



один образец и нагружают его промежуточным напряжением σ_8 между σ_6 и σ_7 . Напряжение σ_8 будет близко к пределу выносливости.

Планируется проведение испытаний на контактную усталость на роликовой машине и двухступенчатой соосной установке соответственно на роликах и зубчатых колесах. Образцы будут изготовлены из материалов следующих марок: 20Х3МВФ-Ш (ЭИ-415-Ш), 18Х2Н4МА, 12Х2НВФМА (ЭИ-712-Ш).

Виды термической обработки образцов и их параметры:

1) ионное азотирование на глубину $h = 0,2...0,55$ мм с твердостью, большей 85 HRN15, твердость сердцевины 321...388 НВ;

2) ионная цементация на глубину $h = 0,4...0,7$ мм с твердостью, большей 88 HRN15, твердость сердцевины 33...45 HRC.

Роликовая машина и установка обеспечат частоту вращения ведущего вала до 12 000 мин⁻¹ и нагрузку на образцах до 12 кН. Испытания будут проводиться с использованием синтетических термостойких масел МП-8, применяемых в авиационных зубчатых редукторах. Температура масла будет поддерживаться $\sim 120 \pm 5$ °С.

Библиографический список

1. Производство зубчатых колес газотурбинных двигателей / Ю.С. Елисеев, В.В. Крымов, И.П. Нежури и др.; под ред. Ю.С. Елисеева. М.: Высшая школа, 2001. 493 с.

В.Н. Костюков, д-р техн. наук, С.Н. Бойченко, канд. техн. наук,
А.В. Костюков, канд. техн. наук, А.В. Молтенинов, Ю.В. Булучевский, С.Ю. Карпов,
Д.В. Двухжилов, А.В. Щелканов (Научно-производственный центр "ДИНАМИКА", г. Омск)

Стендовая система входной вибродиагностики подшипников качения

Рассмотрены проблемы эксплуатации подшипников на современных производствах. Приведено описание системы для входного контроля подшипников.

The problem of bearing on modern plants is considered. A system for input control bearings is described.

Ключевые слова: контроль и диагностика подшипников, подшипник, система контроля подшипников.

Key words: control and diagnosis of bearings, bearing, bearings control system.

Техническое состояние роторных машин во многом определяется состоянием их подшипниковых узлов. Многолетний опыт мониторинга технического состояния роторного оборудования показывает, что чуть менее 10 % подшипников дорабатывает до окончания предписанного срока службы, утвержденного в нормативных документах [1, 2].

Наряду с неправильной эксплуатацией подшипников, которая может быть сведена к минимуму использованием технических средств непрерывно-

го мониторинга, существует проблема технологических погрешностей подшипника при его производстве.

Контроль качества закупаемых подшипников становится еще более актуальной задачей в связи с появлением на рынке так называемых "серых" партий, где под маркой известного производителя скрывается подделка из некачественных материалов, произведенная в кустарных условиях, которая разваливается через несколько часов после установки на агрегат.

В связи с этим появляется необходимость проводить диагностику технического состояния подшипников при входном контроле, перед вводом подшипника в эксплуатацию. Но обеспечить входной контроль всех подшипников по стандартной методике согласно техническим условиям [3] измерением его геометрических характеристик — нереальная задача в условиях действующего производства.

Наиболее эффективный и действенный способ оценки состояния подшипника и прогнозирования его ресурса — это *контроль его параметров вибрации*.



Расчетный ресурс подшипников качения определяют выражением [4]

$$L_{10} = \left(\frac{C_r}{P_r} \right)^\alpha, \quad (1)$$

где C_r – расчетная грузоподъемность подшипника;
 P_r – эквивалентная нагрузка;
 α – коэффициент, определяемый типом подшипника: $\alpha = 3$ – для шариковых и $\alpha = 3,33$ – для роликовых подшипников.

