

МІНІСТЕРСТВО АГРАРНОЇ ПОЛІТИКИ ТА ПРОДОВОЛЬСТВА УКРАЇНИ
МИКОЛАЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ВІСНИК

АГРАРНОЇ НАУКИ ПРИЧОРНОМОР'Я

Науковий журнал

*Виходить 4 рази на рік
Видається з березня 1997 р.*

Випуск 3 (79) 2014
Том 1

Миколаїв
2014

<http://visnyk.mnau.edu.ua/>

Засновник і видавець: Миколаївський національний аграрний університет.

Свідоцтво про державну реєстрацію КВ №19669-9469ПР від 11.01.2013 р.

Згідно з Постановою ВАК України від 14.04.2010 р. № 1-05/3 видання включено до переліку фахових видань.

Головний редактор: В.С. Шебанін, д.т.н., проф., чл.-кор. НААНУ

Заступники головного редактора:

І.І. Червен, д.е.н, проф.
К.М. Думенко, д.т.н., доц.
В.П. Клочан, к.е.н., доц.
М.І. Гиль, д.с.-г.н., проф.
В.В. Гамаюнова, д.с.-г.н., проф.

Відповідальний секретар: Н.В. Потриваєва, д.е.н., доц.

Члени редакційної колегії:

Економічні науки: О.В. Шебаніна, д.е.н., проф.; Н.М. Сіренко, д.е.н., проф.; О.І. Котикова, д.е.н., проф.; Джулія Олбрайт, PhD, проф. (США); І.В. Гончаренко, д.е.н., проф.; О.М. Вишневська, д.е.н., проф.; А.В. Ключник, д.е.н., доц.; О.Є. Новіков, д.е.н., доц.; О.В. Скрипнюк, д.ю.н., проф.; О.Д. Гудзинський, д.е.н., проф.; О.Ю. Єрмаков, д.е.н., проф.; В.І. Топіха, д.е.н., проф.; В.М. Яценко, д.е.н., проф.; М.П. Сахацький, д.е.н., проф.; В.С. Дога, д.е.н., проф. (Молдова).

Технічні науки: Б.І. Бутаков, д.т.н., проф.; К.В. Дубовенко, д.т.н., проф.; В.І. Гавриш, д.е.н., проф.; В.Д. Будак, д.т.н., проф.; С.І. Пастушенко, д.т.н., проф.; А.А. Ставинський, д.т.н., проф.; В.П. Лялякіна, д.т.н., проф. (Росія).

Сільськогосподарські науки: В.С. Топіха, д.с.-г.н., проф.; Т.В. Підпала, д.с.-г.н., проф.; А.С. Патрева, д.с.-г.н., проф.; В.П. Рибалко, д.с.-г.н., проф., академік НААН України; І.Ю. Горбатенко, д.б.н., проф.; І.М. Рожков, д.б.н., проф.; В.А. Захаров, д.с.-г.н., проф. (Росія); С.Г. Чорний, д.с.-г.н., проф.; М.О. Самойленко, д.с.-г.н., проф.; А.К. Антипова, д.с.-г.н., доц.; В.І. Січкач, д.б.н., проф.; А.О. Лимар, д.с.-г.н., проф.; В.Я. Щербаков, д.с.-г.н., проф.; Майкл Бьоме, проф. (Німеччина).

Рекомендовано до друку вченою радою Миколаївського національного аграрного університету. Протокол № 2 від 28.10.2014 р.

Посилання на видання обов'язкові.

Точка зору редколегії не завжди збігається з позицією авторів.

Адреса редакції, видавця та виготовлювача:

54020, Миколаїв, вул. Паризької комуни, 9,

Миколаївський національний аграрний університет,

тел. 0 (512) 58-05-95, <http://visnyk.mnau.edu.ua>, e-mail: visnyk@mnau.edu.ua

© Миколаївський національний аграрний університет, 2014

ТИПЫ ОПОРНЫХ ПОДШИПНИКОВ С ГАЗОВОЙ СМАЗКОЙ, ИСПОЛЪЗУЕМЫХ В РОТОРНЫХ МАШИНАХ

Л. П. Воробьев, кандидат технических наук, доцент

Д. В. Бабенко, кандидат технических наук профессор

Николаевский национальный аграрный университет

Г. А. Иванов, кандидат технических наук, доцент

Николаевский национальный аграрный университет

Н. Л. Воробьева, инженер

Рассмотрены вопросы рационального выбора типа опорного подшипника с газовой смазкой для высокооборотных роторных машин. В зависимости от требований, предъявляемым к опорам, даются рекомендации по выбору типа подшипника с соответствующим питающим зазором устройством, формой зазора, характером выполнения рабочих поверхностей.

