

Результаты исследовательских испытаний нового типа привода, основанного на использовании эффекта «предельного пневмомолота» в радиальном газостатическом подшипнике

© Ю.В. Пешти, И.С. Ткачев

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

Рассмотрена возможность создания привода, основанного на использовании эффекта «предельного пневмомолота» в радиальном газостатическом подшипнике. Обобщены условия возникновения эффекта «предельного пневмомолота». Составлены рекомендации по применению привода в системах кондиционирования воздуха современных авиационных летательных аппаратов, холодильной технике. Показаны перспективы применения привода в качестве поворотного механизма искробезопасного запорного вентиля. В трехмерном отображении получены результаты первых теоретических исследований газостатического подшипника, работающего в режиме «предельного пневмомолота». Впервые представлен стенд для исследования рабочих характеристик привода, а также приведены первые результаты, на основании которых определены характерные особенности появления режима «предельного пневмомолота»; найдены уравнения и структура фазовой диаграммы, соответствующие режимам «пневмомолота» и «предельного пневмомолота»; установлены основные условия возникновения режима «предельного пневмомолота». Также впервые уточнена зависимость, которая приводит к возникновению эффекта «предельного пневмомолота». Определены основные конструктивные и эксплуатационные требования к разрабатываемому приводу. Проанализированы полученные результаты и предложены дальнейшие этапы разработки и облик нового привода.

Ключевые слова: *предельный пневмомолот, газостатический подшипник, привод, система кондиционирования воздуха, авиация.*

При определенных сочетаниях геометрических размеров газостатического радиального подшипника с покоящимся валом и параметров наддуваемого в рабочий зазор подшипника газа возникают самовозбуждающиеся колебания вала. Это явление динамической неустойчивости первоначально невращающегося вала получило название «пневмомолот» [1]. При случайном сближении цапфы вала со стенкой вкладыша подшипника происходит их соприкосновение, приводящее к возникновению эффекта «предельного пневмомолота».

Работа газостатического подшипника в режиме «предельного пневмомолота» характеризуется определенным крутящим моментом на валу и постоянной частотой вращения вала со скоростью 2...5 об/мин, что создает предпосылку для создания привода на основе этого эффекта, который мог бы найти применение в различных областях машиностро-

ения. Например, в качестве привода льдогенератора, искробезопасных поворотных механизмов заслонок трубопроводов, системах автоматического поддержания давления и системах кондиционирования воздуха. Перспективным также является использование нового типа привода в качестве демпфирующего устройства с основной несущей частотой, отличной от вибрационных частот авиационных средств.

Новый тип привода также находит широкое применение в смесительных устройствах химического производства и в технологических процессах разработки основных агрегатов систем жизнеобеспечения бортовых средств: например, в качестве вибростенда для уплотнения в патронах хемосорбентов и силикагелей для осушителей бортового радиоэлектронного оборудования, а также в технологических системах, имеющих развитую пневматическую сеть.

В литературе отсутствуют данные по разработке привода на основе автоколебательных газостатических устройств [2–4].

Впервые эффект кручения вала с постоянной частотой и вращением был запатентован в МГТУ им. Н.Э. Баумана [5].

Цель работы — разработка нового типа привода, основанного на использовании эффекта «предельного пневмомолота» в радиальном газостатическом подшипнике.

Для создания нового привода в настоящей работе решены следующие задачи: создание стенда для исследования нового типа привода и проведение первых испытаний. Разработанный стенд обеспечивает гибкость регулировки как параметров газа, так и конструктивных параметров подшипника.

Все расчеты впервые выполнены при переменном коэффициенте расхода, который учитывает изменение зазора в режиме предельного пневмомолота [6, 7].

Все результаты расчетных параметров газа впервые получены в трехмерном графическом виде.

В процессе испытаний газостатический подшипник помещался в бронекамеру. По результатам испытаний нового привода впервые были получены фазовые диаграммы автоколебательного процесса, характерные для «пневмомолота» и «предельного пневмомолота». Были определены виды уравнений фазовых диаграмм. Также установлено, что наступление режима «пневмомолота» соответствует мягкому самовозбуждению, в то время как режим «предельного пневмомолота» обычно наступает при жестком самовозбуждении, условием возникновения которого может быть увеличение давления наддува или заклинивание дросселей.

