

УДК: 629.488.27 [53.082.4+62-233.2]

**В.Н. Костюков**, д-р техн. наук, профессор, **А.В. Костюков**, канд. техн. наук,  
**А.В. Щелканов**, инженер (НПЦ "Динамика", г. Омск)  
E-mail: post@dynamics.ru

## Стендовая система ультразвукового контроля вкладышей подшипников скольжения КОМПАКС-УЗД

*Предложена система ультразвукового контроля вкладышей подшипников скольжения, основанная на иммерсионном эхо-импульсном методе контроля, позволяющая автоматически выявлять такие дефекты, как расслоение, несплошности в корпусе и в заливке, продольные трещины.*

*The ultrasonic control system of plain bearings shells, based on immersion echo-pulse control method, is discussed. This system allows to detect automatically such defects as exfoliation, discontinuity flaws in the case; discontinuity flaws in pouring; longitudinal cracks.*

**Ключевые слова:** система, ультразвуковой контроль, дефекты подшипников скольжения.

**Keywords:** system, ultrasonic control, plain bearings defect.

Подшипники скольжения являются одними из наиболее критичных узлов. Выход данного узла из строя сопровождается локальным перегревом, наклепом баббита на вал, задиром шейки вала и заклиниванием последнего. Ремонт таких узлов достаточно трудоемкий и требует больших временных затрат. Чтобы избежать дорогостоящих и продолжительных ремонтов, необходимо контролировать качество данного узла, как в процессе эксплуатации, так и в процессе ремонта и обслуживания.

Диагностирование данного узла в процессе эксплуатации методами вибродиагностики может осуществляться, например, с помощью стационарной системы КОМПАКС® [1, 2], либо переносной системы Compaс®-micro [3].

В процессе ремонта и обслуживания обычно проверяют геометрические параметры узла, такие как овальность, зазоры и т.д. Однако геометрия деталей узла не может являться полноценным критерием оценки качества, поскольку не позволяет обнаруживать скрытые дефекты. Одними из самых "опасных" деталей являются вкладыши подшипников скольжения. Наиболее распространенные – двухслойные вкладыши, которые состоят из жесткого прочного корпуса и антифрикционной заливки.

Статистика показывает, что чаще всего среди дефектов вкладышей встречается расслоение (отставание слоя заливки от корпуса) и несплошности (воздушные пузырьки, шлаковые включения). Опасность данных дефектов заключается в том, что дефектный вкладыш может выйти из строя неожиданно и при этом разрушение узла произойдет очень быстро. Для выявления данных дефектов была создана стендовая система ультразвукового контроля качества вкладышей подшипников скольжения КОМПАКС®-УЗД 7609 (далее – система).

Первая система была создана в 2002 г. и внедрена на Омском нефтеперерабатывающем заводе, где на ремонтном производстве самостоятельно изготавливают и ремонтируют вкладыши. В данной системе использован контактный эхо-импульсный метод диагностирования, который позволил автоматически контролировать заготовки вкладышей и обнаруживать следующие дефекты:

- расслоение;
- несплошности в корпусе;
- несплошности в заливке;
- продольные трещины.

Опыт эксплуатации подтвердил необходимость системы на производстве, а также показал ее основные преимущества:

- высокая достоверность диагностирования (разработанное программное и аппаратное обеспечение позволяет выявлять дефекты размером от 2 мм<sup>2</sup>);
- полностью автоматический процесс диагностирования (оператор только устанавливает вкладыш и датчик);
- возможность сохранения и печати протоколов диагностирования;
- возможность печати дефектограммы, что позволяет точно определять дефектную область для дальнейшего ремонта;
- возможность редактирования базы данных типов вкладышей и материалов.

В 2006 г. система получила дальнейшее развитие – КОМПАКС®-УЗД 7615. Внешний вид системы приведен на рис. 1.

