ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

# СБОРКА В МАШИНОСТРОЕНИИ, ПРИБОРОСТРОЕНИИ

ЖУРНАЛ ВЫХОДИТ ПРИ СОДЕЙСТВИИ МЕЖДУНАРОДНОГО СОЮЗА МАШИНОСТРОИТЕЛЕЙ

**ЖУРНАЛ ВХОДИТ В ПЕРЕЧЕНЬ УТВЕРЖДЕННЫХ ВАК РФ ИЗДАНИЙ ДЛЯ ПУБЛИКАЦИЙ ТРУДОВ СОИСКАТЕЛЕЙ УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ**

1 2014 (162)

## СОДЕРЖАНИЕ

*Технологичность конструкции*

**Микаева С.А., Микаева А.С., Ашрятов А.А., Федоренко А.С., Вдовин М.В.** Сборка многофункциональных световых приборов переменной цветности с использованием светодиодов . . . . . 3

*Современные технологии сборки*

**Иванов А.А.** Моделирование сборочных процессов и систем . . . . . 10

*В помощь конструктору, технологу*

**Хайруллин И.Х., Вавилов В.Е., Бекузин В.И., Шавалеева Ю.И.** Аксиальные силы в бесконтактных двигателях с высококоэрцитивными постоянными магнитами . . . . . 15

**Спиридонов О.В.** Анализ соединений деталей при разработке технологических процессов сборки . . . . . 19

**Шаломов В.И., Виноградов В.С.** Особенности конструкции опытно-промышленного образца шпиндельного узла на газостатических опорах для прецизионных внутришлифовальных станков . . . . . 23

*Подготовка специалистов*

**Лагунова Ю.А., Калянов А.Е.** Применение гидропневмоаккумуляторов в горных машинах . . . . . 28

*Информация*

**Иванов А.Н.** Термообработка–2013 . . . . . 36

**Указатель** статей, опубликованных в 2013 году . . . . . 44

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.*

**Председатель редакционного совета**

Ф.М. МИТЕНКОВ, *академик РАН*

**Редакционный совет**

**МОСКВА**

А.С. ВАСИЛЬЕВ (главный редактор), д.т.н., проф.
А.А. ГУСЕВ, д.т.н., проф.
М.В. ВАРТАНОВ, д.т.н., проф.
А.М. ДАЛЬСКИЙ, д.т.н., проф.
И.Н. ЗИНИНА, к.т.н., доц.
Ю.Л. ИВАНОВ, д.т.н.
Ю.Г. КОЗЫРЕВ, к.т.н.
А.И. КУМЕНКО, д.т.н., проф.
А.В. МЕДАРЬ, к.т.н.
Е.А. МИКРИН, д.т.н., акад. РАН
В.В. ПОРОШИН, д.т.н., проф.
Б.В. ШАНДРОВ, к.т.н., проф.
А.А. ШАТИЛОВ, к.т.н., доц.
А.Г. ХОЛОДКОВА, к.т.н., проф.
Г.А. ЯРКОВ, инж.

**Региональные редсоветы**

**БЕЛГОРОД**

Н.А. ПЕЛИПЕНКО, д.т.н.

**БРЯНСК**

О.А. ГОРЛЕНКО, д.т.н., проф.

**ВЛАДИВОСТОК**

Ю.Н. КУЛЬЧИН, д.т.н., чл.-кор. РАН
А.А. СУПОНЯ, к.т.н.
В.М. КОРНИЕНКО, к.т.н.

**ВОЛГОГРАД**

В.Г. КАРАБАНЬ, к.т.н., доц.
М.Г. КРИСТАЛЬ, д.т.н., проф.
В.И. ЛЫСАК, д.т.н., проф., чл.-кор. РАН
В.М. ТРУХАНОВ, д.т.н., проф.

**ИЖЕВСК**

И.В. АБРАМОВ, д.т.н., проф.
Б.А. ЯКИМОВИЧ, д.т.н., проф.
В.Г. ОСЕТРОВ, д.т.н., проф.

**КАЗАНЬ**

Р.И. АДГАМОВ, д.т.н., проф.

**КОВРОВ**

Ю.З. ЖИТНИКОВ, д.т.н., проф.

**КОЛОМНА**

Ю.Д. АМИРОВ, д.т.н., проф.

**КОМСОМОЛЬСК-НА-АМУРЕ**

Б.Н. МАРЬИН, д.т.н.
В.И. ШПОРТ, д.т.н., проф.
А.М. ШПИЛЕВ, д.т.н., проф.

**НАБЕРЕЖНЫЕ ЧЕЛНЫ**

С.В. ДМИТРИЕВ, д.т.н., проф.
Р.М. ХИСАМУТДИНОВ, к.т.н.

**НИЖНИЙ НОВГОРОД**

С.В. ГОЛУБЕВ, инж.

**ОМСК**

В.Н. КОСТЮКОВ, д.т.н.

**ОРЕЛ**

Ю.С. СТЕПАНОВ, д.т.н., проф.
Г.А. ХАРЛАМОВ, д.т.н., проф.

**ОРