

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ САМОРЕГУЛИРУЕМОГО ТОРЦОВОГО УПЛОТНЕНИЯ

Ч. Кундера*, Д. Михальский*, А.В. Загорулько**

*Технологический университет, г. Кельце, Польша

**Сумский государственный университет, Украина

В статье приведена физическая модель саморегулируемого бесконтактного торцового уплотнения. Представлены экспериментальная установка, конструкция регулятора и результаты работы системы регулирования.

ВВЕДЕНИЕ

Уплотнение с регулируемыми параметрами, которое обычно называют саморегулируемым уплотнением, относительно новая идея. Впервые было предложено рассматривать механическое контактное торцовое уплотнение как объект регулирования в экспериментальных работах [1,2,3]. Исследования заключались в измерении температуры или величины протечек и регулировании нагрузки, действующей на уплотнительные кольца. В литературе [4] приведен обзор основных теоретических и экспериментальных результатов, полученных в этой области. Достаточно интересный эксперимент описан в литературе [5], в котором зазор контролировался электропневматическим преобразователем. В литературе [4] обсуждаются результаты исследований и оборудование, используемое для испытаний различных конструкций саморегулируемых торцовых уплотнений.

Экспериментальный анализ был проведен для модели бесконтактного торцового уплотнения с упруго установленным не вращающимся кольцом (рис. 1а). Известно, что в бесконтактном уплотнении требуется поддерживать постоянный независимый от времени зазор между уплотнительными кольцами. Для этого необходимо регулировать силы, действующие на упруго установленное кольцо. Внутреннюю силу, возникающую в зазоре уплотнения F_s (раскрывающая сила) и внешнюю нагружающую силу F_d (закрывающая сила) (рис. 1б).

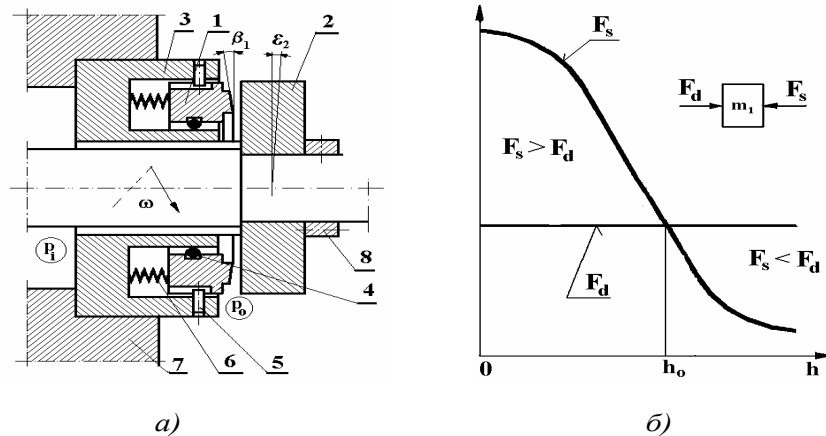


Рисунок 1 - Схема торцового уплотнения с упруго установленным не вращающимся кольцом (а) и статическая характеристика уплотнения (б):
 1,2 – уплотнительные кольца; 3 – обойма упруго установленного кольца;
 4 – вторичное уплотнение; 5 – поводок, 6 – пружина; 7 – корпус; 8 – фиксатор;
 p_0 – давление уплотняемой воды; β_1 – угол конусности торцевой поверхности;
 ε_2 – перекоп вращающегося кольца; ω – угловая скорость вращения вала

Пока силы, действующие на упруго установленное кольцо, уравновешены, фактическая величина зазора равна заранее установленной величине h_0 . Какие-либо изменения характеристик уплотняемой жидкости, частоты вращения вала или амплитуды вибраций приводят к нарушению этого равновесия.