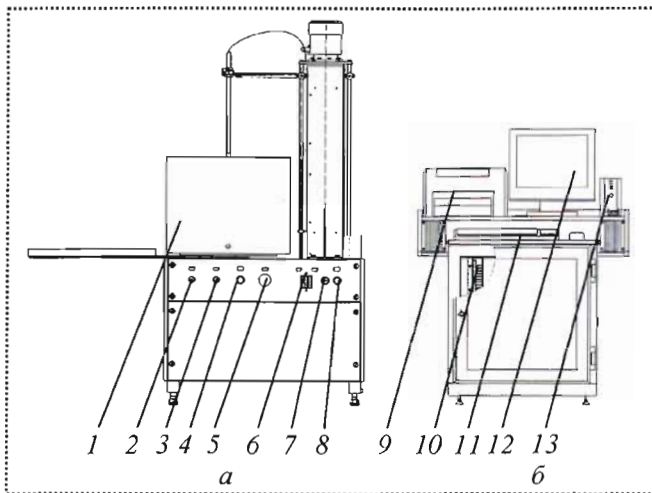


Рис. 1. Внешний вид системы КОМПАКС®-УЗД 7615:

*а* – стэнд: 1 – бак; 2 – индикатор "Сеть"; 3 – индикатор "Датчик"; 4 – кнопка "Пуск"; 5 – кнопка "Стоп"; 6 – автомат "Вкл"; 7 – кнопка "Вниз"; 8 – кнопка "Вверх";  
*б* – диагностическая станция: 9 – принтер; 10 – диагностический контроллер; 11 – клавиатура; 12 – дисплей цветной; 13 – блок бесперебойного питания

При разработке новой системы были улучшены характеристики предыдущей системы, а также учтены пожелания заказчиков. Данная система основана на иммерсионном эхо-импульсном методе ультразвуковой диагностики. В качестве иммерсионной жидкости используется обычная вода. Новое программно-аппаратное решение позволило в 2,5 раза увеличить скорость диагностирования и повысить точность распознавания дефектов за счет реализации усовершенствованных алгоритмов диагностирования. Кроме того, иммерсионный метод диагностирования позволил диагностировать вкладыши со сложной геометрией (пример профиля вкладыша приведен на рис. 2).

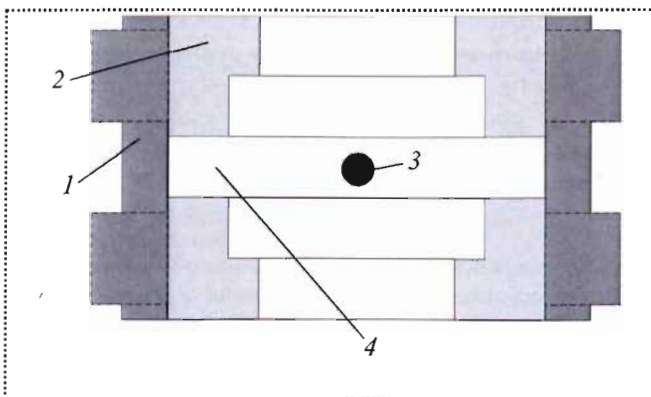


Рис. 2. Профиль вкладыша со сложной геометрией:

1 – основание; 2 – баббит; 3 – масляный канал; 4 – масляный холодильник (прямоугольная проточка по окружности вкладыша)

Система позволяет дополнительно контролировать отклонение толщины корпуса и заливки от номинальных значений. Результирующая информация представляется в виде дефектограммы и текстового протокола на экране или в распечатанном виде.

#### Основные технические характеристики системы:

- геометрические параметры диагностируемых вкладышей:

минимальный внутренний диаметр вкладыша, мм	60
максимальный внешний диаметр вкладыша, мм	420
ширина рабочей зоны вкладыша, мм	12...360
толщина слоя заливки, мм	2...10
толщина корпуса вкладыша, мм	5...20

- минимальная площадь выявляемого дефекта, мм<sup>2</sup> . . . . . 2
- время установки рабочего режима не более, мин . . . . . 5
- время непрерывной работы с последующим 30-минутным перерывом, ч . . . . . 8
- время диагностирования, мин ( $L_v$  – ширина вкладыша, мм) . . . . .  $T = L_v / 17,4$

Одним из преимуществ всех систем, производимых научно-производственным центром "Динамика", является простота использования. Для работы с системой не требуется специальных знаний в области ультразвуковой диагностики. Весь процесс диагностирования выполняется в автоматическом режиме, за исключением подготовительных и заключительных операций, к которым относятся:

- установка вкладыша в баке;
- установка датчика;
- задание параметров вкладыша;
- пуск процесса диагностирования (нажатием программной кнопки);
- сохранение и печать протокола.

