаметра втулки на входе  $\bar{d}_{\text{КВД,ВХ}}$

На массу турбокомпрессора кроме массы собственно турбины ВД оказывает влияние масса переходного канала между турбинами ВД и НД, которая уменьшается при увеличении  $D_{\text{ср}}/h_{\text{л}}$  (при сокращении числа ступеней турбины ВД). Таким образом, наблюдается несущественное изменение массы турбокомпрессора в целом (рис. 8).

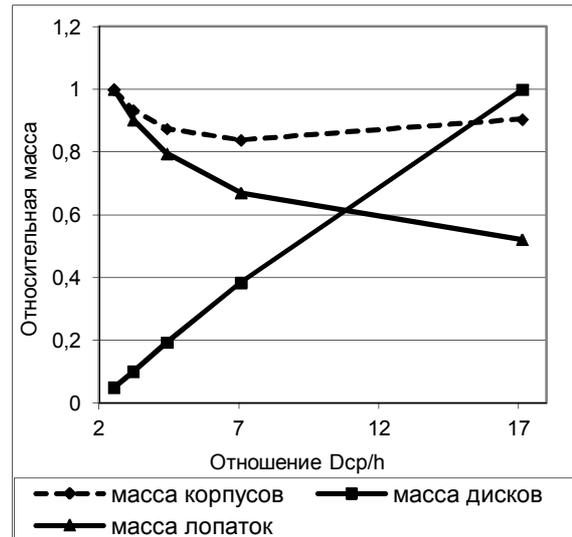


Рис. 7. Зависимость относительной массы  $\bar{M}_i = M_i/M_{\max}$  составляющих турбины ВД от отношения  $D_{\text{ср}}/h_{\text{л}}$  на входе турбины ВД

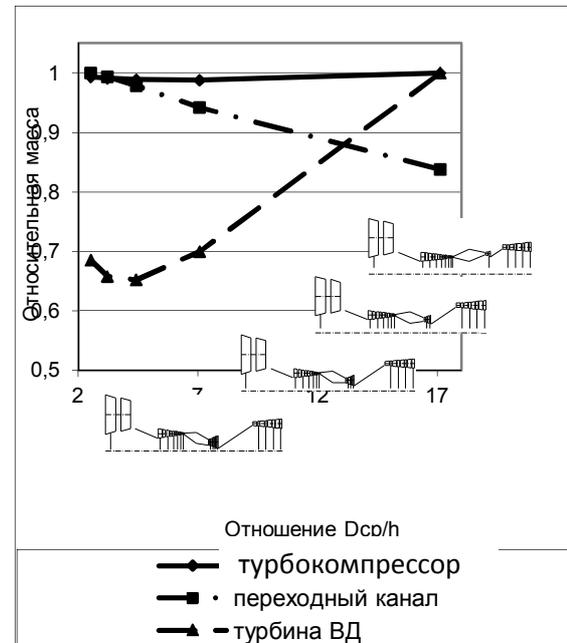


Рис. 8. Зависимость относительной массы  $\bar{M}_i = M_i/M_{\max}$  турбокомпрессора, турбины ВД и переходного канала от отношения  $D_{\text{ср}}/h_{\text{л}}$  на входе турбины ВД

Соотношение между составляющими массы турбины НД, зависящее от частоты вращения ротора и величины удельной работы турбины, отличается от соотношения для турбины ВД (рис. 9 и 10). Поэтому при увеличении отношения  $D_{\text{ср}}/h_{\text{л}}$  на входе турбины НД

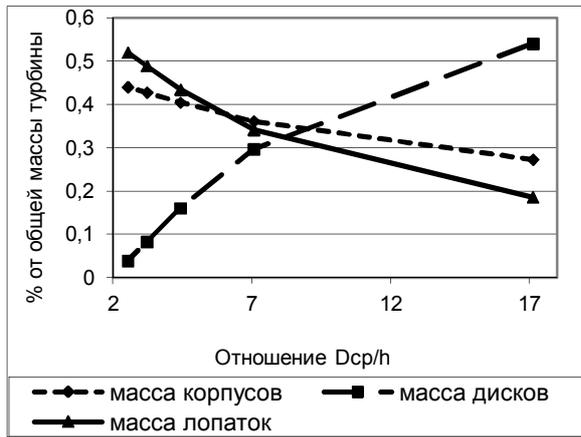


Рис. 9. Зависимость соотношения между составляющими массы турбины ВД от отношения  $D_{cp}/h_{л}$  на входе

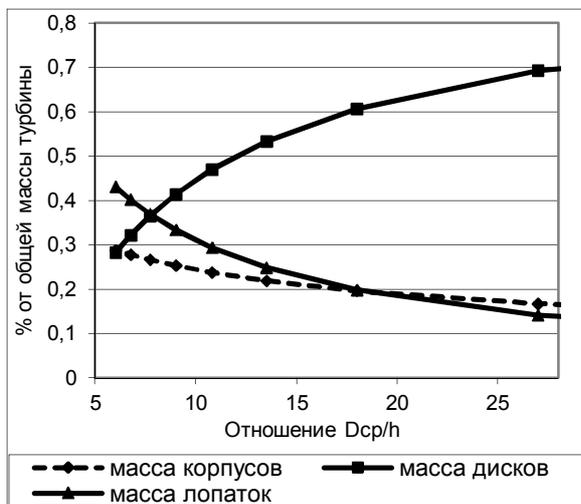


Рис. 10. Зависимость соотношения между составляющими массы турбины НД от отношения  $D_{cp}/h_{л}$  на входе

наблюдается монотонное увеличение массы турбины. Масса переходного канала между турбинами НД и ВД также оказывает меньшее влияние на массу турбокомпрессора в целом. Таким образом, наблюдается монотонный рост массы турбокомпрессора (см. рис. 11).