Эквивалентную нагрузку определяют по двум факторам: статическая нагрузка P_c и динамическая нагрузка P_d :

$$P_r = P_c + P_d. \quad (2)$$

Если статическую нагрузку определяют режимом работы машины и она может изменяться в широких пределах, то динамическую нагрузку определяют состоянием подшипника – все шероховатости и дефекты тел и поверхностей качения приводят к увеличению динамических сил, действующих на подшипник, и в результате согласно выражению (1) уменьшают его ресурс. Причем это уменьшение ресурса может быть весьма значительным. Так, если для высокоточного подшипника, у которого динамической силой можно пренебречь по сравнению со статической ($P_c \gg P_d$), расчетный ресурс равен L , то для подшипника с погрешностями изготовления, когда статическая и динамическая силы соизмеримы ($P_c \approx P_d$), расчетный ресурс L_d значительно снижается:

$$L_d = L / (1 + P_d / P_c)^\alpha. \quad (3)$$

В частности, при $P_c = P_d$ ресурс падает в 8 раз для шариковых подшипников и в 10 раз для роликовых. Это объясняет необходимость входной вибродиагностики качества подшипников качения перед установкой их на ремонтируемые или вновь изготавливаемые машины. Вибродиагностика позволяет также надежно отбраковать подшипники с увеличенным радиальным зазором и/или "осевой игрой", являясь высокопроизводительным средством контроля по сравнению с традиционным подходом.

В качестве иллюстрации влияния динамических сил на рис. 1 приведен график зависимости параметра вибрации V_S (общего уровня виброскорости)

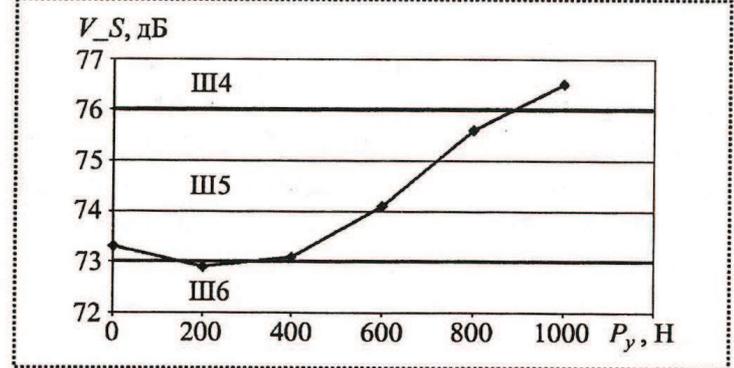


Рис. 1. Зависимость уровня вибрации V_S подшипника 62310 от величины приложенной нагрузки P_y : Ш4...Ш6 – вибродиагностический класс подшипника

сти) подшипника 62310 от величины приложенной радиальной статической нагрузки P_y .

Приведенная зависимость была получена при испытании подшипника на системе КОМ-ПАКС®-РПП при изменении радиальной нагрузки в пределах 0...1000 Н.

При начальном увеличении нагрузки происходит некоторое уменьшение динамических сил из-за выборки зазоров в местах контактов тел качения, что приводит к уменьшению уровня вибрации. При дальнейшем увеличении нагрузки динамические силы увеличиваются из-за увеличения влияния неровностей поверхностей качения, что приводит к росту уровня вибраций.

Сравнивая приведенные данные с нормами вибраций данного подшипника различного класса точности (роликовый радиальный с диаметром отверстия 50 мм) [5], можно отметить, что до нагрузки 900 Н подшипник можно отнести к вибродиагностическому классу Ш5. При значении радиальной нагрузки 200 Н подшипник даже переходит в класс Ш6. При значении нагрузки больше 900 Н подшипник переходит в класс Ш4. Согласно [6] величина нагрузки при испытании подшипника данного типа должна составлять 400 Н, при этом он будет относиться к классу Ш5.

Из приведенных данных видно, что, измеряя параметры вибрации подшипника, можно судить о величине динамических сил, действующих на подшипник, и, следовательно, можно оценивать его потенциальный ресурс более точно.

Решением задачи проведения 100 % контроля закупаемых подшипников является использование вибродиагностических методов, где путем анализа сигнала вибрации можно оперативно дать заклю-

чение о состоянии подшипника без его разборки и микрообмера. Для решения этой задачи и была разработана стендовая система КОМПАКС®-РПП.

