

ВАРИАНТЫ ОПТИМИЗАЦИИ РОТОРНО-ЛОПАСТНОГО КОМПРЕССОРА С БЕСКОНТАКТНЫМИ УПЛОТНЕНИЯМИ РАБОЧИХ КАМЕР

© 2009 И. В. Коломин, А. И. Довгялло, Р. Н. Гальперин, Л. Ю. Гуляев, А. П. Логашкин

Самарский государственный аэрокосмический университет

Представлены варианты оптимизации роторно-лопастного компрессора (РЛК) с целью улучшения его характеристик. Показана перспективность использования РЛК в составе газовых криогенных машин (ГКМ).

Компрессор роторно-лопастной, уплотнение щелевое, перетечки

Современные холодильные машины, работающие, например, по циклу Стирлинга, в конструкции компрессорного блока базируются на возвратно-поступательном движении поршней, реализуемом через кривошипно-шатунный механизм (КШМ) либо посредством линейного электропривода.

Достижение герметичности рабочих камер требует установки контактных уплотнений в случае применения кривошипно-шатунного механизма, а «бесконтактность» поршней, являющихся частью линейного электропривода, достигается усложнением конструкции, что в итоге снижает ресурс. Разрабатываемый роторно-лопастной компрессор имеет гарантированные минимальные зазоры в щелевых уплотнениях по периметру лопастей.

Рабочая зона РЛК, где происходят процессы сжатия и расширения, представляет собой кольцеобразную полость переменного объема, например прямоугольного сечения, внутри которой колеблется одна лопасть, либо n пар лопастей, выполняющих функцию поршней.

Замкнутый объем каждой из представленных на рис. 1 четырёх рабочих камер 3 создается между неподвижными стенками корпуса 1 и двумя подвижными лопастями 2, совершающими возвратно-вращательное движение. Рабочий процесс четырёхкамерного РЛК организован таким образом, что в то время, когда в одной паре рабочих камер происходит такт сжатия и выпуска, в другой паре рабочих камер осуществляется такт впуска. Впуск и выпуск рабочего тела производится через отверстия 4, расположенные в местах на корпусе, где лопасти сходятся.

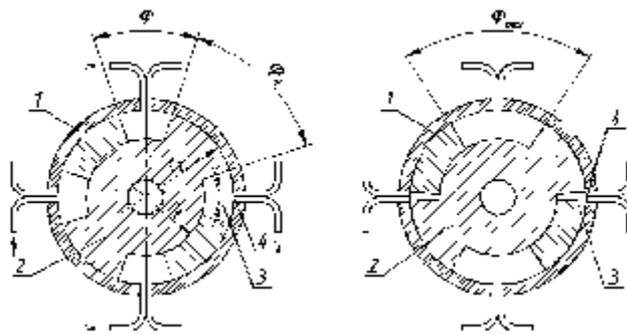


Рис. 1. Схема работы четырехкамерного роторно-лопастного компрессора

За счёт фиксации вала (валов) РЛК в корпусе на подшипниках исключается силовое воздействие на стенки корпуса (в отличие от КШМ, где присутствуют силы от штоков при переключках поршня). Это позволяет использовать бесконтактные уплотнения по периметру лопастей и, тем самым, существенно снизить потери на трение. Применение соответствующих материалов в конструкции корпуса и лопастей РЛК позволяет гарантировать постоянный зазор и надёжную работу бесконтактных уплотнений.

Проведённые расчёты [1] и испытания [2] роторно-лопастного компрессора показали необходимость его конструктивной доработки. Такие факторы как неоптимальная геометрия рабочих полостей макетных образцов РЛК и щелевой зазор в плоскости разъёма лопаток существенно снижают характеристики компрессора.

С целью устранения указанных недостатков разработана новая конструкция РЛК при сохранении прежнего рабочего объема $V_p = 41,9 \times 10^{-6} \text{ м}^3$, т.е. потребного расхода $Q_s = 419,8 \times 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$ и ограничения по наружному радиусу $r_2 = 70 \text{ мм}$.