Главное окно программного обеспечения (рис. 3, см. с. 2 обложки) содержит:

- 1 – меню программы;
- 2 – панель инструментов;
- 3 – кнопка переключения дефектограмм;
- 4 – текущая дефектограмма;
- 5 – строка результата диагностирования;
- 6 – текстовый протокол диагностирования;
- 7 – кнопка запуска/остановки диагностирования;
- 8 – строка прогресса диагностирования.

В процессе диагностирования на экране формируется цветная дефектограмма вкладыша и текстовый



протокол, описывающий выявленные дефекты. Цвета дефектограммы соответствуют классу дефекта:

- дефект в теле основания — красный;
- дефект в теле заливки — желтый;
- дефект на разделе сред — вишневый;
- поверхностный дефект основания — синий;
- поверхностный дефект заливки — черный;
- сквозное отверстие — коричневый;
- нераспознанный дефект — сине-зеленый;
- область не может быть продиагностирована (акустическая тень) — белый;
- неоднородность в заливке — светло-зеленый;
- норма — зеленый;
- неоднородность в основании — темно-зеленый.

Кнопкой переключения дефектограмм 3, при необходимости, можно "последовательно" переключать дефектограммы:

- "Общая дефектограмма" — дефектограмма отображает все обнаруженные дефекты;
- "Дефектограмма заливки" — дефектограмма отображает дефекты заливки, в том числе поверхностные дефекты заливки и отверстия;
- "Дефектограмма раздела сред" — дефектограмма отображает дефекты на разделе сред, отверстия и акустическую тень;
- "Дефектограмма основания" — дефектограмма отображает дефекты основания, в том числе поверхностные дефекты основания, отверстия и акустическую тень.

При диагностировании технологические особенности конструкции вкладыша (проточки, приливки, отверстия и т.п.) будут причислены к поверхностным дефектам. Для учета технологических особенностей вкладыша по окончании диагностирования необходимо отметить их на дефектограмме с помощью "мыши", подведя курсор к соответствующей области и выбрав в контекстном меню пункт "Отметить как технологическую особенность". При этом отмеченные области не будут учитываться при подсчете суммарной площади дефектов.

Стоит отметить, что в системе предусмотрено окно "Осциллограф" (рис. 4, см. с. 2 обложки), предназначенное для квалифицированных диагностов. На этом окне отображается текущий сигнал в виде А-SCAN (1) и В-SCAN (7).

Данный экран позволяет визуализировать алгоритм диагностирования, который представляет собой многоступенчатую обработку сигнала:

1) прохождение полученной А-SCAN (огливающей) сигнала (2) через алгоритм сглаживания (1). Сглаживание позволяет отфильтровывать помехи и в дальнейшем более точно выделять отраженные импульсы;

2) поиск отраженного импульса от внутренней стенки вкладыша (4) в рассчитанной временной области (3);

3) фильтрация возможных переотражений импульса;

4) поиск отраженного импульса от раздела сред (9) в рассчитанной временной области (5),

5) фильтрация возможных переотражений импульса;

6) поиск донного импульса (8) в рассчитанной временной области (6);

7) фильтрация возможных переотражений импульса;

8) выделение оставшихся импульсов, определение их расположения и амплитуд относительно уже найденных импульсов. На этом этапе формируется окончательный массив импульсов;

9) расчет математической модели сигнала исходя из заданной геометрии, параметров материалов вкладыша и временных приходов импульсов;

10) сравнение амплитуд всех выделенных импульсов с расчетной математической моделью и определение дефектов.

Данный алгоритм позволяет не только выявлять дефект, но и, в отличие от большинства дефектоскопов, классифицировать их, что позволяет принимать решения о дальнейшей судьбе дефектного вкладыша: частичный ремонт, перезаливка, утилизация.

По окончании диагностирования формируется окончательный протокол, который может быть распечатан на цветном принтере. Опционально к основному протоколу может быть распечатано приложение — дефектограмма вкладыша. Пример протокола приведен на рис. 5 (см. с. 3 обложки); пример приложения — на рис. 6 (см. с. 3 обложки).