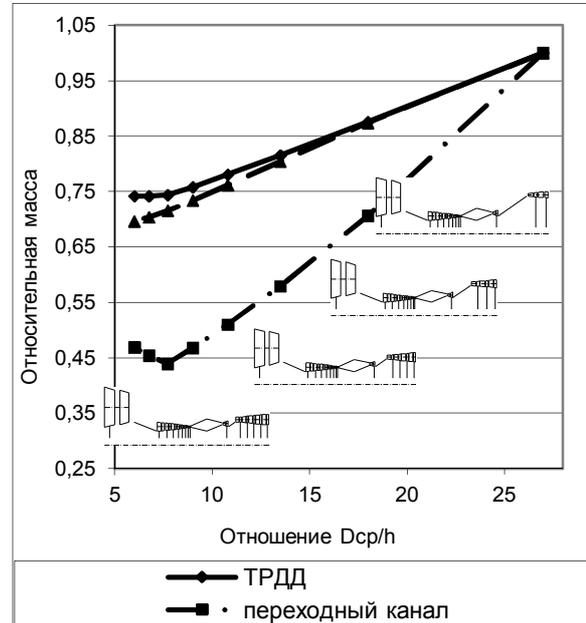


Рис. 11. Зависимость относительной массы  $\bar{M}_i = M_i/M_{max}$  турбокомпрессора, турбины НД и переходного канала от отношения  $D_{cp}/h_{л}$  на входе турбины НД

Работа выполнена при финансовой поддержке Правительства Российской Федерации (Минобрнауки) на основании постановления Правительства РФ №218 от 09.04.2010.

### INVESTIGATION OF RELATIVE GEOMETRIC PARAMETERS INFLUENCE ON BYPASS ENGINE MASS

© 2012 V. S. Kuzmichev, I. N. Krupenich, V. V. Kulagin, E. S. Miheeva, A. A. Nikolaev

Samara State Aerospace University  
named after academician S.P. Korolyov (National Research University)

Influence of relative diameters of bypass engine turbocompressor on its mass is described.

*Turbocharger, hub diameter relative, aspect ratio.*

#### Информация об авторах

**Кузьмичев Венедикт Степанович**, доктор технических наук, профессор кафедры теории двигателей летательных аппаратов, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: kuzm@ssau.ru. Область научных интересов: теория газотурбинных

двигателей, начальный уровень проектирования ГТД, оценка научно-технического уровня ГТД, САПР ГТД.

**Крупенич Илья Николаевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры теории двигателей летательных аппаратов, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: kru@ssau.ru. Область научных интересов: теория газотурбинных двигателей, математическое моделирование, проектирование турбокомпрессора ГТД, численные методы оптимизации.

**Кулагин Виктор Владимирович**, кандидат технических наук, профессор кафедры теории двигателей летательных аппаратов, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: kulvv@ssau.ru. Область научных интересов: теория газотурбинных двигателей, начальный уровень проектирования ГТД, идентификация математических моделей ГТД.

**Михеева Екатерина Сергеевна**, студент, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). Область научных интересов: теория газотурбинных двигателей, математическое моделирование, проектирование турбокомпрессора ГТД.

**Николаев Александр Александрович**, студент, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). Область научных интересов: теория газотурбинных двигателей, математическое моделирование, проектирование турбокомпрессора ГТД.

**Kuzmichev Venedikt Stepanovich**, Doctor of Science, Professor at Aircraft Engine Theory Department, Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov (National Research University). E-mail: kuzm@ssau.ru. Area of research: gas turbine engines theory, initial level of gas turbine engine design, assessment of scientific and technological level of gas turbine engines, gas turbine engines computer-aided systems.

**Krupenich Iliya Nikolaevich**, Candidate of Science, Associate professor at Aircraft Engine Theory Department, Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov (National Research University). E-mail: kru@ssau.ru. Area of research: gas turbine engines theory, mathematical simulation, gas turbine engine's turbocompressor design, numbering method of optimization.

**Kulagin Viktor Vladimirovich**, Candidate of Science, Professor at Aircraft Engine Theory Department, Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov (National Research University). E-mail: kulvv@ssau.ru. Area of research: gas turbine engines theory, initial level of gas turbine engine design, identification of mathematical model of gas turbine engines.

**Miheeva Ekaterina Sergeevna**, student, Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov (National Research University). Area of research: gas turbine engines theory, mathematical simulation, gas turbine engine's turbocompressor design.

**Nikolaev Alexandr Alexandrovich**, student, Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov (National Research University). Area of research: gas turbine engines theory, mathematical simulation, gas turbine engine's turbocompressor design.