Зазор в уплотнении может регулироваться одним из двух способов: изменением раскрывающей или закрывающей сил (рис. 1б). Сила, раскрывающая зазор, зависит от геометрии уплотнения, перепада давления, вязкости и скорости вращения вала. Метод, заключающийся в регулировании силы в зазоре, используется в бесконтактных торцовых уплотнениях, в которых на одной из поверхностей торцовых колец выполнены микроканавки различной формы, поэтому изменение в распределении давления приводит к изменению внутренней разгружающей силы. Другой метод контроля зазора заключается в регулировании закрывающей силы, действующей на упруго установленное кольцо, и он является более предпочтительным по сравнению с первым методом. Это связано с тем, что закрывающая сила менее чувствительна к изменению параметров уплотнительной системы [4].

Цель этой статьи – описание стенда для испытаний уплотнения с механизмом пневматического регулирования закрывающей силы, а также обсуждение наиболее интересных результатов, которые касаются работы системы регулирования.

ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО СТЕНДА

Исследования проводились на оригинальном экспериментальном стенде, в котором реализован метод контроля величины зазора в уплотнении. На фотографии (рис. 2) показаны измерительная аппаратура и экспериментальная установка. Экспериментальный стенд состоит из следующих систем и модулей: механической системы, в которую входит измерительная и регулирующая головка; привода и основания; модуля для поддержания требуемого давления жидкости в уплотнительной камере; модуля для создания нагрузки на упруго установленное кольцо; системы регулирования; измерительной системы, отвечающей за получение и обработку данных эксперимента.

Одно из уплотнительных колец 3 упруго установлено в корпусе камеры 4, другое установлено на валу 1 и вращается в месте с ним. Привод вала позволяет плавно регулировать частоту вращения, максимальная величина частоты вращения - 3000 об/мин. Уплотняемая жидкость подается в испытательную камеру специальной пневмосистемой с номинальной величиной давления равной 0,6 МПа.

В испытательной камере установлены измерительные датчики 12. В экспериментах нагружение упруго установленного кольца обеспечивалось пневматической системой. Зазор регулировался изменением нагружающей силы, действующей на упруго установленное кольцо при помощи системы регулирования. Рисунок 4 показывает блок-схему системы регулирования величины зазора в уплотнении.

Торцовое уплотнение исследовалось в испытательной камере. Схематически испытательная камера показана на рис.3.

Токовихревой датчик перемещения использовался для измерения величины зазора в уплотнении, т.е. для исследования динамического поведения упруго установленного кольца относительно корпуса. После ограничения напряжения сигнал с датчика зазора поступал на персональный компьютер через аналогоцифровой преобразователь (АЦП). Затем вычислялся зазор в уплотнении, который сравнивался с величиной требуемого зазора. Основываясь на разнице сигнала между измеренным и



Рисунок 2 - Установка с измерительной аппаратурой

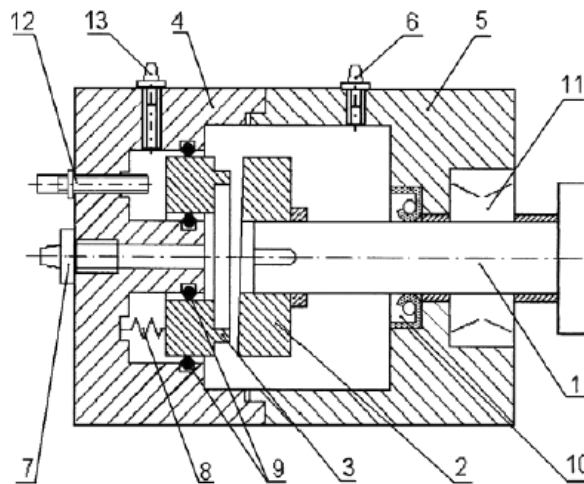


Рисунок 3 - Схема испытательной камеры:
 1 – вал; 2,3 – уплотнительные кольца; 4,5 – элементы камеры;
 6 – подвод уплотняемой среды; 7 – отвод протечек; 8 – пружины;
 9 – вторичные уплотнения; 10,11 – подшипниковый узел;
 12 – бесконтактный индуктивный датчик; 13 – подвод воздуха