На сегодняшний день стендовая система КОМПАКС®-УЗД, как показывают результаты внедрения, является необходимым инструментом контроля состояния подшипников скольжения. Применение данной системы позволяет существенно повысить качество ремонта агрегатов, сократить сроки ремонта и, соответственно, значительно сократить расходы на эксплуатацию оборудования.

### Библиографический список

1. Костюков В.Н. Системы комплексного мониторинга состояния оборудования в реальном времени // В мире неразрушающего контроля. 2008. № 4. С. 42–50.
2. Костюков В.Н. Мониторинг безопасности производства. М.: Машиностроение. 2002. 224 с.
3. Костюков В.Н., Бойченко С.Н., Костюков А.В. Автоматизированные системы управления безопасной ресурсосберегающей эксплуатацией оборудования нефтеперерабатывающих и нефтехимических производств (АСУ БЭР КОМПАКС®). М.: Машиностроение, 1999. 163 с.

ISSN 0202-3350

# СБОРКА



В МАШИНОСТРОЕНИИ,  
ПРИБОРОСТРОЕНИИ

1

2013

ASSEMBLING

IN MECHANICAL ENGINEERING,  
INSTRUMENT-MAKING

Рисунки к статье В.Н. Костюкова, Ал.В. Костюкова, А.В. Щелканова  
**«Стеновая система ультразвукового контроля вкладышей  
 подшипников скольжения КОМПАКС-УЗД»**

