

ВЛИЯНИЕ ГАРМОНИЧЕСКОЙ ФОРМЫ НЕОСЕССИМЕТРИЧНОГО ОБОДА РАБОЧЕГО КОЛЕСА НА ПАРАМЕТРЫ ВЫСОКОНАПОРНОЙ СТУПЕНИ ОСЕВОГО КОМПРЕССОРА

Плотников С.А.^{1,2}, Каминский И.Р.¹, Селезнев С.О.¹, Пикулев А.С.¹

¹ АО «ОДК-Авиадвигатель», г. Пермь, plotnikov-sal@avid.ru

²Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь, plotnikov_science@mail.ru

Ключевые слова: осевые компрессоры, высоконапорная ступень компрессора, неосесимметричные торцевые поверхности, численное моделирование.

Одним из перспективных способов повышения аэродинамического совершенствования лопаточных венцов при проектировании осевых компрессоров является применение неосесимметричных торцевых ограничивающих поверхностей (НТОП) в межлопаточных каналах ступеней компрессора [1, 2, 3].

Ранее в работе [4] авторами получен положительный эффект при внедрении неосесимметричного обода рабочего колеса (РК) в составе высоконапорной ступени (на входе и выходе из межлопаточного канала РК обод имеет осесимметричную форму). Простой гармонический закон профилирования обода РК с возвышенностью вдоль корытца и впадиной вдоль спинки лопатки (см. рис. 1) оказался удачным вариантом, обеспечивающим прирост изоэнтальпийного коэффициента полезного действия (КПД) как в РК $\eta_{РК}^*$, так и в ступени $\eta_{ст}^*$ в целом.

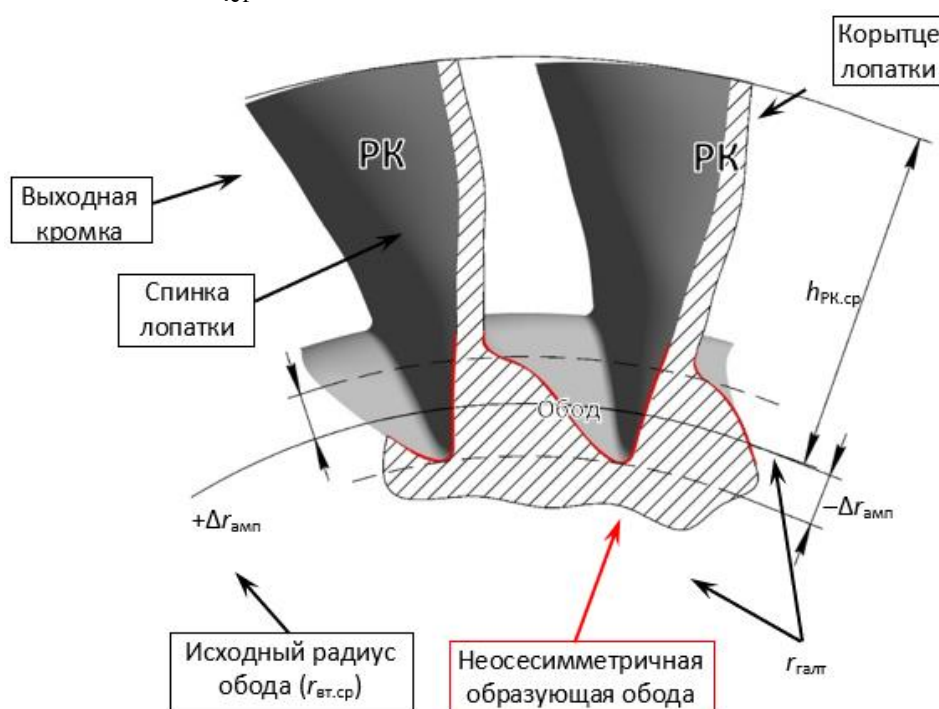


Рис. 1 – Поперечное сечение РК в середине межлопаточного канала с наибольшими перепадами высот неосесимметричной образующей

Стоит отметить, что НТОП обода на рис. 1 имеет предельную кривизну для рассматриваемого РК с точки зрения напряжённо-деформированного состояния и технологичности изготовления. Образующая обода с максимальным изменением радиуса $\pm\Delta r_{амп}$ (относительно исходного радиуса $r_{вт.ср}$) располагается в середине

межлопаточного канала (втулка на входе и выходе из межлопаточного канала осесимметрична).