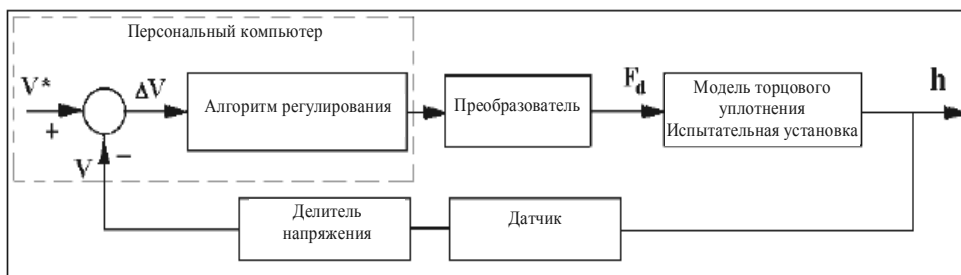


Рисунок 4 - Блок-схема системы регулирования величины зазора в уплотнении

требуемым зазором в соответствии с алгоритмом регулирования, рассчитывался регулируемый сигнал, который затем передавался через цифроаналоговый преобразователь (ЦАП) на электропневматический преобразователь. Функцией электропневматического преобразователя является обеспечение давления воздуха (нагружающей силы) пропорционального сигналу в виде напряжения, полученного с ЦАП.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

На первой стадии исследования была получена статическая характеристика уплотнения. Давление воздуха в статорной камере, создающее нагрузку на упруго установленное кольцо, изменялось электропневматическим регулируемым клапаном. Давление воздуха, также как и величина зазора, измерялись при определенной величине давления уплотняемой среды.

Для определенной величины давления воздуха, т.е. силы давления, получена средняя величина установившегося зазора в период времени равный примерно 1 с. При испытаниях понижали величину давления воздуха до тех пор, пока не была достигнута некоторая потеря устойчивости в виде больших протечек и повышения амплитуды вибрации кольца. Это свидетельствовало о турбулентном режиме течения в торцовом зазоре. Величина зазора в этом случае была около 150 мкм. На рисунке 5 показаны статические характеристики, полученные для трех разных величин давления воды $p_{w1}=0,218$ МПа, $p_{w2}=0,272$ МПа, $p_{w3}=0,343$ МПа.

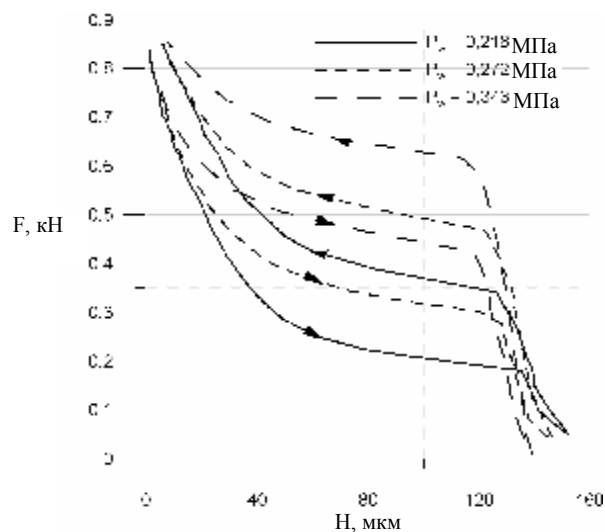


Рисунок 5 - Статические характеристики испытываемого уплотнения

Характеристики, приведенные на рис. 5, являются нелинейными и имеют форму петли гистерезиса. Это объясняется наличием значительных сил трения в системе, а также другими нелинейностями, связанными с пластическими свойствами эластомерного уплотнительного кольца и наличием пленки жидкости в зазоре торцового уплотнения. Из рисунка 5 видно, что повышение величины зазора приводит к снижению коэффициента жесткости системы. Кроме того, при повышении давления воды p_w , наблюдается некоторое изменение статических характеристик уплотнения. Это связано с тем, что точка статического равновесия кольца смещается, поэтому рабочая точка системы в целом также изменяется.

На следующем этапе был выполнен контроль системы регулирования. Испытания были проведены со следующими рабочими характеристиками: давление уплотняемой воды $p_w = 0,2175$ МПа, угловая скорость вращения $\omega = 10$ Гц, угол конусности статора (0,5 – 1,5) мрад и расцентровка ротора 1,5 – 2,5 мрад.