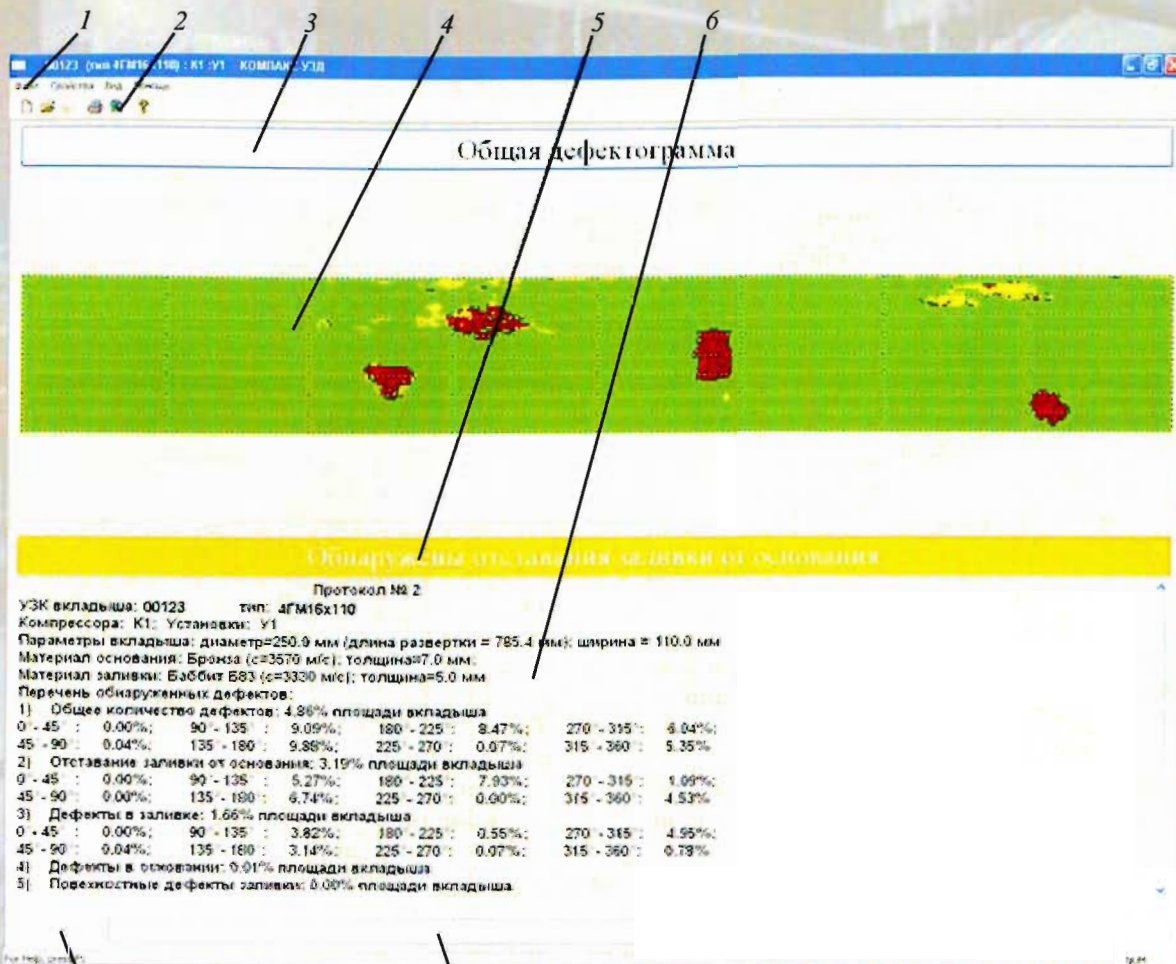


Рис. 3. Главное окно программного обеспечения

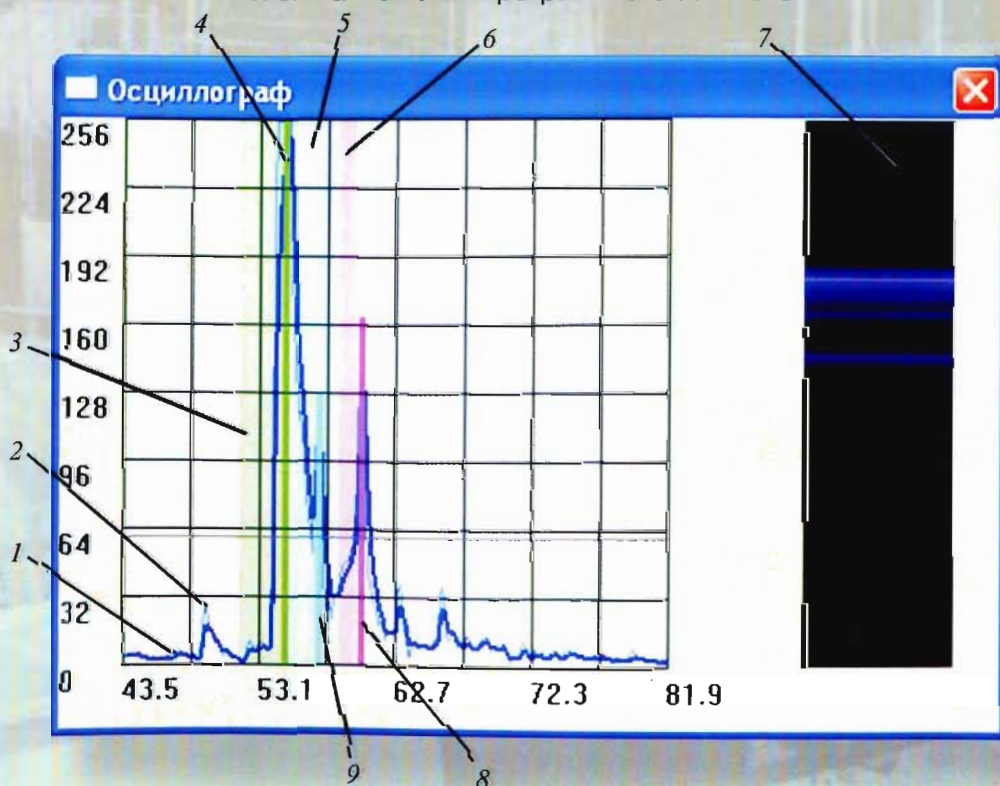


Рис. 4. Внешний вид окна «Осциллограф»

Рисунки к статье В.Н. Костюкова, Ал.В. Костюкова, А.В. Щелканова  
**«Стендовая система ультразвукового контроля вкладышей  
 подшипников скольжения КОМПАКС-УЗД»**



КОМПАКС-УЗД  
 г.Омск (т. 25-13-89)

Наименование предприятия  
 29.03.2007г. 18:56 стр. 1 из 2

Логотип

**Протокол № 2**

УЗК вкладыша 00123; тип 4ГМ16х110; Компрессора К1; Установки У1

Параметры вкладыша: диаметр=250.0 мм (длина развертки = 785.4 мм); ширина = 110.0 мм