Кривизна формы обода определяется относительным максимальным приращением радиуса по формуле (1):

$$\delta H = \Delta r_{\text{амп}} / h_{\text{РК.ср}}, \% \quad (1)$$

где $h_{\text{РК.ср}}$ – средняя высота лопатки РК.

Относительный радиус галтели остаётся постоянным для всех рассматриваемых случаев и определяется по формуле (2):

$$\bar{r}_{\text{галт}} = r_{\text{галт}} / h_{\text{РК.ср}} = 4 \%. \quad (2)$$

Изменение КПД η^* РК и ступени в точках на линии рабочих режимов (ЛРР) в зависимости от относительного максимального приращения радиуса НТОП обода РК отражено на рис. 2.

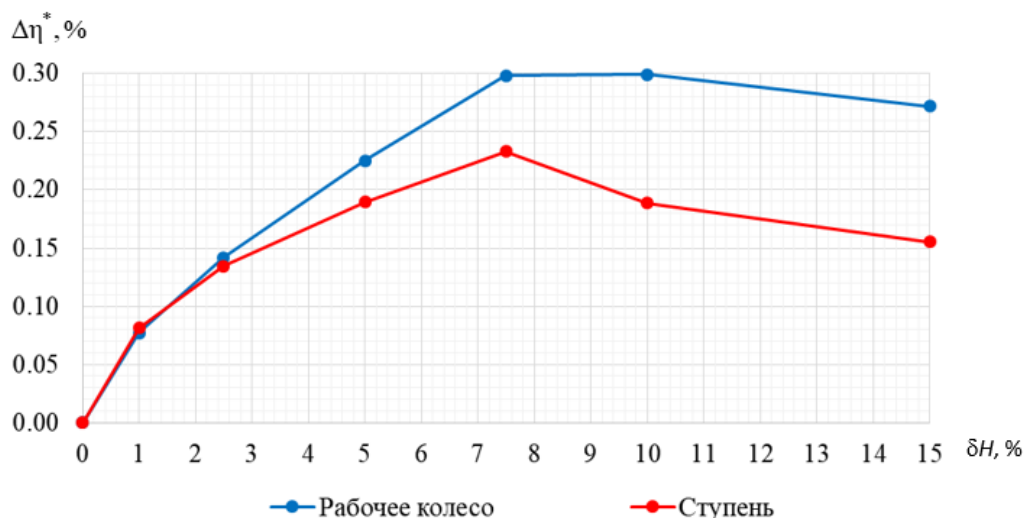


Рис. 2 – Изменение КПД РК и ступени от относительного максимального приращения радиуса НТОП обода РК

Из рис. 2 видно, что НТОП оказывает влияние не только на параметры РК, но и на параметры ступени. НТОП обода РК с возвышенностью вдоль корытца и впадиной вдоль спинки оказывает положительное влияние для всех рассмотренных величин δH . Незначительное изменение величины $\delta H = 1 \dots 2.5 \%$ позволяет увеличить КПД как РК, так и ступени до 0.14 %. Имеет место оптимум параметра $\delta H \approx 7.5 \%$, при котором достигается прирост $\Delta \eta_{\text{РК}}^* = +0.3$ и $\Delta \eta_{\text{ст}}^* = +0.23$, что меньше величин полученных в работе [4] $+0.67 \%$ и $+0.85 \%$, соответственно. Снижение эффективности НТОП связано с уточнением математической модели: внедрением утечки горячего воздуха (температура которого на 20% больше, чем температура на входе в ступень) от наддува опоры в проточную часть со стороны втулки перед РК; а также с методикой обработки параметров с учётом уточнённой ЛРР. По опыту проектирования компрессоров необходимо отметить, что утечки воздуха в проточную часть оказывают влияние на рабочий процесс в компрессоре, и при анализе влияния НТОП необходимо их учитывать. Оценка влияния величины утечки воздуха в проточную часть на КПД ступени при внедрении НТОП является отдельной задачей.