Ключевые слова: *газовая смазка, подшипник, роторные машины, турбомашины, турбокомпрессоры, температура, двигатели внутреннего сгорания.*

В последние годы во многих отраслях техники успешно применяются опоры, смазываемые газом, что существенно повышает технико-экономические показатели оборудования [1]. Актуальным является применение таких опор для высокотемпературных газотурбинных двигателей малой и средней мощности, турбокомпрессоров двигателей внутреннего сгорания (ДВС), высокооборотных роторных машин различного назначения, поскольку использование особых свойств газа, как смазочного вещества, а также исключительных преимуществ подшипников с газовой смазкой, позволяет разрешить проблему создания надёжных и долговечных опор.

В отечественной и иностранной технической литературе имеются сведения о широком применении подшипников газодинамического и газостатического типов в различных приборах, турбодетандерах, центрифугах, шлифовальных станках, компрессорах.

В каждом конкретном случае в процессе проектирования роторных машин с подшипниками на газовой смазке поиск

конструктивных решений газовых подшипников представляется как синтез физических и технологических мероприятий. Вероятность того, что сразу будет найдено оптимальное решение, невелика. Поэтому, при проектировании подшипников с газовой смазкой необходимо использовать организующие понятия, которые, в свою очередь, можно систематизировать по отличительным признакам. В табл. 1 представлены конструктивные решения газовых подшипников по геометрическим признакам, характеру выполнения поверхностей, форме зазора, методам подвода газа в зазор.

Таблица 1

Конструктивные решения газовых подшипников

Организующие понятия	Отличительные признаки	Номер схемы	Схемы
Геометрические признаки	Цилиндрические Плоские Конические Сферические	1 2 3 4	
Характер выполнения поверхностей	Цельные Разрезные	5, 6 7, 8	
Форма зазора	Постоянный Конфузорно-диффузорный Диффузорно-конфузорный Ступенчатый Лабиринтный	9 10 11 12 13,14	
Метод подвода газа в зазор	Кольцевые диафрагмы КарманыЩели Пористые вставки	15 16 17 18	

Выбор конструкций газовых подшипников диктуется, прежде всего, конструктивными особенностями ротора, статора и надежностью функционирования газового слоя [2]. Большое влияние на структуру колебаний системы роторгазовый слой опора оказывает метод закрепления несущих поверхностей с элементами, обеспечивающими концентричность их положения. В табл. 2 представлены отличительные признаки креплений по организующим понятиям; неподвижное крепление вкладышей, самоустанавливающиеся крепление цельных вкладышей, самоустанавливающиеся крепления разрезных подшипников.

Таблица 2

Отличительные признаки креплений по организующим понятиям

Организующие понятия	Отличительные признаки	Номер схемы	Схемы
Неподвижное крепление вкладышей	Резьбовое Сферическое Полужесткой мембраной и отжимными болтами Односторонней сферической постелью и отжимными болтами	1	
		2	
		3	
		4	
Самоустанавливающееся крепление цельных вкладышей	Сфера в сфере Сфера в цилиндре Кардан Податливая мембрана и податливые кольца Самоустанавливающийся шариковый или роликовый подшипник	2	
		5	
		6	
		7	
		8	
		9	
		9	
		9	
		9	

Неподвижное крепление допускает обычно продольный монтаж втулок большого и малого диаметров. При монтаже необходимо использовать шаблонную ось, которая

укладывается в подшипники без зазора. Неподвижным креплением всегда можно обеспечить высокую жесткость сочленения. К недостаткам таких опор, вызванных, в основном, методом крепления, можно отнести необходимость соблюдения высокой точности при изготовлении и монтаже. Кроме того, они особо чувствительны как к перекосам в результате температурной расцентровки турбо-машины, вызванной неравномерным расширением фундамента опорного узла, так и к изменениям зазора, вследствие неравномерности прогрева. Избежать вышеперечисленного можно, применив газовые подшипники с самоустанавливающимися сегментами [3]. Они обладают следующими преимуществами перед подшипниками с цельными вкладышами: отсутствуют нагрузки, обусловленные отклонением от соосности или отклонением от перпендикулярности ротора и подшипника; их изготовление и установка более просты, особенно в случае больших размеров; они имеют меньшую чувствительность к загрязнению и заклиниванию, а также к геометрическим искажениям элементов, вызванных температурными деформациями. Если к тому же несущие элементы этих опор снабжаются регулируемыми и нагружаемыми пружинами или пневмопоршнями, подшипники становятся малочувствительным к изменениям зазора или нагрузки.