Система стендовая КОМПАКС®-РПП является проектно комплектуемым вариантом исполнения системы КОМПАКС® и предназначена для объективной оценки технического состояния подшипников качения и диагностики погрешностей изготовления дорожек колец, тел качения и сепаратора, влияющих на ресурс.

Внешний вид системы КОМПАКС®-РПП приведен на рис. 2 (см. 3-ю стр. обложки).

Диагностика состояния подшипников производится по параметрам виброскорости и виброускорения в полосах частот 50...300, 300...1800 и 1800...10 000 Гц.

Информацию о техническом состоянии испытываемого подшипника персонал получает на экране монитора. Это светофорные пиктограммы (зеленый цвет – норма, желтый – требует принятия мер, красный – недопустимо) и столбиковые диаграммы значений и состояний диагностических признаков по каждому из выбранных субъектов диагностики.

Продление срока службы подшипников обеспечивает сортировка результатов вибродиагностики и разделение на *три группы применения в эксплуатации по частоте вращения*:

- I группа – испытанный подшипник применять на агрегатах с частотой вращения до 3000 об/мин и более;

- II группа – не более 1500 об/мин;

- III группа – не более 1000 об/мин.

Преимуществами системы являются:

- ◆ вибродиагностика подшипника по параметрам виброускорения и виброскорости в различных полосах частот в соответствии с [4–7];

- ◆ встроенная автоматическая экспертная система диагностики дефектов;

- ◆ полная совместимость с системой компьютерного мониторинга КОМПАКС® [2];

- ◆ полный временной и спектральный анализы вибросигналов;

- ◆ печать и архивирование протокола испытаний;

- ◆ простота обслуживания и встроенная система самоконтроля;

- ◆ рекомендации по использованию подшипника в целях продления срока службы.

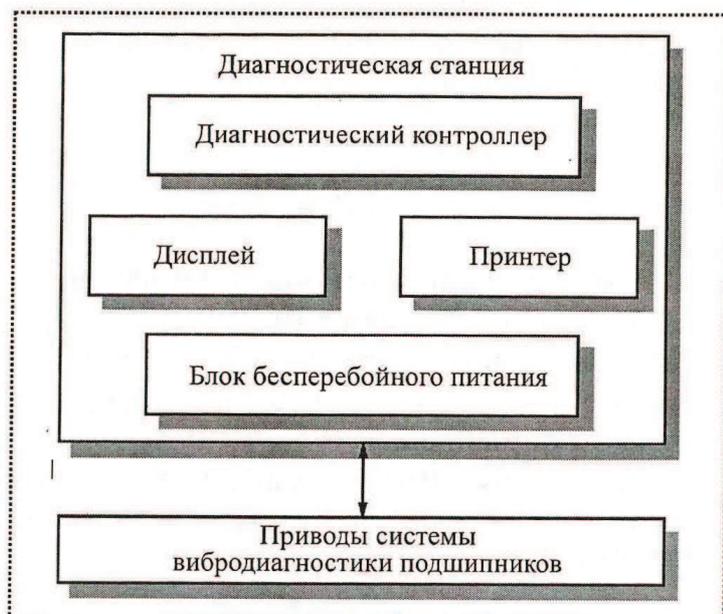


Рис. 3. Структура стендовой системы КОМПАКС® – РПП

Структура стендовой системы приведена на рис. 3.

Система КОМПАКС®-РПП включает в себя:

- диагностическую станцию на базе промышленного контроллера со схемой автоматического управления приводом системы;

- дисплей, принтер, блок бесперебойного питания;

- встроенный пакет программ, обеспечивающий автоматическую вибродиагностику подшипников, архивирование и распечатку результатов;

- привод 1602 вибродиагностики подшипников обеспечивает вращение внутреннего кольца подшипника при неподвижном наружном кольце; создает осевую и радиальную нагрузку в целях вибродиагностики подшипников с внутренними диаметрами 40...120 мм и наружным диаметром до 320 мм; комплектуется 16 оправками (рис. 4, см. 3-ю стр. обложки);

- искровой маркер, индикатор намагниченности.

