

УДК 62-762.001.5

Моделирование работы торцового контактного уплотнения многорежимной турбомашины

С.В. Фалалеев, Д.С. Лежин

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва,
Московское шоссе, 34, г. Самара 443086, Россия

Поступила в редакцию 07.12.2020.

После доработки 16.08.2021.

Принята к публикации 20.08.2021.

Представлена имитационная модель торцового контактного уплотнения для многорежимной турбомашины, в которой совместно рассматриваются процессы гидродинамики, деформаций и изнашивания уплотнительных поверхностей. Проведено исследование влияния формы зазора на характеристики торцового контактного уплотнения. Выявлено, что при многорежимной работе турбомашины совместное действие деформаций и изнашивания контактирующих поверхностей уплотнения может качественно изменить форму зазора, а также контактное давление, тепловыделение и величину утечек. При расчёте уплотнений необходим учёт предыстории нагружения для прогнозирования ресурса и уровня герметичности уплотнений. Сложные формы зазора, возникающие при смене режима работы турбомашины, приводят к существенным утечкам рабочего тела и интенсивному изнашиванию. Приведено описание созданного программного комплекса, позволяющего моделировать работу многорежимного торцового контактного уплотнения и определять при заданных параметрах режимов работы турбомашины ресурс уплотнения до определенного предельного износа, а также изменение температуры, мощности трения, утечек через уплотнение по времени работы. Имитационная модель может быть использована для отработки методик расчёта характеристик уплотнения, оценки степени влияния на характеристики эксплуатационных и конструктивных факторов, разработки методик ускоренных испытаний при совместном учёте деформаций и изнашивания уплотнительных поверхностей. Использование модели на этапе доводки конструкции уплотнительного узла и назначения эксплуатационных режимов позволит повысить информативность испытаний, снизить затраты на проектирование за счёт уменьшения объёма экспериментальных исследований. Структура имитационной модели позволяет менять отдельные модули, подбирая наиболее подходящую расчётную модель и допускает проведение не только имитационного, но и натурного моделирования, когда отдельные физические процессы в процессе расчёта будут моделироваться на стендовых установках, а полученные результаты передаваться в расчётный цикл.

Ключевые слова: торцовое уплотнение, зазор, утечки, изнашивание, деформации, контактное давление, шероховатость, моделирование.

DOI:10.32864/0202-4977-2021-42-4-400-410

Адрес для переписки:

С.В. Фалалеев
Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королёва,
Московское шоссе, 34, г. Самара 443086, Россия
e-mail: sergey_falaleev@mail.ru

Address for correspondence:

S.V. Falaleev
Samara National Research University,
Moskovskoe Shosse, 34, Samara 443086, Russia
e-mail: sergey_falaleev@mail.ru

Для цитирования:

С.В. Фалалеев, Д.С. Лежин.
Моделирование работы торцового контактного уплотнения
многорежимной турбомашины.
Трение и износ.
2021. — Т. 42, № 4. — С. 400–410.
DOI: 10.32864/0202-4977-2021-42-4-400-410

For citation:

S.V. Falaleev and D.S. Lezhin.
[Simulation of Operation of Contacting Face Seals for Multimode
Turbomachinery].
Trenie i Iznos.
2021, vol. 42, no. 4, pp. 400–410 (in Russian).
DOI: 10.32864/0202-4977-2021-42-4-400-410

Simulation of Operation of Contacting Face Seals for Multimode Turbomachinery

S.V. Falaleev and D.S. Lezhin

Samara National Research University,
Moskovskoe Shosse, 34, Samara 443086, Russia.

Received 07.12.2020.

Revised 16.08.2021.

Accepted 20.08.2021.