Наиболее простым по конструктивному исполнению представляется подвод газа в зазор посредством простых питающих отверстий либо канавки. Кроме того, из опыта применения плоских направляющих известно, что канавки являются наиболее эффективными распределителями газа в зазоре с точки зрения несущей способности, жесткости и устойчивости.

В случае газодинамического подшипника для создания расклиненной формы зазора под сегментом центр качания сегментов обычно располагают на расстоянии $0,62$ его длины от передней кромки (см. рис. 1).

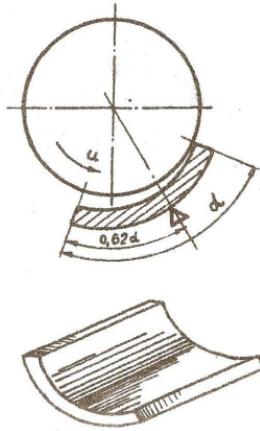


Рис. 1. Газодинамический подшипник с самоустанавливающимся сегментом

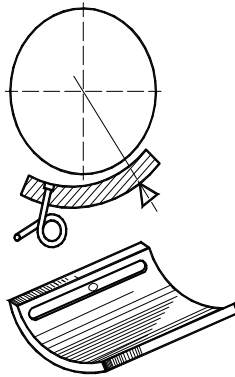


Рис. 2. Подшипник с газостатически расклиненным зазором под самоустанавливающимся сегментом

Из анализа опубликованных данных следует, что в установке мощностью до **300** кВт успешно применяются газодинамические подшипники, причём в большинстве случаев используются подшипники с самоустанавливающимися сегментами. Предпочтение им отдается в случае, если необходимо обеспечить высокую работоспособность и надежность при высоких температурах, а также виброустойчивость при

высоких окружных скоростях. Для повышения несущей способности подшипника применяют вспомогательный наддув сжатого газа в зазор под сегментом.

В установках мощностью выше **300 кВт** для обеспечения несущей способности опор применяют газостатические подшипники с самоустанавливающимися сегментами.

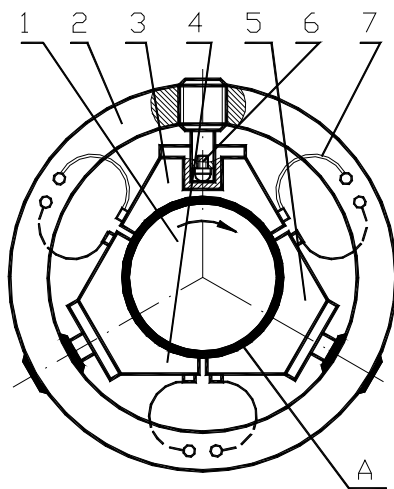


Рис. 3. Конструкция газостатического подшипника с самоустанавливающимися сегментами

Конструктивная схема газостатического подшипника с самоустанавливающимися сегментами представлена на рис. 3. В нем используется взаимодействие газостатических и газодинамических составляющих несущей способности для стабилизации колеблющегося сегмента. Вал 1 опирается на газовый слой, заполняющий кольцевой зазор А. Подача газа под давлением от внешнего источника производится через систему каналов к питателям, расположенным под входной и выходной кромками сегментов 3, 4 и 5. Газ подается по гибким трубкам 7, связанным с неподвижным кольцом 2 подшипника. Сегменты опираются на качающиеся опоры 6. Такая конструкция подшипника предусматривает работу при зазорах, характерных для чисто газодинамических вариантов

подшипников. В стационарном режиме газостатическая несущая способность является доминирующей. При вращении вала появляется газодинамическая составляющая несущей способности, роль которой возрастает с ростом окружной скорости. При появлении колебаний сегмента газодинамическая составляющая несущей способности воздействует на сегмент в виде парного стабилизатора. В стационарном режиме и при вращении вала с малой скоростью несущая способность создается за счет газостатических сил. При этом распределение давления газа в зазоре вдоль сегмента показано на рис. 4 (суммарное распределение давлений газа в зазоре под сегментом показано сплошной толстой линией, от газостатических сил – штриховой линией Д). В случае диффузорного зазора вращение вала вызывает отрицательный газодинамический эффект. Суммарное распределение давлений порождает пару-стабилизатор, противоположную по знаку предыдущей, которая возвращает сегмент в первоначальное положение.