Такой вариант роторно-лопастного компрессора (РЛК-2) выполнен по качающейся схеме с одной парой колеблющихся и одной парой неподвижных лопастей. Использование в РЛК-2 одного качающегося ротора вместо двух позволяет избежать дополнительных утечек в картер компрессора, имеющих место в роторно-лопастной машине [2].

Методика, блок-схема которой изображена на рис. 2, заключается в оптимизации формы кольцевого канала по критерию ми-

нимизации перетечек через щель. Формула для расчета расхода газа через гладкую щель имеет вид [1]

$$Q_{щ\gamma} = \frac{P_n \cdot (p_2 - p_1) \cdot \delta^3}{12 \cdot \mu \cdot l_{эк}} \quad (1)$$

Геометрические параметры рабочих полостей оптимизированы по разработанной методике [1] и сведены в сравнительную табл. 1.

Фрагмент сборочного чертежа модернизированного РЛК изображен на рис. 3.

Таблица 1 - Основные геометрические параметры неоптимизированного и модернизированного вариантов роторно-лопастного компрессора

Внутренний радиус, м	r_1	$23,0 \times 10^{-3}$	$60,0 \times 10^{-3}$
Наружный радиус, м	r_2	$35,0 \times 10^{-3}$	$70,0 \times 10^{-3}$
Толщина кольца, м	$S_{кц}$	$24,0 \times 10^{-3}$	$10,3 \times 10^{-3}$
Периметр условного поршня, м	P_n	$72,0 \times 10^{-3}$	$40,6 \times 10^{-3}$
Угол отклонения лопастей	φ_{max}	72°	90°
Угол длины дуги подвижной лопасти	φ_l	54°	60°
Эквивалентная длина щели, м	$l_{эк}$	$27,3 \times 10^{-3}$	$68,1 \times 10^{-3}$

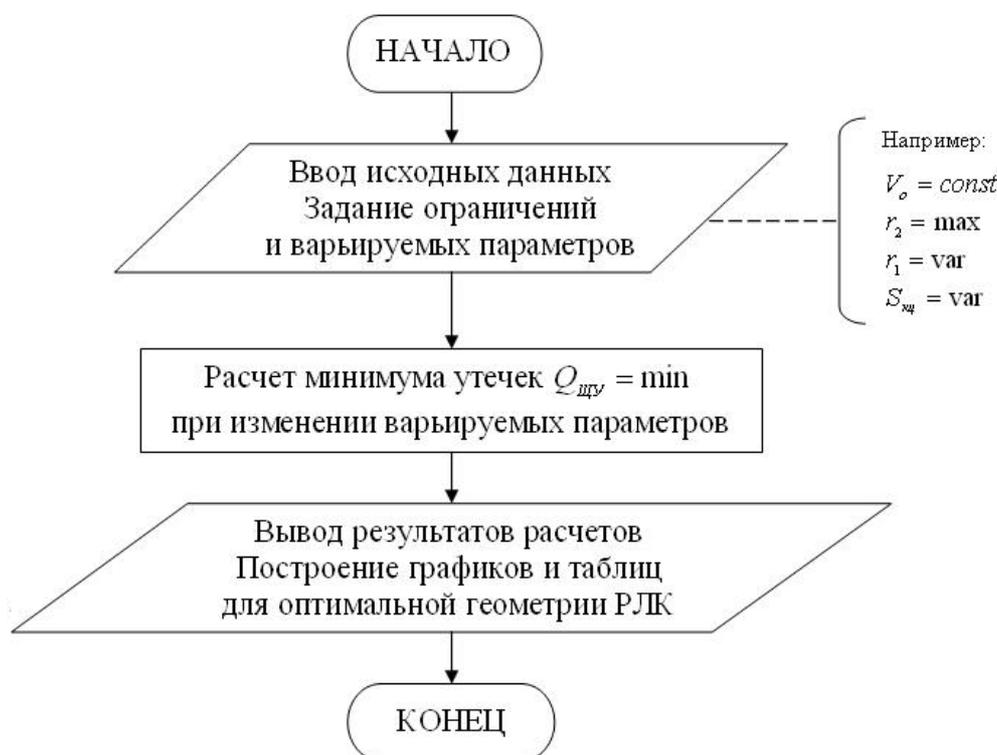


Рис. 2. Блок-схема алгоритма оптимизации геометрии роторно-лопастного компрессора