Abstract

A simulation model of contact face seal for a multi-mode turbomachine is presented, in which the processes of hydrodynamics, deformation and wear of sealing surfaces are considered together. The study of the influence of the shape of the gap on the characteristics of the contact face seal is fulfilled. It was revealed that during multi-mode operation of the turbomachine, the joint processes of deformation and wear of the contacting surfaces of the seal can significantly change the shape of the gap, contact pressure, heat generation and the amount of leakage. When calculating seals, it is necessary to take into account the history of loading in order to predict the life-time and the level of tightness of the seals. Complex forms of the gap that arise during the changing of the operating mode of the turbomachine lead to significant leaks of the working fluid and intense wear. A description of the created software is given, which allows to simulate the operation of the multi-mode contact face seal and to determine, at the given parameters of the operating modes of the turbomachine, the life-time of seal up to a certain limit wear, as well as the change in temperature, friction power, leakage through the seal over the operating time. The simulation model can be used to develop methods for calculating the characteristics of a seal, to estimate an influence of operational and design factors on characteristics of the seal, to develop accelerated test methods with a joint consideration of deformations and wear of sealing surfaces. The application of the model at the stage of fine-tuning of the design of the sealing unit and the designation of operating modes will increase the information content of tests, reduce design costs by reducing of the volume of experimental research. The structure of the simulation model allows to change individual modules, to select the most suitable design model and allows not only simulation, but also full-scale modeling, when individual physical processes in the calculation process will be simulated on bench installations, and the results obtained will be transferred to the calculation cycle. This approach provides a fairly reliable and low-cost modeling of the seal operation under complex loading conditions and under different operation modes.

Keywords: mechanical seal, gap, leakage, wear, deformation, contact pressure, roughness, simulation.

DOI:10.32864/0202-4977-2021-42-4-400-410

Адрес для переписки:

С.В. Фалалеев
Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королёва,
Московское шоссе, 34, г. Самара 443086, Россия
e-mail: sergey_falaleev@mail.ru

Address for correspondence:

S.V. Falaleev
Samara National Research University,
Moskovskoe Shosse, 34, Samara 443086, Russia
e-mail: sergey_falaleev@mail.ru

Для цитирования:

С.В. Фалалеев, Д.С. Лежин.
Моделирование работы торцового контактного уплотнения
многорежимной турбомашины.
Трение и износ.
2021. — Т. 42, № 4. — С. 400—410.
DOI: 10.32864/0202-4977-2021-42-4-400-410

For citation:

S.V. Falaleev and D.S. Lezhin.
[Simulation of Operation of Contacting Face Seals for Multimode
Turbomachinery].
Trenie i Iznos.
2021, vol. 42, no. 4, pp. 400—410 (in Russian).
DOI: 10.32864/0202-4977-2021-42-4-400-410

Список использованных источников

1. Falaleev S.V., Bondarchuk P.V., and Tisarev A.Yu. Development of Advanced Carbon Face Seals for Aircraft Engines // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. — 2018 (302), no. 1, 1 January 2018, 012004
2. Уплотнения и уплотнительная техника: Справочник / Под общ. ред. А.И. Голубева, Л.А. Кондакова. — М: Машиностроение. — 1986
3. Балыкин В.Б. Проблемы и перспективы использования газо- и гидродинамической смазки в уплотнениях опор роторов авиационных двигателей // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. — 2017 (60), № 2, 129—132
4. Балыкин В.Б., Лаврин А.В., Оссиала В.Б.А. Методика определения момента трения в торцевом мембранным контактном уплотнении // Трение и износ. — 2019 (40), № 1, 62—67
5. Lebeck A.O. Principles and Design of Mechanical FaceSeals. — New York. — 1991
6. Овчар З.Н., Машков Ю.К., Прокудина Н.А. Совершенствование конструкции торцовых уплотнений нефтеперекачивающих насосов на основе анализа гидромеханических и тепловых процессов // Трение и износ. — 2006 (27), № 2, 185—190
7. Vinogradov A.S. Seal Design Features for Systems and Units of Aviation Engines // Life Science Journal. — 2014 (11), no. 8, 575—580
8. Bruce R.W. Handbook of Lubrication and Tribology: Theory and Design, Second Edition, 2. — London: CRC Press Taylor & Francis Group. — 2012
9. Балыкин В.Б., Фалалеев С.В. Методы и средства снижения момента трения в торцовых уплотнениях // Трение и износ. — 2020 (41), № 5, 415—421
10. Пирский М.М. Результаты испытаний контактных уплотнений в криогенной среде // Тезисы доклада Российского симпозиума по трибологии. — Самара. — 1993, Ч. 1, 37
11. Трение, изнашивание и смазка. Справочник. В 2-х кн. / Под ред. И.В. Крагельского, В.В. Алисина. — М.: Машиностроение. — 1978
12. Силаев Б.М. Обобщенная модель процесса внешнего трения и изнашивания // Машиноведение. — 1989, № 2, 56—65
13. Патир Н., Ченг Х.С. Модель усредненного течения для определения влияния трехмерной шероховатости на частичную гидродинамическую смазку // Проблемы трения и смазки. — 1978, № 1, 10—15
14. Bauer P., Glickmann M., and Iwatsuki F. Analytical Techniques for the Design of Seals for Use in Rocket Propulsion System // Dynamics Seals: Technical Report AFRPL — TP-65-6.1. (AD 464989) HT Research Institute, May 1965