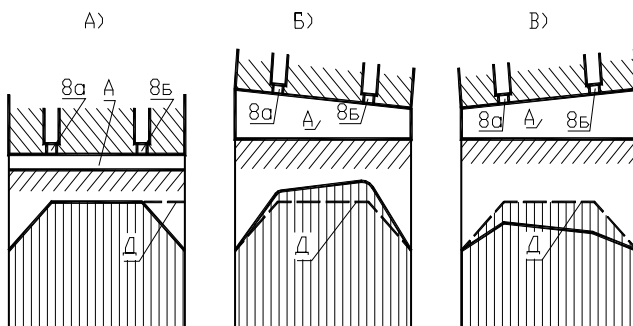


Рис. 4. Схема распределения давлений газа под сегментом при различных формах зазора: А) симметричный зазор; Б) конфузорный; В) диффузорный

Стабилизация будет более эффективна в колеблющихся сегментах с малым моментом инерции, а также в подгружаемых сегментах.

Поэтому представляет интерес метод создания расклиненного зазора посредством внутренних газостатических сил системы, т.е. питание зазора сжатым газом с помощью ка-

навки, смещенной к передней кромке сегмента. В этом случае упрощается конструктивное и технологическое выполнение сегментов. Снижаются ограничения на выбор значений относительной ширины подшипника, что приводит к возможности создания высокой несущей способности и жесткости газового слоя. Уменьшается чувствительность опоры к качеству питающего газа, а при необходимости существует потенциальная возможность прокачки через опору даже жидкой смазки. Это качество, очевидно, становится особенно существенным при питании опор паром.

Висновки.

1. В процессе проектирования высокооборотных роторных машин, работающих в условиях высоких температур, возникает вопрос выбора типа подшипника с газовой смазкой, ибо подшипники с жидкой смазкой не работоспособны в таких условиях.

2. В работе проведен детальный анализ различных подшипников с газовой смазкой и показана их работоспособность в различных условиях, которые позволяют выбрать тип подшипника в зависимости от требований, предъявляемых к опорам изделия.

Список использованных источников:

1. Пинегин С.В. Развитие и внедрение опор с газовой смазкой — важное направление технического прогресса. / авт. / М. : Вестник машиностроения, 1970. — № 10. — С. 89 — 94.

2. Тарабрин А.И. О выборе параметров, газостатических подшипников с самоустанавливающимися вкладышами для судовых турбомашин / А.И. Тарабрин // Труды Николаевского кораблестроительного института. — Николаев, 1970. — Вып. 37. — С. 54–58.

3. Антонов А.М. О возможности применения газостатических подшипников с самоустанавливающимися вкладышами в судовых турбомашинах / / А.М. Антонов, А.И. Тарабрин // Труды Николаевского кораблестроительного института. — Николаев, 1968. — Вып. 26. — С. 27 — 32.

Л.П. Воробйов, Д.В. Бабенко, Г.О. Иванов, Н.Л. Воробйова. Типи опорних вальниць з газовою смазкою, що використовуються в роторних машинах.

Розглянуто/ питання раціонального вибору типу опорної вальниці зі змащенням газом для роторних машин з високими обертами. Залежно від вимог до вальниць даються рекомендації щодо вибору їх типу з відповідним пристроєм для підводу газу в зазор, відповідною формою зазору, характером виготовлення робочих поверхонь.

*L. Vorobyev, D. Babenko, G. Ivanov, N. Vorobyeva. **The types of supporting bearers with gas lubrication, used in rotary machines.***

The problems of rational choice of bearers' type lubricated with gas for high-speed rotary machines. Depending on the requirements, there recommendations as for the right choice of bearers' type with the corresponding power gap device, and its features performing work surfaces.

*Л.П. Воробьев, Д.В. Бабенко, А.А. Иванов, Н.Л. Воробьева. **Типы опорных подшипников с газовой смазки, используемые в роторных машинах.***

Рассмотрены вопросы рационального выбора типа опорной подшипников со смазкой газом для машин с высокими оборотами. В зависимости от требований к подшипников даются рекомендации по выбору их типа с соответствующим устройством для подвода газа в зазор, соответствующей форме зазора, характером изготовления рабочих поверхностей.