Для представления различных видов информации на экране диагностической станции предусмотрены следующие режимы работы (экраны):

- ◆ **МОНИТОР** – отображение информации о состоянии подшипника;

- ◆ **АНАЛИЗ** – анализ спектра сигнала, поступающего с вибропреобразователя;

- ◆ **СИСТЕМА** – отображение информации встроенной системы самоконтроля;



♦ **ОСЦИЛЛОГРАФ** — анализ формы сигналов и настройки системы;

♦ **АРХИВ** — поиск, просмотр и печать актов испытаний подшипников.

Программное обеспечение позволяет использовать для стендовой системы не только различные экраны, диагностические параметры и другие системные функции, но дополнительно легко реализуется система подготовки отчетов, а также дополнительные элементы контроля и управления для автоматизации процесса оценки состояния подшипников [1].

Привод 1602 имеет следующие конструктивные особенности:

- в целях снижения собственных шумов привода электродвигатель установлен на виброизолирующей платформе, состоящей из трех плит, различных по скорости распространения колебаний. Сам электродвигатель односкоростной с регулировкой частоты вращения вала с помощью частотно-регулируемого преобразователя;

- частоту вращения обеспечивают в диапазоне 30...3000 об/мин против ранее имевшегося двухскоростного фиксированного режима 750/1500 об/мин;

- применена муфта с виброизолирующей проставкой, позволяющей компенсировать несоосность валов двигателя и шпинделя до 0,2 мм и снижать шумы, передаваемые от вала двигателя к шпиндельной бабке;

- в шпиндельной бабке применены подшипники скольжения с маслоподводящими лабиринтами, позволяющими снизить температуру при максимальных нагрузках и повысить допустимую частоту вращения до 3000 об/мин;

- в корпусе устройства радиального нагружения применена последовательная установка датчика силы, позволяющая контролировать силу прижатия корпуса измерительной насадки к наружному кольцу подшипника (радиальная нагрузка) с точностью до 5 Н в диапазоне 30...2000 Н;

- в устройстве осевого нагружения также используют датчик силы с точностью установки осевой нагрузки 5 Н в диапазоне 200...2000 Н;

- радиальную и осевую нагрузки визуально контролируют на мониторе пульта оператора;

- в устройстве радиального нагружения использована насадка, обеспечивающая передачу упругих колебаний от наружного кольца подшипни-

ка на пьезоэлектрический преобразователь с минимальным искажением сигнала вследствие отсутствия контакта чувствительного элемента с корпусом насадки;

- привод установлен на виброизолирующие опоры.

Система КОМПАКС®-РПП может комплектоваться приводом 1608 для диагностирования подшипников с внутренним диаметром 7...35 мм; приводом 1607 для диагностирования подшипников с внутренним диаметром 130...300 мм.

За время работы в области вибродиагностики стендовые системы разработаны и внедрены в производство на более чем 25 предприятиях различных отраслей народного хозяйства. Пользователи положительно отзываются о работающих системах КОМПАКС®-РПП, что говорит об удобстве и качестве диагностики.

Статистические показатели виброактивности подшипников рассмотрим на опыте работы в этом направлении ОАО "Уралкалий" (г. Березники), где за период с ноября 2004 г. по ноябрь 2006 г. было продиагностировано более 46 000 подшипников. По результатам вибродиагностики система отсортировала подшипники на три группы применения в эксплуатации: к I группе было отнесено 75 %, к II группе — 3 %, к III группе — 22 % всех подшипников.

Распределение дефектов подшипников, обусловленных недопустимой шероховатостью поверхностей качения, приведено на рис. 5 (см. 3-ю стр. обложки).

Обнаруженные дефекты распределены следующим образом:

- дефекты, связанные с внешним кольцом подшипника, — 10,9 %;

- дефекты, связанные с внутренним кольцом подшипника, — 79,9 %;

- дефекты, связанные с телами качения подшипника, — 8,8 %;

- дефекты, связанные с сепаратором подшипника, — 0,5 %.