Материал основания: Бронза (с=3570 м/с); толщина=7.0 мм;

Материал заливки: Баббит Б83 (с=3330 м/с); толщина=5.0 мм

**Перечень обнаруженных дефектов:**

Дефекты	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°	Общий
Отставание заливки от основания	0.0%	0.0%	5.3%	6.7%	7.9%	0.0%	1.1%	4.5%	3.2%
Дефекты в заливке	0.0%	0.0%	3.8%	3.1%	0.5%	0.1%	4.9%	0.8%	1.7%
Дефекты в основании	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Повехностные дефекты заливки	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Повехностные дефекты основания	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Сквозные отверстия	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Прочие дефекты	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Акустическая тень	0.0%	0.0%	9.1%	9.9%	8.5%	0.1%	6.0%	5.3%	4.9%
Итого	0.0%	0.0%	9.1%	9.9%	8.5%	0.1%	6.0%	5.3%	4.9%

Заключение:

\_\_\_\_\_

Контролер \_\_\_\_\_ Иванов Иван Иванович

Рис. 5. Протокол диагностирования вкладыша



КОМПАКС-УЗД  
 г.Омск (т. 25-13-89)

Наименование предприятия  
 29.03.2007г. 18:56 стр. 2 из 2

Логотип

**Протокол № 2 Приложение (по требованию)**

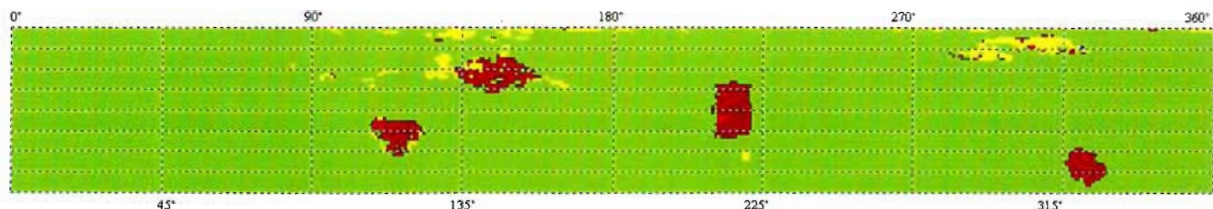
УЗК вкладыша 00123; тип 4ГМ16х110; Компрессора К1; Установки У1

Параметры вкладыша: диаметр=260.0 мм (длина развертки = 816.8 мм); ширина = 110.0 мм

Материал основания: Бронза (с=3570 м/с); толщина=7.0 мм;

Материал заливки: Баббит Б83 (с=3330 м/с); толщина=5.0 мм

**Дефектограмма:**



Заключение:

\_\_\_\_\_

Рис. 6. Приложение к протоколу диагностирования вкладыша

"Роспатент" 8087 - "Пресса России" 60257 - "Почта России" 70748 - "Иллюстри" 1\_48

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

1 2013  
(150)

### СОДЕРЖАНИЕ

#### Технологичность конструкции

Коптев И.И., Смоленцев В.П., Смоленцев Е.В., Салтанаева Е.А. Изготовление и комплектация форсунок для подачи горючих смесей . . . . . 3

#### Современные технологии сборки

Божкова Л.В., Вартанов М.В., Мартынович Н.А. Математическая модель динамики сопряжения деталей с применением промышленного робота и вибрационного устройства . . . . . 12

Абрамов А.И., Абрамов И.В., Романов А.В. Научно-технические аспекты автоматизации гидропрессовой сборки соединения с натягом . . . . . 16

Иванов А.А. Промышленные роботы в сборочном производстве . . . . . 19

Магдиев Р.Р. Опыт построения моделей технологической системы механосборочного оптико-электронного мелкосерийного производства . . . . . 23

#### Обеспечение качества. Испытания. Контроль

Костюков В.Н., Костюков А.В., Щелканов А.В. Стендовая система ультразвукового контроля вкладышей подшипников скольжения КОМПАКС-УЗД . . . . . 26

Сорокин М.Н., Ануров Ю.Н. Определение вероятности получения бракованных сопряжений при селективной сборке изделий типа "вал-втулка" при выборе селективных интервалов . . . . . 29

Фомин А.А. Влияние дополнительной опоры заготовки в зоне резания на устойчивость процесса обработки . . . . . 34

Челпанов И.Б., Кочетков А.В. Совершенствование методов виброиспытаний с применением вибростендов . . . . . 40

#### Информация

Указатель статей, опубликованных в 2012 году . . . . . 45

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

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.

