

УДК 621.5+621.89

Математическое моделирование роторно-пластинчатых компрессоров с учетом взаимного влияния трибологических и режимных параметров

Н.А. Райковский, Г.И. Чернов, А.М. Калашников

Омский государственный технический университет,
пр. Мира, 11, г. Омск 644050, Россия

Поступила в редакцию 28.02.2023.

После доработки 05.04.2023.

Принята к публикации 17.04.2023.

Рассмотрена математическая модель безмасляного роторно-пластинчатого компрессора, учитывающая взаимное влияние трибологических и режимных параметров работы ступени. Для формирования условий однозначности математической модели проведены экспериментальные исследования по определению значений коэффициента трения и максимально допустимой скорости скольжения перспективных самосмазывающихся материалов от нагрузочно-скоростных параметров работы компрессорной ступени. В результате математического моделирования интегральных энергетических характеристик безмасляной компрессорной ступени роторно-пластинчатого типа установлена принципиальная возможность расширения диапазона режимов её работы, за счёт обоснованного применения самосмазывающихся материалов в узлах трения и учёта взаимного влияния трибологических и режимных факторов. Теоретические исследования подтвердили возможность повышения быстроходности ступени и степени повышения давления в ней до значений не менее чем в 2 раза превышающих характеристики выпускаемых промышленностью машин. При этом задание постоянного значения коэффициента трения при моделировании ступеней роторно-пластинчатого типа может привести к неверным выводам при проектировании относительно наилучших режимных и конструктивных параметров ступени, а ошибка определения эффективного КПД может достигать 20 %. Повышение быстроходности безмасляной ступени роторно-пластинчатого типа позволит снизить технологические требования к обеспечению торцевых зазоров, а также увеличить в 1,5—2 раза удельные массогабаритные характеристики и степень повышения давления в ступени, при значениях эффективного КПД — 0,8 и более. Предложенная математическая модель позволит более точно прогнозировать потери энергии на механическое трение в ступени и интегральные энергетические характеристики ступени в широком диапазоне режимных и конструктивных параметров работы.

Ключевые слова: математическая модель, трение, роторно-пластинчатый компрессор, пластина.

DOI: 10.32864/0202-4977-2023-44-2-167-179

Адрес для переписки:

А.М. Калашников
Омский государственный технический университет,
пр. Мира, 11, г. Омск 644050, Россия
e-mail: kalashnikov_omgtu@mail.ru

Address for correspondence:

A.M. Kalashnikov
Omsk State Technical University,
Prospect Mira, 11, Omsk 644050, Russia
e-mail: kalashnikov_omgtu@mail.ru

Для цитирования:

Н.А. Райковский, Г.И. Чернов, А.М. Калашников.
Математическое моделирование роторно-пластинчатых компрессоров с учетом взаимного влияния трибологических и режимных параметров.
Трение и износ.
2023. — Т. 44, № 2. — С. 167—179.
DOI: 10.32864/0202-4977-2023-44-2-167-179

For citation:

N.A. Raikovsky, G.I. Chernov, and A.M. Kalashnikov.
[Mathematical Modeling of Rotary Vane Compressors Taking into Account the Mutual Influence of Tribological and Regime Parameters].
Trenie i Iznos.
2023, vol. 44, no. 2, pp. 167—179 (in Russian).
DOI: 10.32864/0202-4977-2023-44-2-167-179

Mathematical Modeling of Rotary Vane Compressors Taking into Account the Mutual Influence of Tribological and Regime Parameters

N.A. Raikovsky, G.I. Chernov, and A.M. Kalashnikov

Omsk State Technical University,
Prospect Mira, 11, Omsk 644050, Russia

Received 28.02.2023.

Revised 05.04.2023.

Accepted 17.04.2023.

The paper presents a mathematical model of an oil-free rotary vane compressor that takes into account the mutual influence of tribological and regime parameters of the stage. To form the conditions for the uniqueness of the mathematical model, experimental studies were carried out to determine the values of the friction coefficient and the maximum allowable sliding speed of promising self-lubricating materials from the load-speed parameters of the compressor stage.

As a result of mathematical modeling of the integral energy characteristics of the oil-free stage of the rotary-lamellar type, the fundamental possibility of expanding the range of its operation modes has been established, due to the justified use of self-lubricating materials in friction units and taking into account the mutual influence of tribological and regime factors. Theoretical studies have confirmed the possibility of increasing the speed of the stage and the degree of pressure increase in it to values not less than 2 times higher than the characteristics of commercially produced machines. At the same time, setting a constant value of the friction coefficient when modeling stages of a rotary-plate type can lead to incorrect conclusions when designing regarding the best operating and design parameters of the stage. Increasing the speed of the oil-free stage of the rotary vane type will reduce the technological requirements for ensuring end clearances, as well as increase the specific weight and size characteristics and the degree of pressure increase in the stage by 1.5—2 times, with effective efficiency values of 0.8 or more.