15. Mueller G.S. Das Abdichtverhalten von Gleitringdichtungen aus Siliziumkarbid. Dissertation. — Universität Stuttgart (Germany). — 1993
16. Лежин Д.С. Определение термодинамических свойств рабочего тела в контактных уплотнительных узлах // Проблемы и перспективы развития двигателестроения: Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. акад. С.П. Королева. — Самара. — 2000 (4), ч. 2, 160—163

References

1. Falaleev S.V., Bondarchuk P.V., and Tisarev A.Yu. Development of Advanced Carbon Face Seals for Aircraft Engines // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. — 2018 (302), no.1, 1 January 2018, 012004
2. Уплотнения и уплотнительная техника: Справочник (Compaction and Compacting Technique: A Handbook) / Golubev A.I. and Kon-dakov L.A., Eds. — Moscow: Mashinostroenie. — 1986 (in Russian)
3. Balyakin V.B. Problems and Prospects of Using Gas and Hydrodynamic Lubricants in Support Seals of Aircraft Engine Rotors // Russian Aeronautics. — 2017 (60), no. 2, 303—307
4. Balyakin V.B., Lavrin V.B., Ossiala V.B.A. Procedure to Determine Friction Torque in a Mechanical Membrane Contact Seal // Journal of Friction and Wear. — 2019 (40), no. 1, 46—50
5. Lebeck A.O. Principles and Design of Mechanical FaceSeals. — New York. — 1991
6. Ovchar Z.N., Mashkov Y.K., and Prokudina N.A. Improvement of Design of Face Seals of Oil-Transfer Pumps Based on Analysis of Hydromechanical and Thermal Processes // Journal of Friction and Wear. — 2006 (27), no. 2, 56—61
7. Vinogradov A.S. Seal Design Features for Systems and Units of Aviation Engines // Life Science Journal. — 2014 (11), no. 8, 575—580
8. Bruce R.W. Handbook of Lubrication and Tribology: Theory and Design, Second Edition, 2. — London: CRC Press Taylor & Francis Group. — 2012
9. Balyakin V.B. and Falaleev S.V. Methods and Means of Reducing Friction Torque in Face Seals // Journal of Friction and Wear. — 2020 (41), no. 5, 447—452
10. Pirskey M.M. Resultati ispitaniј kontaktnich uplotnenij v kriogennoj srede // Tezisi doklada Rossiskogo simposiuma po tribologiji. — Samara. — 1993, no. 1, 37 (in Russian)
11. Trenie, isnashivanie i smaska. Spravochnik / Pod redakcziej I.V. Kragelskogo, V.V. Alisina. — M.: Mashinostroenie. — 1978 (in Russian)
12. Silaev B.M. Obobshennaya model prozessa vneshego treniya i isnashivaniya // Mashinovedenie. — 1989, no. 2, 56—65 (in Russian)
13. Patir N. and Cheng H.S. An Average Flow Model or Determining Effects of Three-Dimensional

- Roughness on Partial Hydrodynamic Lubrication // J. Tribology. — 1978 (100), 12—17
14. Bauer P., Glickmann M., and Iwatsuki F. Analytical Techniques for the Design of Seals for Use in Rocket Propulsion System // Dynamics seals: Technical Report AFRPL — TP-65-6.1. (AD 464989) HT Research Institute, May 1965
15. Mueller G.S. Das Abdichtverhalten von Gleitring-
- dichtungen aus Siliziumkarbid. Dissertation. — Universität Stuttgart (Germany). — 1993
16. Lezhin D.S. Opredelenie termodinamicheskikh svojstv rabochego tela v kontaktnich uplotnitelnich uslach // Problemi i perspektivi rasvitija dvigatelstroenija: Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo aerokosmicheskogo universiteta imeni akademika S.P. Koroleva. — Samara. — 2000 (4), no. 2, 160—163 (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