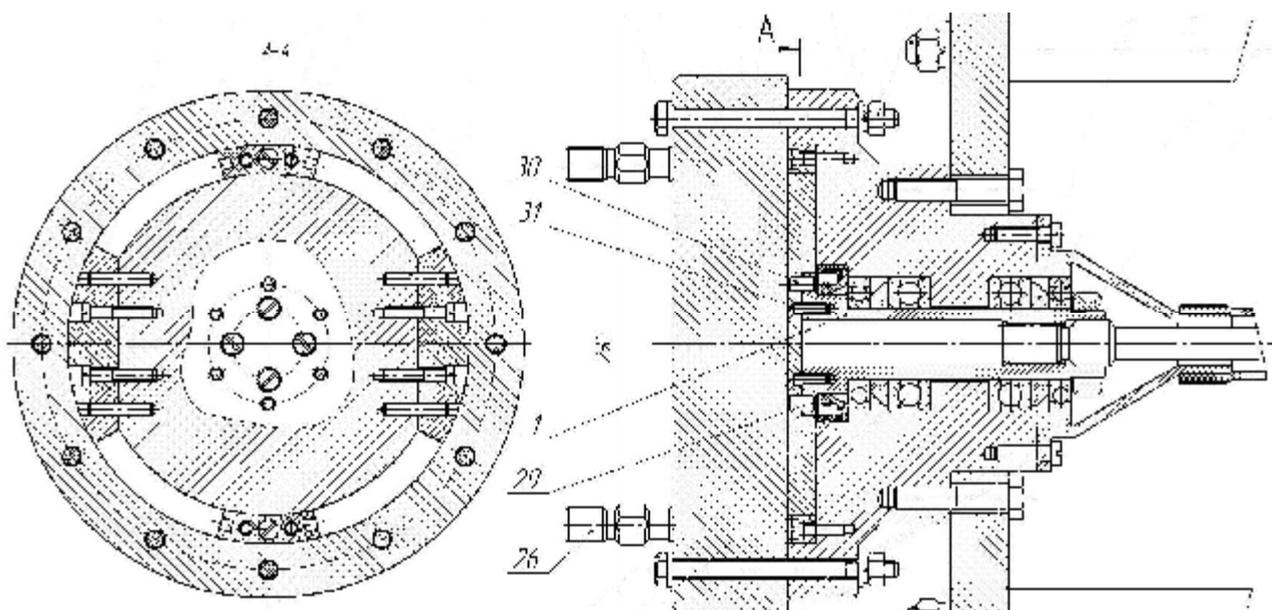


Рис. 3. Модернизированный роторно-лопастной компрессор

Применение двух неподвижных лопастей позволяет, как минимум в два раза, увеличить герметичность компрессора за счет исключения перетечек рабочего тела по периметру лопаток. Удлинение дуги подвижной лопасти с $\varphi_n = 54^\circ$ до 60° , и, соответственно, увеличение эквивалентной длины щели при одновременном уменьшении периметра условного поршня также помогает уменьшить перетечки. За счет использования одного качающегося ротора вместо двух существенно снижаются утечки в картер компрессора.

Для определения герметичности рабочей полости РЛК разработана соответствующая методика [1], позволяющая найти массу газа, перетекшую через щелевые уплотнения в процессе сжатия и выпуска:

$$m_{пер} = \int_{\tau_1}^{\tau_2} Q_{щУ}(\tau) \cdot \rho_{ср} \cdot d\tau. \quad (2)$$

В результате доработки конструкции коэффициент герметичности РЛК-2, рассчитанный по методикам [1], составляет $\lambda_2 = 0,95$ для величины щелевого зазора $\delta = 20$ мкм, при этом производительность компрессора возрастает на 29,4% по сравнению с неоптимизированным вариантом РЛК. Это позволяет добиться требуемой производительности $Q_0 = 419,8 \times 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$ эквива-

лентным увеличением рабочей частоты до $f_p = 11,3$ Гц или всего на 13,4%, а не на 25%, как для случая оптимизации при ограничении по наружному радиусу $r_2 = 55$ мм (рис. 4, 5, 6 [1]).