Из приведенных данных видно, что доля подшипников, поступающих на предприятие в неудовлетворительном состоянии, снижается. Так, относительное число подшипников, находящихся в состоянии "НЕДОПУСТИМО" (НДП), снизилось с 60 до 10...15 %, в то время как доля подшипников в

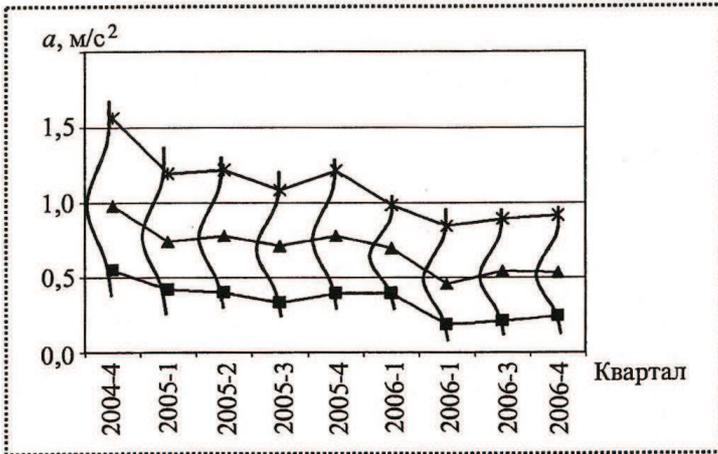


Рис. 6. Изменение статистических параметров распределения относительного уровня виброускорения a подшипников от времени эксплуатации системы КОМПАКС®-РПП^А

—■— значение процентиля 20; —▲— медиана; —*— значение процентиля 80

состоянии "ДОПУСТИМО" увеличилась с 7 до 40...49 %. Соответственно виброактивность поступающих подшипников также уменьшилась по мере работы потребителя с поставщиком со временем эксплуатации системы.

На рис. 6 приведены графики изменения распределения уровня виброускорения, приведенного к порогу НДП, что позволяет оценить изменение относительного уровня вибраций. На рис. 6 представлены вид и параметры распределений (медиана, значения процентилей 20 и 80) поквартально за период с начала внедрения до конца 2006 г. Так, среднее значение приведенного виброускорения за два года эксплуатации систем уменьшилось более чем в два раза.

Графики положительно характеризуют работу потребителей по повышению качества выпускаемого и ремонтируемого оборудования, которые, благодаря работе системы, вынуждают изготовителей и поставщиков подшипников приводить каче-

ство продукции в соответствие с требуемыми нормативами и ГОСТами. Число подшипников в неудовлетворительном состоянии уменьшается, так как они не пропускаются системой в эксплуатацию и возвращаются изготовителю.

Вывод

Внедрение стендовых систем КОМПАКС®-РПП в производство позволяет организовать на предприятии технологический процесс входного контроля подшипников, что помогает отбирать в эксплуатацию подшипники с большим ресурсом, а некачественные подшипники возвращать изготовителю.

Использование стендовых систем КОМПАКС®-РПП повышает достоверность и объективность оценки технического состояния подшипников качения, улучшает качество ремонта и надежность оборудования, повышает культуру производства и обеспечивает выпуск в эксплуатацию "невибрирующего" оборудования с минимальными погрешностями и максимальным потенциальным ресурсом.

Библиографический список

1. Костюков В.Н. Мониторинг безопасности производства. М.: Машиностроение, 2002. 224 с.
2. Костюков В.Н., Бойченко С.Н., Костюков А.В. Автоматизированные системы управления безопасной ресурсосберегающей эксплуатацией оборудования нефтеперерабатывающих и нефтехимических производств (АСУ БЭР – КОМПАКС®) / под ред. В.Н. Костюкова. М.: Машиностроение, 1999. 163 с.
3. ГОСТ 520–2002. Подшипники качения. Общие технические условия.
4. ГОСТ 18855–94. Подшипники качения. Динамическая расчетная грузоподъемность и расчетный ресурс (долговечность).
5. РД ВНИПП.038–04. Подшипники качения. Нормы вибрации. Руководящий документ.
6. МВИ ВНИИПП.002–04. Подшипники качения. Вибрация. Методика выполнения измерений.
7. ГОСТ Р 52545.1–2006 (ИСО 15242–1:2004). Подшипники качения. Методы измерения вибрации. Основные положения.

