

МАГНИТНОЕ КОНЦЕВОЕ УПЛОТНЕНИЕ

Ян Фидлер

Технический университет, г. Брно (E² FS VUT)



Концевые уплотнения вращающихся тепловых установок, к которым относятся паровые турбины, применяемые как для классических ТЭС, так и для АЭС, имеют исключительно важное значение с точки зрения обеспечения плотности и, таким образом, эксплуатационной надежности оборудования. Для обеспечения уплотняемости корпусов турбин по отношению к роторам чаще всего применяются лабиринтовые бесконтактные уплотнения. Кроме классических бесконтактных и контактных уплотнений, проверенных длительным эксплуатационным опытом, были разработаны магнитные концевые уплотнения с порошковым уплотняющим заполнителем. Однако, сфера их применимости ограничена. Возможности использования данных уплотнений приводятся в статье.

ВВЕДЕНИЕ

Для исследований функциональной способности и получения практического опыта в Энергетическом институте машиностроительного факультета Технического университета в Брно, Чешская республика (E² FS VUT) был разработан и создан испытательный стенд для исследований магнитных концевых уплотнений. Собственным измерениям предшествовали теоретические разработки, послужившие основой для описания физической сущности модели уплотнения.

Сущность магнитного уплотнения состоит в создании замкнутого магнитного контура между статором и ротором (рис.1). Контур замыкается через зазор, заполненный магнитным порошком очень тонкого зернового состава. Избыточное давление среды преодолевается данным ферромагнитным заполнителем, который удерживается в зазоре магнитным полем достаточной интенсивности. Применимость этого уплотнения всегда лимитируется его конструктивным выполнением и условиями эксплуатации, а именно, прежде всего, следующими факторами:

- окружная скорость в зазоре между статором и ротором;
- радиальный зазор в уплотнении и его изменение во время эксплуатации;
- ограничение по перепаду давления на одну ступень уплотнения;
- ограничение по температуре в месте уплотнения (потеря магнитных свойств).

ФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

Создание теоретической физической модели уплотнения было вызвано необходимостью исследовать области и возможности применения данного типа уплотнения для паровых и газовых турбин при одновременной потребности проверить неполные информационные данные фирменных источников. Решение магнитно-

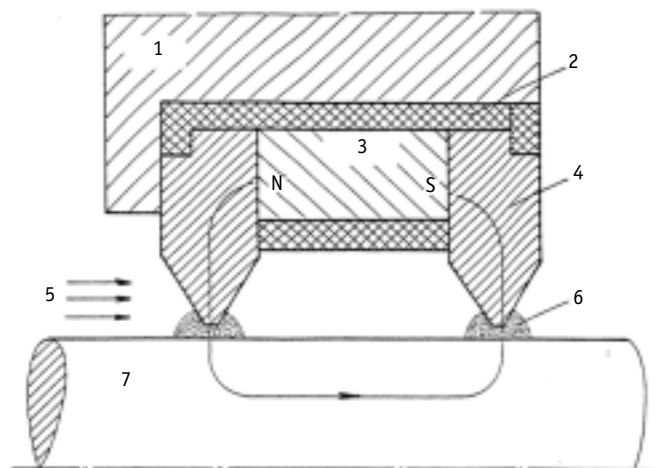


Рис.1. Принцип магнитного порошкового уплотнения: 1 - статор; 2 - немагнитная втулка; 3 - магнит; 4 - полюсные башмаки; 5 - избыточное давление; 6 - ферромагнитный порошок; 7 - ротор

го контура (рис.2) исходило из уравнений правила Максвелла для стационарного магнитного поля. Уравнения были использованы для кольцевой катушки, установленной в ферромагнитном статоре. Решением данных уравнений для магнитной индукции и интенсивности магнитного поля при известных геометрических характеристиках и магнитодвижущем напряжении в контуре катушки является величина плотности энергии в зазоре уплотнения, заполненного ферромагнит-

ным порошком. На основе известного значения энергии была рассчитана сила, удерживающая порошок в зазоре, и был определен теоретический перепад давления среды, который выдерживает уплотнение. Теоретические значения перепада давления на одной ступени уплотнения имели порядок 10^4 Па и разнились в зависимости от геометрической формы уплотнения и параметров магнитного контура.

ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ СТЕНД

Цель эксперимента состояла не только в проверке правильности разработанной физической теории модели уплотнения, но также в получении практического опыта с порошковым магнитным уплотнением и в определении достигаемых величин выдерживаемых перепадов давления. Испытательный стенд позволял менять обороты ротора вплоть до получения окружной скорости в уплотнении 50 м/с, изменять крутящий момент привода, значения напряжения и силы тока в катушках электромагнита, величину радиального зазора кромок уплотнения и несоосности ротора по отношению к статору, причем в диапазонах предполагаемых расчетных краевых условий. В отличие от постоянного магнита, используемого для коммерчески выпускаемых уплотнений, на испытательном стенде был применен электромагнит, что позволило варьировать параметры магнитного контура.

Испытательный стенд был составной частью измерительного тракта, где можно было менять и измерять величину перепада давления, выдерживаемого уплотнением, значения

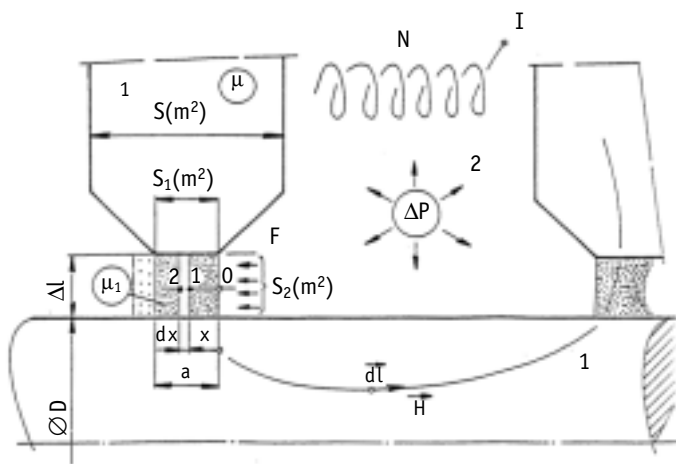


Рис.2. Физическая модель уплотнения: 1 - поперечное сечение S , m^2 ; 2 - избыточное давление

Таблица 1

Данные по полученным максимальным значениям при состоянии насыщения магнитного контура

Выдерживаемый перепад давления, $\Delta p_{\text{макс}}$, кПа	Окружная скорость, м/с	Радиальный зазор в уплотнении, мм
18,6 ± 0,8	0	0,2
11,3 ± 0,6	0	0,5
10,5 ± 0,5	10,5	0,5
9,5 ± 0,6	21	0,5
9,0 ± 0,8	31,5	0,5

массового расхода утечек рабочей среды через функционирующее уплотнение, мощность привода, необходимого для преодоления пассивных сопротивлений в уплотнении. По причине доступности в качестве испытываемой среды служил воздух под давлением.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ МАГНИТНОГО УПЛОТНЕНИЯ

Экспериментально определялись две основные рабочие характеристики.

1. Зависимость выдерживаемого перепада давления среды внутри уплотнения от величины магнитной индукции (силы тока) в контуре.

В качестве параметров принимались окружная скорость и радиальный зазор в уплотнении. Данные по полученным максимальным значениям при состоянии насыщения магнитного контура приведены в табл.1.

Результаты экспериментов хорошо сходятся с величинами, рассчитанными по соотношениям для упрощенной физической модели уплотнения. Вызывает интерес незначительное падение выдерживаемых перепадов при увеличении числа оборотов ротора.

2. Зависимость массового расхода среды через уплотнение (утечки) от преодолеваемого перепада давления.

В качестве параметров были взяты окружная скорость и радиальный зазор в уплотнении. Для максимальных значений полученных перепадов давления (см. табл.1) массовый расход утечки среды через уплотнение ф 100 мм находился в пределах от 1,1 до 1,35 г/ч, причем вне зависимости от числа оборотов (для радиального зазора 0,5 мм). При уменьшении радиального зазора до величины 0,2 мм утечка снизилась до 0,87 г/ч.

Результаты экспериментов, проведенных в ЕЪ FS VUT с магнитными концевыми уплотнениями с порошковым наполнителем, сравнивались с результатами тестов следующих фирм:

- BW- IP, SEAL DIVISION - Siegharstkirchen - Австрия;
- BURGMANN DICHТУNGSWERKE GmbH - Wolfratshausen - ФРГ;
- FLEXIBOX LIMITED - Manchester, Англия.

Проведенное теоретическое моделирование и выводы, сделанные на основе результатов экспериментальных исследований, достаточно близки к опубликованным фирменным данным для коммерческих уплотнений.