ЗМІСТ

ЕКОНОМІЧНІ НАУКИ

І.Т. Кіщак, Н.О. Корнева, О.Є. Новіков. Стратегічні імперативи розвитку рибопродуктового комплексу держави.....	3
О.М. Вишневецька. Напрями і складові еколого-орієнтованого розвитку економіки країни	16
В.І. Гаєриш. Особливості визначення ставки дисконтування інвестиційних проєктів з виробництва енергетичних ресурсів	23
Н.В. Потриваєва. Аудит як засіб попередження банкрутства.....	36
М.С. Самойлік. Концептуальні засади формування регіональної політики ресурсно-екологічної безпеки	44
М.М. Бабич. Нормативно-правове регулювання права на харчування в Україні	51
О.С. Біліченко. Дисциплінарна політика та інструменти її реалізації у трудовому колективі.....	61
С.О. Малюк. Асортиментні стратегії у комплексній системі маркетингу підприємства	73
А.Г. Костирко. Міжнародний досвід зміцнення фінансового потенціалу держави	81
Т.А. Ткаченко. Методичні підходи до оцінки ефективності управління збутовою діяльністю аграрних підприємств	88
Л.В. Харчук. Методичні підходи до оцінки біоенергетичного потенціалу соломи	95
Є.М. Федорчук. Оцінка енергетичного потенціалу біоенергетичних культур в Херсонській області.....	105
К.О. Кухта. Формування системи маркетингу на підприємствах зернопродуктового підкомплексу	115
Р.В. Данильченко. Формування організаційно-економічного механізму зернового ринку	126

СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ НАУКИ

В.І. Лопушняк. Зміна фосфорного режиму темно-сірого опідзоленого ґрунту під впливом різних систем удобрення	139
--	-----

В.Я. Щербаков, Д.С. Стан. Проблеми інтенсифікації виробництва кормового буряка в Україні.....	146
С.С. Байберова. Збереження біологічної цінності плодів яблуни за обробки їх антиоксидантною композицією ДЕПАА.....	153
О.Т. Семен. Динаміка основних елементів живлення в ґрунті при вирощуванні гарбуза мускатного в умовах півдня України	159
О.В. Денисюк. Продуктивність та відтворювальна здатність корів за різного характеру лактаційної кривої	169
Н.В. Яремич. Перспектива використання препарату «е-селен» для покращення відтворювальної здатності самок норок скандинавської селекції.....	176

ТЕХНІЧНІ НАУКИ

А.М. Фоменко, Д.Ю. Шарейко, І.С. Білюк. Стенд фізичного моделювання робочих процесів у електроприводах верстатів з ЧПК	183
А.П. Воробьєв, Д.В. Бабенко, Г.А. Иванов, Н.А. Воробьєва. Типи опорних подшипників с газовой смазкой, используемых в роторных машинах	190
Д.А. Кошкін. Система екстремального керування електроприводом молоткової кормодробарки.....	198

**Редакційна колегія залишає
за собою право на редакційні виправлення.**

ВРАЗОК ОФОРМЛЕННЯ СТАТТІ

УДК XXX.XX

НАЗВА СТАТТІ

*Л.С. Прокопенко, кандидат біологічних наук, доцент
Л.П. Чорнолата, кандидат сільськогосподарських наук
Миколаївський національний аграрний університет*

**Текст анотації* українською мовою*

Ключові слова: 5-7 ключових слів або словосполучень

НАЗВАНІЕ СТАТЬИ

Л.С. Прокопенко

Л.П. Чорнолата

**Текст аннотации* російською мовою*

NAME OF THE ARTICLE

L. Prokopenko

L. Chornolata

**Text of annotation* англійською мовою*

** Текст статті **

Список використаних джерел:

1. Іваненко І. І. Назва роботи / Іваненко І. І. — К. : Вища школа, 1999. — 111 с.
2. Бобров М. І. Назва статті / Бобров М. І. // Назва журналу. — 1999. — № 6. — С. 23—25.

Наукове видання

Вісник аграрної науки Причорномор'я
Випуск 3(79), том 1 – 2014

Технічний редактор: *О. М. Кушнарьова.*
Перекладач-коректор: *О. В. Неліна.*
Комп'ютерна верстка: *М. Г. Алексєєв.*

Підписано до друку 28.10.2014. Формат 60 x 84 1/16.
Папір друк. Друк офсетний. Ум.друк.арк. 13,2.
Тираж 300 прим. Зам. № _____. Ціна договірна.

Надруковано у видавничому відділі
Миколаївського національного аграрного університету
54020, м.Миколаїв, вул.Паризької комуни, 9

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 4490 від 20.02.2013 р.