The proposed mathematical model will make it possible to more accurately predict the energy losses due to mechanical friction in the stages and the integral energy characteristics of the stage in a wide range of operating and design parameters.

Keywords: mathematical model, friction, rotary vane compressor, plate.

DOI: 10.32864/0202-4977-2023-44-2-167-179

Адрес для переписки:

А.М. Калашников
Омский государственный технический университет,
пр. Мира, 11, г. Омск 644050, Россия
e-mail: kalashnikov_omgtu@mail.ru

Для цитирования:

Н.А. Райковский, Г.И. Чернов, А.М. Калашников.
Математическое моделирование роторно-пластинчатых компрессоров с учетом взаимного влияния трибологических и режимных параметров.
Трение и износ.
2023. — Т. 44, № 2. — С. 167—179.
DOI: 10.32864/0202-4977-2023-44-2-167-179

Address for correspondence:

A.M. Kalashnikov
Omsk State Technical University,
Prospect Mira, 11, Omsk 644050, Russia
e-mail: kalashnikov_omgtu@mail.ru

For citation:

N.A. Raikovsky, G.I. Chernov, and A.M. Kalashnikov.
[Mathematical Modeling of Rotary Vane Compressors Taking into Account the Mutual Influence of Tribological and Regime Parameters].
Trenie i Iznos.
2023, vol. 44, no. 2, pp. 167—179 (in Russian).
DOI: 10.32864/0202-4977-2023-44-2-167-179

Список использованных источников

1. **Hu Y.S., Wei H.J., Xu J. [et al.]** A Theoretical Study on the Novel Structure of Vane Compressor for High Efficiency // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. — 2019 (**604**), no. 1, p. 012067. DOI:10.1088/1757-899X/604/1/012067
2. **Aw K.T. and Ooi K.T.** A Review on Sliding Vane and Rolling Piston Compressors // Machines. — 2021, no. 9, 125. <https://doi.org/10.3390/machines9060125>
3. **Bianchi G. and Cipollone R.** Friction Power Modeling and Measurements in Sliding Vane Rotary Compressors // Applied Thermal Engineering. — 2015 (**84**), 276—285. DOI:10.1016/j.applthermaleng.2015.01.080
4. **Hu Y., Xu J., Wan P. [et al.]** A Study on Novel High Efficiency Vane Compressor // International Compressor Engineering Conference: Conference Proceeding, July 9-12. — 2018, 2601
5. **Rukanskis M.** Vane Friction and Wear Influence on Rotary Vane Compressor Efficiency and Operation: Research and Analysis Review // Agricultural Engineering. — 2017 (**49**), 1—12
6. **Vodicka V., Novotny V., and Mascuch J.** Wear behaviour of Vanes for a Rotary Vane Expander with Various Graphite Materials under Dry Sliding Conditions // Acta Polytechnica. — 2018 (**58**), no. 5, 315—322. DOI:10.14311/AP.2018.58.0315
7. **Райковский Н.А.** Анализ развития безмасляных подшипниковых систем быстроходных компрессорных и энергетических агрегатов роторного типа для мобильных условий эксплуатации // Омский научный вестник. — 2022 (**6**), № 2, 36—49. DOI: 10.25206/2588-0373-2022-6-2-36-49
8. **Alduqri Y.A., Kamar H.M., and Musa M.N.** A Novel Double Chamber Rotary Sleeve Air Compressor - Part II: Friction Losses Model // IOP Conf. Ser.: Materi. Sci. Eng. — 2019 (**884**), part 1, 012105. DOI: 10.1088/1757-899X/884/1/012105
9. **Chena Z., Wua J., and Li G.,** Experimental Study on the Tribological Characteristic of Vane-Roller Interface of HC290 Rotary Compressor with Mineral Oil // International Journal of Refrigeration. — 2018 (**94**), 205—213. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2018.01.019>
10. **Vodicka V., Novotny V., and Zeleny Z.** Theoretical and Experimental Investigations on the Radial and Axial Leakages within a Rotary Vane Expander // Energy. — 2019 (**189**), 116097. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116097>
11. **Choo W.C. and Ooi K.T.** Analysis of the Novel Multi-Vane Revolving Vane Compressor — Investigation of Vane Chattering Phenomenon through Instantaneous Working Chamber Pressure Measurements // International Journal of Refrigeration. — 2022 (**134**), 207—218. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2021.11.020>
12. **Kuan Thai A.W. and Kim Tiow O.O.I.** Leakage Study of a Lubricant-Free Revolving Vane Compressor // International Journal of Refrigeration. — 2021 (**124**), 122—133.