К статье В.Н. Костюкова
“Стендовая система входной вибродиагностики
подшипников качения”

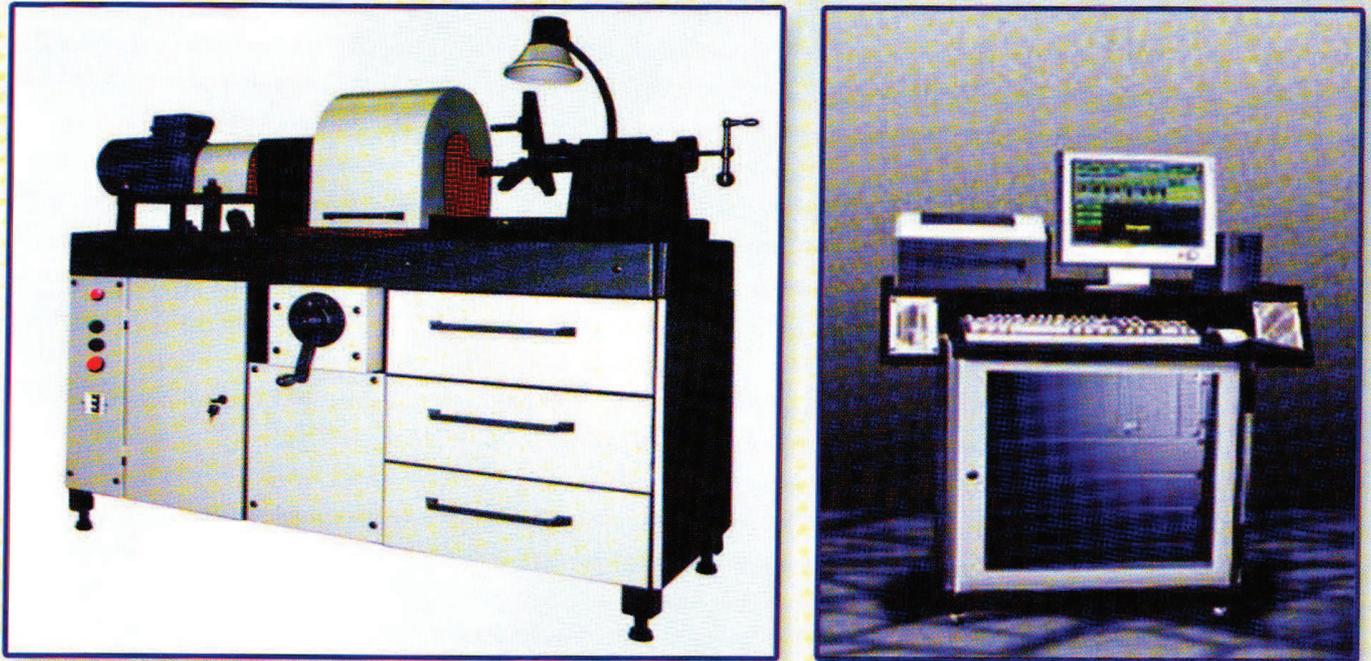


Рис. 2. Внешний вид системы КОМПАКС®-РПП с приводом 1602



Рис. 4. Комплектность системы стендовой КОМПАКС®-РПП

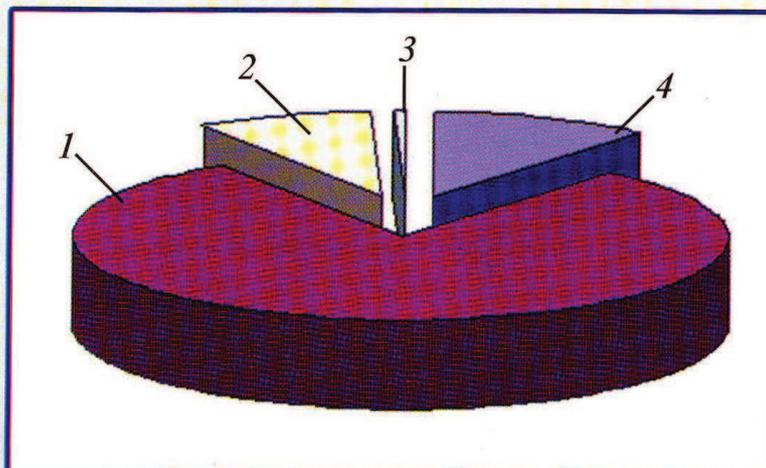


Рис. 5. Распределение дефектов подшипника по данным эксплуатации системы КОМПАКС®-РПП:
1 – дефекты внутреннего кольца – 79,9 %; 2 – дефекты тел качения – 8,8 %;
3 – дефекты сепаратора – 0,5%; 4 – дефекты внешнего кольца – 10,9 %

ЖУРНАЛ ВЫХОДИТ ПРИ СОДЕЙСТВИИ МЕЖДУНАРОДНОГО СОЮЗА МАШИНОСТРОИТЕЛЕЙ
ЖУРНАЛ ВХОДИТ В ПЕРЕЧЕНЬ УТВЕРЖДЕННЫХ ВАК РФ ИЗДАНИЙ ДЛЯ ПУБЛИКАЦИИ ТРУДОВ СОИСКАТЕЛЕЙ УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ

4 2009
(105)

СОДЕРЖАНИЕ

Технологичность конструкции

Безъязычный В.Ф., Надеждин И.В. Проектирование узлов топливной аппаратуры дизельных двигателей с учетом особенностей технологии автоматической сборки . . . 3

Современные технологии сборки

Труханов В.М., Крыхтин Ю.И. Технология изготовления и сборка заготовок фрикционных дисков с комбинированной поверхностью трения методом автоматизированного плазменного напыления 6

Григорьева Н.С. Гибкие модульные сборочные технологии 11

Обеспечение качества. Испытания. Контроль

Васильев А.С., Кондаков А.И. Прогнозирование изменений показателей качества при изготовлении деталей наукоемких изделий 20