В процессе испытаний были определены следующие характерные особенности работы нового привода:

- наступление вращения вала характеризовалось появлением акустического низкочастотного фона, который изменялся в зависимости от давления наддува. Низким давлениям соответствовал низкочастотный фон. При увеличении давления наддува частота фона росла. При этом вибрационная частота во всем диапазоне давлений менялась прямо пропорционально. Таким образом, «привыкнув» к фону, можно определять на слух режим работы привода;

- на режимах работы газостатического привода не сказывалось отсутствие воздушного фильтра и влияние конденсата, попадающего с рабочим воздухом в зазор и дроссели. Однако наличие влаги, безусловно, оказывало корродирующее действие на корпус подшипника;

- при высоких давлениях проявлялся эффект Джоуля — Томпсона, который заключался в падении температуры потока на дросселях и появлении инея на трубках;

- при запираании дросселей, т. е. снижении расхода на выходе из подшипника, режим «пневмомолота» обнаруживался при очень небольших давлениях наддува.

Среди прочих условий возникновения эффекта «предельного пневмомолота» было впервые получено выражение для определения минимальной величины радиального зазора, равное $R_b \cdot 10^{-6} \cdot 0,85$, где R_b — радиус ротора привода.

Таким образом, для достижения цели настоящей работы впервые были поставлены и решены следующие задачи:

- предложена методика расчета наступления режима «предельного пневмомолота» с апробацией методики на исследовательском стенде;

- выявлены характерные особенности появления режима «предельного пневмомолота»;

- определены уравнения и структура фазовой диаграммы, соответствующие режимам пневмомолота и предельного невмомолота;

- выявлены основные условия возникновения режима «предельного пневмомолота»;

- определены основные конструктивные требования к разрабатываемому приводу;

- определены основные эксплуатационные требования к разрабатываемому приводу.

Следует подчеркнуть, что в литературе, посвященной вопросам динамической неустойчивости ротора в газостатических опорах, отсутствуют данные об исследовании и разработке привода, основанного на использовании эффекта «предельного пневмомолота».

Научная новизна настоящей работы заключается в том, что все перечисленные выше задачи по расчету привода, разработке стенда для его испытаний и выводов по результатам испытаний сформулированы и выполнены впервые.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Пешти Ю.В. *Газовая смазка*. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана. 1993, 381 с.
- [2] Trippet R.J., Oh K.P., Rohde S.M. Theoretical and Experimental Load-deflection. *Studies of a Multileaf Journal Bearing. Topics in Fluid Film Bearing Design and Optimization: Presented of the Design Engineering Conference, Chicago*. Illinois, 1978, April, pp. 130–156.
- [3] *Design Gas bearings*. N.Y. , Mechanical Technology Incorporated, 1969, 673 p.
- [4] Кунина В.В., Пешти Ю.В. Аналитическое определение неустойчивых режимов работы газостатических радиальных подшипников с гладкими рабочими поверхностями. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана, Сер. Машиностроение*, 1998, с. 151–159 .
- [5] А.С. № 824714. *Способ создания вращательного движения вала*.
- [6] Выгодский М.Я. *Справочник по высшей математике*. Москва, АСТ: Астрель, 2006, 246 с.
- [7] Идельчик И.Е. *Справочник по гидравлическим сопротивлениям*. Москва, Машиностроение, 1992, 672 с.

Статья поступила в редакцию 12.10.2015

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Пешти Ю.В., Ткачев И.С. Результаты исследовательских испытаний нового типа привода, основанного на использовании эффекта «предельного пневмомолота» в радиальном газостатическом подшипнике. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2015, вып. 9. URL: <http://engjournal.ru/catalog/mesc/msds/1436.html>

Пешти Юлий Викторович родился в 1933 г., окончил МВТУ им. Н.Э. Баумана в 1957 г. Д-р техн. наук, профессор кафедры «Холодильная, криогенная техника, системы кондиционирования и жизнеобеспечения» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Имеет более 120 научных работ в области криогенной техники, систем кондиционирования и газовой смазки.