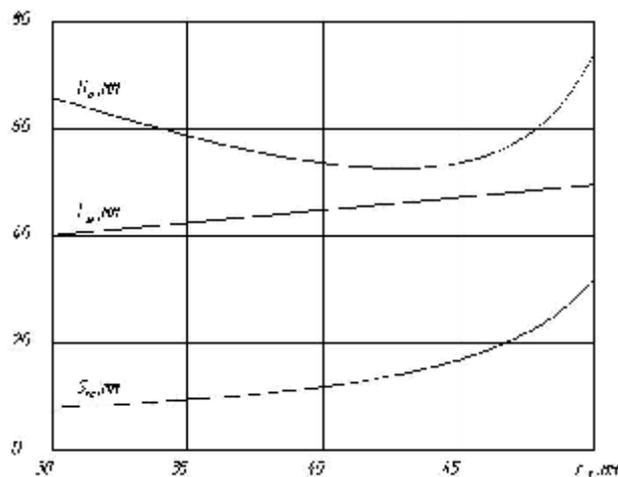


Рис. 4. Зависимость периметра условного поршня, эквивалентной длины и толщины кольцевого канала от внутреннего радиуса

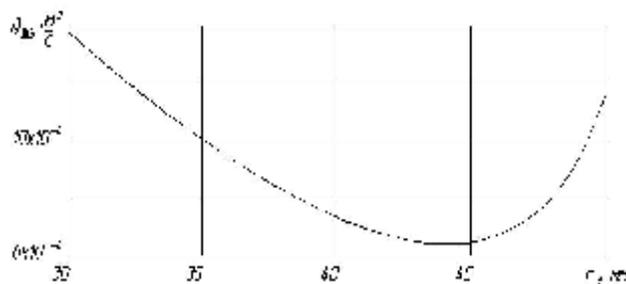


Рис. 5. Зависимость утечек рабочего тела через гладкую щель от внутреннего радиуса

Следует отметить, что для неоптимизированного варианта роторно-лопастного компрессора уровень производительности $Q_e = 419,8 \times 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$ достигается только при рабочей частоте $f_p = 14,7 \text{ Гц}$, то есть при её увеличении в полтора раза относительно теоретической частоты изменения рабочего объема $f = 10,0 \text{ Гц}$ (см. рис. 6).

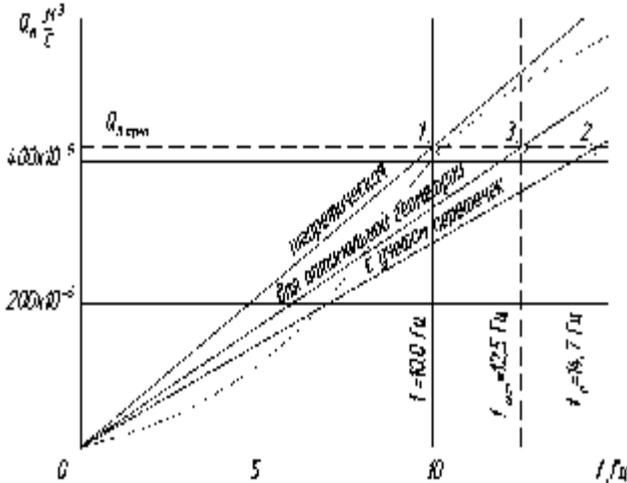


Рис.6. Зависимость производительности от частоты изменения рабочего объема компрессора

В [3] показано, что перетечки рабочего тела оказывают существенное влияние на работу ГКМ, в состав которой входит РЛК. Поэтому выполнение геометрической оптимизации на этапе проектирования позволяет получить характеристики роторно-лопастного компрессора, повышающие эффективность его работы в составе газовой криогенной машины.