Штенников В.Н. Рекомендации по обеспечению требуемых режимов конвекционной пайки 23

Виноградова О.В., Шишкин В.Н. Системообразование структурно-параметрических моделей в задачах совершенствования эксплуатационных характеристик авиационного ГТД 25

Хейфец М.Л., Лысов А.А., Кусакин Н.А., Премент Г.Б. Управление наследованием показателей качества при восстановлении, обработке, сборке и эксплуатации деталей машин 30

Шеховцева Е.В. Исследование контактной усталости цилиндрических зубчатых колес 35

Костюков В.Н., Бойченко С.Н., Костюков А.В., Молтенинов А.В., Булчевский Ю.В., Карпов С.Ю., Двухжилов Д.В., Щелканов А.В.

Стендовая система входной вибродиагностики подшипников качения 38

Ланцов А.В., Селиверстов А.А. Диагностическое обеспечение операций сборки резьбовых соединений 43

Шабайкович В.А. Опережающая оценка качества и конкурентоспособности изделий при гибкой автоматической сборке 46

В помощь конструктору, технологу

Гольдин А.С. Тепловой баланс ротора 52

Председатель редакционного совета
Ф.М. МИТЕНКОВ, академик РАН

Редакционный совет

МОСКВА	Ю.Г. КОЗЫРЕВ
М.В. ВАРТАНОВ	А.И. КУМЕНКО
А.С. ВАСИЛЬЕВ	А.В. МЕДАРЬ
(главный редактор)	Е.А. МИКРИН
А.А. ГУСЕВ	Ю.Ф. НАЗАРОВ
А.М. ДАЛЬСКИЙ	В.В. ПОРОШИН
И.Н. ЖЕСТКОВА	Б.В. ШАНДРОВ
(зам. главного редактора)	А.А. ШАТИЛОВ
И.Н. ЗИНИНА	А.Г. ХОЛОДКОВА
Ю.Л. ИВАНОВ	Г.А. ЯРКОВ