Список литературы

1. Effect of non-axisymmetric end wall on a highly loaded compressor cascade in multi-conditions / Song Huang, Chengwu Yang, Ziliang Li, Ge Han, Shengfeng Zhao, Xin'gen Lu //

Journal of Thermal Science. – 2021. – Vol. 30. – P. 1363-1375. – DOI: org/10.1007/s11630-021-1448-x.

2. Static pressure redistribution mechanism of non-axisymmetric endwall based on radial equilibrium / Hanwen Guo, Donghai Jin, Xiwu Liu, Xingmin Gui // Propulsion and Power Research. – 2023. – Vol. 12. – No. 4. – P. 505-522. – DOI: org/10.1016/j.jprr.2022.07.006.

3. Numerical Investigation into a New Method of Non-Axisymmetric End Wall Contouring for Axial Compressors / Fuhao You, Xiangjun Li, Qing Lu, Haoguang Zhang, Wuli Chu // Energies. – 2022. – Vol. 15. – No. 9. – P. 3305. DOI: org/10.3390/en15093305.

4. Иноземцев А.А. Оценка применимости неосесимметричных обводов ротора в проточной части рабочего колеса высоконапорной ступени осевого компрессора / А.А. Иноземцев, С.А. Плотников, В.П. Матюнин // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Аэрокосмическая техника. – 2026. – № 84. – С. 5–16. – DOI 10.15593/2224-9982/2026.84.01.

Сведения об авторах

Плотников Сергей Алексеевич – аспирант кафедры «Авиационные двигатели», Пермский национальный исследовательский политехнический университет; инженер-конструктор-расчётчик отделения компрессоров АО «ОДК-Авиадвигатель». Область научных интересов: проектирование осевых компрессоров газотурбинных двигателей.

Каминский Илья Робертович – кандидат технических наук, заместитель начальника отделения компрессоров по расчетно-экспериментальным работам АО «ОДК-Авиадвигатель». Область научных интересов: проектирование осевых компрессоров газотурбинных двигателей.

Селезнев Станислав Олегович – начальник отдела аэродинамического проектирования отделения компрессоров АО «ОДК-Авиадвигатель». Область научных интересов: проектирование осевых компрессоров и ступеней вентилятора газотурбинных двигателей.

Пикулев Александр Сергеевич – начальник бригады трехмерных газодинамических расчетов отделения компрессоров АО «ОДК-Авиадвигатель». Область научных интересов: проектирование и математическое моделирование осевых компрессоров газотурбинных двигателей.

INFLUENCE OF THE HARMONIC SHAPE OF THE NON-AXISIMETRIC IMPELLER RIM ON THE PARAMETERS OF THE HIGH-PRESSURE STAGE OF THE AXIAL COMPRESSOR

Plotnikov S.A.^{1,2}, Kaminskij I.R.¹, Seleznev S.O.¹, Pikulev A.S.¹

¹JSC «UEC-Aviadvigatel», Perm, plotnikov-sal@avid.ru

²Perm National Research Polytechnic University, Perm, plotnikov_science@mail.ru

Keywords: axial compressors, highly loaded compressor stage, non-axisymmetric end-wall, numerical modeling.

This paper presents some results of a study of the effect of the non-axisymmetric shape of the impeller rim on the parameters of the high-pressure stage of the axial compressor. The dependence of the change in the isentropic efficiency of the impeller and the stage on the relative maximum height difference of the non-axisymmetric rim of the impeller is shown. The positive influence of the harmonic law in the entire range of amplitudes under consideration is noted.

With a relative height difference of $\delta H = 7.5\%$, an optimum change in efficiency is observed, where the efficiency increase of the impeller is 0.3% , and the stage is 0.23% .