<https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2020.12.017>

13. **Райковский Н.А., Аистов И.П., Пономарев Д.Б.** Методика бесконтактного измерения температуры поверхности трения вращающегося диска // Системы. Методы. Технологии. — 2019, № 3(43), 14—19. DOI: 10.18324/2077-5415-2019-3-14-19

References

1. **Hu Y.S., Wei H.J., Xu J. [et al.]** A Theoretical Study on the Novel Structure of Vane Compressor for High Efficiency // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. — 2019 (**604**), no. 1, 012067. DOI:10.1088/1757-899X/604/1/012067
2. **Aw K.T. and Ooi K.T.** A Review on Sliding Vane and Rolling Piston Compressors // Machines. — 2021, no. 9, 125. <https://doi.org/10.3390/machines9060125>
3. **Bianchi G. and Cipollone R.** Friction Power Modeling and Measurements in Sliding Vane Rotary Compressors // Applied Thermal Engineering. — 2015 (**84**), 276—285. DOI:10.1016/j.applthermaleng.2015.01.080
4. **Hu Y., Xu J., Wan P. [et al.]** A Study on Novel High Efficiency Vane Compressor // International Compressor Engineering Conference: Conference Proceeding, July 9-12. — 2018, 2601
5. **Rukanskis M.** Vane Friction and Wear Influence on Rotary Vane Compressor Efficiency and Operation: Research and Analysis Review // Agricultural Engineering. — 2017 (**49**), 1—12
6. **Vodicka V., Novotny V., and Mascuch J.** Wear behaviour of Vanes for a Rotary Vane Expander with Various Graphite Materials under Dry Sliding Conditions // Acta Polytechnica. — 2018 (**58**), no. 5, 315—322. DOI:10.14311/AP.2018.58.0315
7. **Raikovsky N.A.** Analysis of the Development of Oil-Free Bearing Systems of High-Speed Compressor and Rotary-Type Power Units for Mobile Operating Conditions // Omsk Scientific Bulletin. — 2022 (**6**), №2, c. 36-49. DOI: 10.25206/2588-0373-2022-6-2-36-49 (in Russian)
8. **Alduqri Y.A., Kamar H.M., and Musa M.N.,** A Novel Double Chamber Rotary Sleeve Air Compressor - Part II: Friction Losses Model // IOP Conf. Ser.: Materi. Sci. Eng. — 2019 (**884**), part 1, 012105. DOI: 10.1088/1757-899X/884/1/012105
9. **Chena Z., Wua J., and Li G.,** Experimental Study on the Tribological Characteristic of Vane-Roller Interface of HC290 Rotary Compressor with Mineral Oil // International Journal of Refrigeration. — 2018 (**94**), 205—213. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2018.01.019>
10. **Vodicka V., Novotny V., and Zeleny Z.** Theoretical and Experimental Investigations on the Radial and Axial Leakages within a Rotary Vane Expander // Energy. — 2019 (**189**), 116097. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116097>
11. **Choo W.C. and Ooi K.T.** Analysis of the Novel Multi-

- Vane Revolving Vane Compressor — Investigation of Vane Chattering Phenomenon through Instantaneous Working Chamber Pressure Measurements // International Journal of Refrigeration. — 2022 (**134**), 207—218. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2021.11.020>
12. **Kuan Thai A.W. and Kim Tiow O.O.I.** Leakage Study of a Lubricant-Free Revolving Vane Compressor // International Journal of Refrigeration. — 2021 (**124**), 122—133. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2020.12.017>
13. **Raikovsky N.A., Aistov I.P., Ponomarev D.B.**, A technique for non-contact measurement of the temperature of the friction surface of a rotating disk // Systems. Methods. Technologies. — 2019, № 3(43), 14—19. DOI: 10.18324/2077-5415-2019-3-14-19 (in Russian)

Для приобретения полного текста статьи, обращайтесь в редакцию журнала.
Адрес редакции: 246050, ул. Кирова 32а, г. Гомель, Беларусь. Телефон/факс: +375 (232) 34 06 36 / 34 17 11
Full text of articles can be purchased from the editorial office.
Address: 32a Kirov Street, Gomel, Belarus, 246050. Phone: +375 (232) 34 06 36. Fax: +375 (232) 34 17 11
E-mail: FWJ@tut.by