Региональные редсоветы

АСТРАХАНЬ	ОРЕНБУРГ
В.В. МИКИТЯНСКИЙ	А.Н. ПОЛЯКОВ
БЕЛГОРОД	А.И. СЕРДЮК
Н.А. ПЕЛИПЕНКО	А.П. ФОТ
БРЯНСК	РЫБИНСК
О.А. ГОРЛЕНКО	В.Ф. БЕЗЪЯЗЫЧНЫЙ
ВЛАДИВОСТОК	В.В. НЕПОМИЛУЕВ
Ю.Н. КУЛЬЧИН	А.Н. СЕМЕНОВ
А.А. СУПОНЯ	САМАРА
В.М. КОРНИЕНКО	М.В. ЕВДОКИМОВ
ВОЛГОГРАД	Ю.А. ВАШУКОВ
В.Г. КАРАБАНЬ	Г.А. КУЛАКОВ
М.Г. КРИСТАЛЬ	В.А. НИКОЛАЕВ
В.И. ЛЫСАК	САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
В.М. ТРУХАНОВ	В.Ф. КУЗЬМИН
ИЖЕВСК	Е.В. ШАЛОБАЕВ
И.В. АБРАМОВ	ТОЛЬЯТТИ
Б.А. ЯКИМОВИЧ	А.И. РЫЖКОВ
В.Г. ОСЕТРОВ	Б.Ф. ХАЗОВ
И.К. ПИЧУГИН	ХАБАРОВСК
КАЗАТЬ	В.А. ЛАШКО
Р.И. АДГАМОВ	Украина
КОВРОВ	КНЕВ
Ю.З. ЖИТНИКОВ	А.С. ЗЕНКИН
КВАОМВА	В.А. МАТВИЕНКО
Ю.Д. АМИРОВ	ДОНЕЦК
КОМСОМЛЬСК-НА-АМУРЕ	А.Н. МИХАЙЛОВ
Б.Н. МАРЬИН	СЕВАСТОПОЛЬ
В.И. ШПОРТ	Е.Л. ПЕРВУХИНА
А.М. ШПИЛЕВ	ХАРЬКОВ
НАБЕРЕЖНЫЕ ЧЕЛНЫ	Б.М. АРПЕНТЬЕВ
С.В. ДМИТРИЕВ	Беларусь
Р.М. ХИСАМУТДИНОВ	МИНСК
ОМСК	В.Л. БАСИНИУК
В.Н. КОСТЮКОВ	ГОМЕЛЬ
ОРЕЛ	В.Е. СТАРЖИНСКИЙ
Ю.С. СТЕПАНОВ	ПОЛОЦК
Г.А. ХАРЛАМОВ	М.Л. ХЕЙФЕЦ

Ответственные за подготовку и выпуск номера:

Н.М. КУЦ-ЖАРКО, Л.В. САВЕЛЬЕВА

Журнал распространяется по подписке, которую можно оформить в любом почтовом отделении (индексы по каталогу "Роспечать" – 79748, Объединенному каталогу "Пресса России" – 84967, каталогу "Почта России" – 60257) или непосредственно в издательстве
Тел.: (499) 268-38-42; тел./факс: 268-85-26. Факс: (499) 269-48-97.
E-mail: sborka@mashin.ru; tsmm@mashin.ru

Перепечатка, все виды копирования и воспроизведения материалов, публикуемых в журнале "Сборка в машиностроении, приборостроении", допускаются только с разрешения редакции и со ссылкой на источник информации.

За содержание рекламных материалов ответственность несет рекламодатель.

Журнал зарегистрирован в Министерстве РФ по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций. Свидетельство о регистрации ИП № 77-1747 от 25 февраля 2000 г.

СБОРКА



**В МАШИНОСТРОЕНИИ,
ПРИБОРОСТРОЕНИИ**

4

2009

ASSEMBLING

**IN MECHANICAL ENGINEERING,
INSTRUMENT-MAKING**