Ткачев Иван Сергеевич родился в 1985 г., окончил МГТУ им. Н.Э. Баумана в 2008 г. Аспирант кафедры «Холодильная, криогенная техника, системы кондиционирования и жизнеобеспечения» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Ведущий инженер-конструктор Департамента систем жизнеобеспечения АО «Технодинамика».
e-mail: TkachevIS@technodinamika.ru

The results of research tests of a new type actuator based on the effect of “Ultimate pneumatic hammer” in the radial gas-static bearing

© Yu.V. Peshti, I.S. Tkachev

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, 105005, Russia

The article considers a possibility of creating a drive based on the effect of “Ultimate pneumatic hammer” in the radial gas-static bearing. It summarizes the conditions of occurrence of the effect of “limiting pneumatic hammer”. We draw up recommendations on the application of the drive in the air conditioning systems of modern aviation aircraft, refrigeration. The prospects of the use of the drive as the rotating mechanism of intrinsically safe shut-off valve are shown. The first results of theoretical studies of gas-static bearings operating in the “limit pneumatic hammer” mode were obtained in a three-dimensional mapping. For the first time we present a stand for investigation of driving performance, as well as the first results on the basis of which we defined features of occurrence of the “limiting pneumatic hammer” mode. Also we found equations and the structure of the phase diagram, corresponding the regimes “pneumatic hammer” and “limiting pneumatic hammer”. Basic conditions for the appearance of the “limiting pneumatic hammer” mode were established. Also for the first time we clarified dependence, which leads to the effect of “limiting pneumatic hammer”. The basic design and operational requirements of the developed drive were determined. Analysis of the obtained results allowed to put forward further steps of development and the shape of a new drive.

Ключевые слова: limiting pneumatic hammer, gas-static bearing, drive, air conditioning systems, aviation.

REFERENCES

- [1] Peshti Yu.V. *Gazovaya smazka* [Gas lubrication]. Moscow, BMSTU Publ., 1993, 381 p.
- [2] Trippet R.J., Oh K.P., Rohde S.M. Theoretical and Experimental Load-deflection. *Studies of a Multileaf Journal Bearing. Topics in Fluid Film Bearing Design and Optimization: Presented of the Design Engineering Conference, Chicago*. Illinois, 1978, April, pp. 130–156.
- [3] *Design Gas bearings*. N.Y., Mechanical Technology Incorporated, 1969, 673 p.
- [4] Kunina V.V., Peshti Yu.V. *Vestnik MGTU im. N.E. Baumana, Ser. Mashinostroenie — Herald of the Bauman Moscow State Technical University. Series Mechanical Engineering*, 1998, pp. 151–159.
- [5] Certificate of authorship no. 824714. *Sposob sozdaniya vrashchatelnogo dvizheniya vala* [A method for creating a rotational movement of a shaft].
- [6] Vygodsky M.Ya. *Spravochnik po vysshey matematike* [Handbook on higher mathematics]. Moscow, AST: Astrel, 2006, 246 p.
- [7] Idelchik I.E. *Spravochnik po gidravlicheskim soprotivleniyam* [Handbook on hydraulic resistance]. Moscow, Mashinostroenie, 1992, 672 p.

Peshti Yu.V. (b.1933) graduated from Bauman Higher Technical School in 1957. Dr. Sci. (Eng.), professor of the Department “Refrigerating and Cryogenic Technology. Air Conditioning and Life Support Systems” at Bauman Moscow State Technical University. Author of over 120 publications in the field of cryogenic technology, air conditioning systems and gas lubrication.

Tkachev I.S. (b. 1985) graduated from Bauman Moscow State Technical University in 2008. Postgraduate student of the Department “Refrigerating and Cryogenic Technology. Air Conditioning and Life Support Systems” at BMSTU. Leading engineer-designer of the Department “Safety and life sustaining systems” at JSC “Technodinamika”.
e-mail: TkachevIS@technodinamika.ru