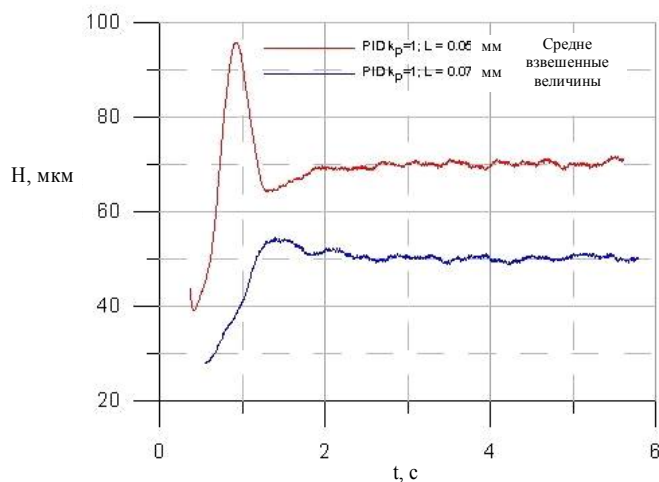


Рисунок 6 – Величина зазора в уплотнении

Рисунок 6 показывает процесс регулирования силы давления для двух различных величин зазора: $H_1 = 0.05$ мм и $H_2 = 0.07$ мм. Из статических характеристик (рис. 5) видно, что эти значения зазора находятся в области малых коэффициентов жесткости пленки уплотняемой среды и при этом значительные силы трения действуют на вторичное уплотнение. Такие условия не совсем благоприятны для исследования процесса регулирования зазора. Это связано с тем, что даже незначительное изменение силы приводит к резкому повышению величины зазора. Тем не менее эти условия были выбраны для того, чтобы проверить возможности системы регулирования. Как видно из рисунка 6, величина зазора после некоторого переходного периода устанавливается и колеблется возле требуемой величины. Также видно, что перерегулирование, которое наблюдается в переходном периоде, меньше для меньшей величины зазора. Кроме того, в экспериментах было определено, что для меньших величин зазора значительно проще обеспечить регулирование.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Регулирование зазора в уплотнении часто обсуждаемая проблема и пока, в большинстве случаев, изучается чисто теоретически. В работе представлена специальная испытательная установка, получены статические и динамические характеристики бесконтактного торцового уплотнения с системой регулирования. Получены экспериментальные данные по регулированию величины зазора в уплотнении. Авторы статьи надеются, что решение, описанное выше, со временем станет общепринятым в промышленной практике.

SUMMARY

The paper presents a physical model of a noncontacting face seal and an original test rig. The experimental setup, controller design, and results of the controlled system performance are presented.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Kundera Cz., Rudol F. Boundary state of a sliding ring seal // Exploitation Problems of Machines. – Polish Academy of Sciences. Issue 1-2 (69-70). – 1987. – P.75-90.
2. Salant R.F., et al. Development of an electronically controlled mechanical seal. Proc. BH Conf. on Fluid Sealing, Paper H-2, Cannes. – France. – 1987. – P. 576-595.
3. Heilala A.J., Kangasneimi A. Adjustment and control of a mechanical seal against dry running and severe wear. Proc. BHRA 11th Intl. Conf. on Fluid Sealing, Paper H-2, Cannes. – France. – 1987. – P. 548-575.
4. Kundera Cz. Active sealing of vibrating and rotating elements: Monograph No 15. Kielce University of Technology. – Kielce, 1999. – P. 115.
5. Min Zou, Green I. Clearance Control of a Mechanical Face Seal // Tribology Transactions ASLE. – Vol.42, No.3. – 1999. – P. 535-540.

Ч. Кундера, д-р техн. наук, професор

Технологический университет, г. Кельце, Польша

Д. Михальский, магистр

Технологический университет, г. Кельце, Польша

А.В. Загорулько, канд. техн. наук

Сумский государственный университет, Украина

Поступила в редакцію 28 ноября 2006 г.