**Председатель  
редакционного совета**  
Ф.М. МИТЕНКОВ, академик РАН

**Редакционный совет**  
**МОСКВА**  
А.С. ВАСИЛЬЕВ  
(главный редактор)  
А.А. ГУСЕВ  
М.В. ВАРТАНОВ  
А.М. ДАЛЬСКИЙ  
И.Н. ЗИНИНА  
Ю.Л. ИВАНОВ  
Ю.Г. КОЗЫРЕВ  
А.И. КУМЕНКО  
А.В. МЕДАРЬ  
Е.А. МИКРИН  
В.В. ПОРОШИН  
Б.В. ШАНДРОВ  
А.А. ШАТИЛОВ  
А.Г. ХОЛОДКОВА  
Г.А. ЯРКОВ

#### Региональные редсоветы

**БЕЛГОРОД**  
Г.А. ХАРЛАМОВ

Н.А. ПЕЛИПЕНКО

**БРЯНСК**  
А.Н. ПОЛЯКОВ

О.А. ГОРЛЕНКО  
А.И. СЕРДЮК

**ВЛАДИВОСТОК**  
А.П. ФОТ

Ю.Н. КУЛЬЧИН  
**РЫБИНСК**  
В.Ф. БЕЗЪЯЗЫЧНЫЙ

А.А. СУПОНЯ  
В.В. НЕПОМИЛУЕВ

В.М. КОРНИЕНКО  
А.Н. СЕМЕНОВ

**ВОЛГОГРАД**  
**САМАРА**  
М.А. ЕВДОКИМОВ

В.Г. КАРАБАНЬ  
Ю.А. ВАШУКОВ

М.Г. КРИСТАЛЬ  
Г.А. КУЛАКОВ

В.И. ЛЫСАК  
В.А. НИКОЛАЕВ

В.М. ТРУХАНОВ  
**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ**  
В.Ф. КУЗЬМИН

**ИЖЕВСК**  
И.В. АБРАМОВ  
Б.А. ЯКИМОВИЧ  
Е.В. ШАЛОБАЕВ

В.Г. ОСЕТРОВ  
**ТОЛЬЯТТИ**  
А.И. РЫЖКОВ

**КАЗАНЬ**  
Р.И. АДГАМОВ  
**ТУЛА**  
В.В. ПРЕЙС

**КОВРОВ**  
Ю.З. ЖИТНИКОВ  
**ХАБАРОВСК**  
В.А. ЛАШКО

**КОЛОМНА**  
Ю.Д. АМИРОВ  
**Украина**  
**КНЕД**  
А.С. ЗЕНКИН

**КОМСОМОЛЬСК-НА-АМУРЕ**  
Б.Н. МАРЬИН  
В.А. МАТВИЕНКО

В.И. ШПОРТ  
А.М. ШПИЛЕВ  
**ДОНЕЦК**  
А.Н. МИХАЙЛОВ

**НАБЕРЕЖНЫЕ ЧЕЛНЫ**  
С.В. ДМИТРИЕВ  
**СЕВАСТОПОЛЬ**  
Е.Л. ПЕРВУХИНА

Р.М. ХИСАМУТДИНОВ  
**Беларусь**  
**МИНСК**  
В.Л. БАСИНЮК

**НИЖНИЙ НОВГОРОД**  
С.В. ГОЛУБЕВ  
В.Н. КОСТЮКОВ  
М.Л. ХЕЙФЕЦ

**ОМСК**  
В.Н. КОСТЮКОВ  
**ГОМЕЛЬ**  
В.Е. СТАРЖИНСКИЙ

**ОРЕЛ**  
Ю.С. СТЕПАНОВ

**Ответственные за подготовку  
и выпуск номера:**  
Ю.А. ЧИЧОВ, И.М. ГЛИКМАН

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