ПРИМЕНЕНИЕ УПЛОТНЕНИЯ ДЛЯ ТУРБИН АЭС

Результаты испытаний показали, что магнитные уплотнения пока нельзя рекомендовать для общеходовых заказов на паровые турбины АЭС. С точки зрения эксплуатационной безопасности требуется однозначно исключить их применение у турбин с одноконтурной схемой с кипящим легководным реактором (тип BWR) или

с охлаждаемым водой графитовым реактором (RBMK). При отказе магнитного концевой уплотнения наступает утечка радиоактивного пара в пространство машзала. По ряду важных причин, а именно, низкое значение преодолеваемого перепада давления в одной ступени, значение окружной скорости в зазоре меньшее или сравнимое с обычными контактными уплотнениями, проблемы с экранированием магнитных полей, потери от трения, в особенности, при старте установки, проблемы с эксплуатационной надежностью (при утечке порошка уплотнение не обеспечивает надежную плотность, а поэтому всегда нужно дополнять порошок), и, прежде всего, существенно высшая цена (на порядки) при эффективных качествах, сравнимых с применяемыми на практике контактными уплотнениями, не дает в настоящее время магнитным уплотнениям и экономический шанс на их практическое применение в паровых и газовых турбинах.

ВЫВОДЫ

Магнитные концевые уплотнения применяются в настоящее время для специальных видов вращающихся машин (компрессоры, насосы) или же для оснастки трубопроводов (арматура, компенсаторы) в качестве последней ступени за иным видом уплотнения. В таких случаях они работают на нулевом перепаде давления, а поэтому надежно предотвращают утечки рабочей среды. Эти уплотнения особенно годятся для взрывоопасных, горючих, радиоактивных, токсических или иначе опасных газов. Специализированные фирмы предлагают магнитные уплотнения чаще всего именно для указанной сферы применения.

Поступила в редакцию 15.07.99.

ABSTRACTS OF THE PAPERS

УДК 621.039.566

Calculation of the Resource Performances of Equipment under Nonlinear Effects of Degradation Processes \ O.M. Gulina, N.L. Sal'nikov; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 1999. – 5 pages, 2 illustrations, 1 table. – References, 4 titles.

The method of nonlinear summation of damages for calculation of the resource performances of equipment working under corrosion and the change of modes of operation conditions is developed. Parameter describing the process of degradation of a material under these conditions is introduced, and the equation for estimation of this parameter is obtained. For the solution of the problem the statistics on failures of equipment and the dependence of time before failure from parameters of medium and performances of a material is utilized.

УДК 620.179.16

Ultrasonic Method of Control of Stressed State of a Metal for Technological Channels of RBMK-type Nuclear Reactors on the Basis of Acousto-elasticity Effect \ M.A. Trofimov; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 1999. – 6 pages, 2 illustrations, 1 table. – References, 9 titles.

The analysis of theoretical investigations devoted to the acoustic elasticity effect is carried out. Modules of the second and the third order and their quantitative assessments are considered. On the basis of the analysis results the theoretical basing of the control method of stressed state for the metal of technological channels of RBMK-type nuclear reactors is proposed.

УДК 62-762.6: 62-13.621.318

Magnetic End Sealing \ Jan Fidler; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 1999. – 4 pages, 2 illustrations, 1 table. – References, titles.

End sealing of rotated heat installations, such as steam turbines, used both for classical heat power stations and for NPPs are very important from the point of view of providing the tight and reliability of equipment. To secure the sealing between the rotors are usually used the labyrinth noncontact sealings. Besides the classical noncontact and contact sealings tested by long-lived operational experience, the magnetic end sealings with the powder seal have been developed. However, the field of their applicability is restricted. The opportunities of usage this sealings are discussed in the paper.

УДК 620.179.1: 621.039.004.58

Calculation of Optimal Travel Velocity of a Transducer during Nondestructive Control of NPP's Lengthy Objects \ V.V. Chegodaev; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 1999. – 3 pages, 1 illustration. – References, 3 titles.

The calculation of optimum velocity based on the main criteria of optimization of travel velocity of a transducer (in particular minimization of the control time and parameters of minimal defects) are given. The basing of the calculation using the V.A. Kotelnikov theorem is given. The expression for evaluation of the maximal travel velocity of the transducer is obtained and the example of calculation is given.

УДК 621.039.526

Optimization of the Characteristics of Inherent Self-Protection of Fast Reactors Cooled Potassium-Heavy Metal Alloys \ A.M. Kuzmin, V.S. Okunev; Editorial board of journal "Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika" (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 1999. – 9 pages, 5 tables. – References, 5 titles.

Some optimal inherent safety characteristics of LMFRs cores cooled with K-Pb and K-Bi alloys are analysed and presented in this paper. The core concept is based on the BN-800