Библиографический список

1. Коломин, И.В. Влияние геометрических параметров на производительность роторно-лопастного компрессора [Текст] / И.В. Коломин // Аспирантский вестник Поволжья – 2005. – №2. – С. 42-45.
2. Коломин, И.В. Предварительные испытания роторно-лопастной машины [Текст] / И.В. Коломин, А.И. Довгялло, Ю.М. Русанов, В.В. Лысенков, Ю.М. Трубников // Вестник СГАУ 2006 №2 Ч.1 – Самара: СГАУ, 2006. – С. 302-305.
3. Коломин, И.В. Роторно-лопастной компрессор для бортовой системы охлаждения летательных аппаратов [Текст] : автореф. дисс. канд. техн. наук / И.В. Коломин – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2007. – 16 с.: ил.

References

1. Kolomin, I.V. Geometrical parameters influence on rotor-vane compressor productivity [Text] / I.V. Kolomin // Postgraduate bulletin of the Volga region – 2005 – №2. – pp. 42-45.
2. Kolomin, I.V. Rotor-vane machine preliminary tests [Text] / I.V. Kolomin, A.I. Dovgjallo, Yu.M. Rusanov, V.V. Lisenkov, Yu.M. Trubnikov // Vestnik SSAU 2006 №2 part 1 – Samara: SSAU, 2006. – pp. 302-305.
3. Rotor-vane compressor for onboard cooling system of flying vehicles [Text]: Ph.D. in technical science thesis abstract / I.V. Kolomin – Samara: SSAU, 2007. – 16 p.

ROTOR-VANE COMPRESSOR WITH WORKING CHAMBERS CONTACTLESS CONDENSATION OPTIMIZATIONS VARIANTS

© 2009 I. V. Kolomin, A. I. Dovgjallo, R. N. Galperin, L. Yu. Gulyaev, A. P. Logashkin

Samara State Aerospace University

The review presents rotor-vane compressor (RVC) optimizations ways to improve its characteristics. The promising nature of operating RVC in structure of the compressor block of microcryogenic cooling system is shown.

Rotor-vane compressor, flow-over, slot-hole condensation

Информация об авторах

Коломин Илья Викторович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник научно-исследовательского центра космической энергетики Самарского государственного

аэрокосмического университета. E-mail: kolomin@list.ru. Область научных интересов: рабочие процессы систем охлаждения и термостатирования, бортовая микроэнергетика.

Довгялло Александр Иванович, доктор технических наук, профессор кафедры теплотехники и тепловых двигателей Самарского государственного аэрокосмического университета. E-mail: d.a.i@mail.ru. Область научных интересов: рабочие процессы тепловых двигателей и холодильных машин, бортовая микроэнергетика, энергосбережение.

Гальперин Рудольф Натанович, старший научный сотрудник, руководитель отдела научно-исследовательского центра космической энергетики Самарского государственного аэрокосмического университета. E-mail: 1918uko@mail.ru. Область научных интересов: рабочие процессы в ракетных двигателях малой тяги и системах их питания, испытания изделий.

Гуляев Леонид Юрьевич, инженер научно-исследовательского центра космической энергетики Самарского государственного аэрокосмического университета. E-mail: slr000@yandex.ru. Область научных интересов: конструкторская проработка изделий.

Логашкин Андрей Павлович, инженер кафедры теплотехники и тепловых двигателей Самарского государственного аэрокосмического университета. E-mail: teplotex-ssau@bk.ru. Область научных интересов: рабочие процессы тепловых двигателей.

Kolomin Ilya Viktorovich, Candidate of technical science, the senior researcher of the space power research center of the Samara State Aerospace University, E-mail: kolomin@list.ru. Area of research: cooling and thermostating systems working processes, onboard microcryogenic.

Dovgjallo Alexander Ivanovich, Doctor of technical science, the professor of heating engineering and heat-engine faculty of the Samara State Aerospace University. E-mail: d.a.i@mail.ru. Area of research: heat-engines and cooling machines working processes, onboard microcryogenic, energy savings.

Galperin Rudolf Natanovich, the senior researcher, the department head of the space power research center of the Samara State Aerospace University. E-mail: 1918uko@mail.ru. Area of research: working processes in micro-thrust liquid-propellant engines and their feed systems, test programs.

Logashkin Andrey Pavlovich, the engineer of heating engineering and heat-engine faculty of the Samara State Aerospace University. E-mail: teplotex-ssau@bk.ru. Area of research: engines working processes.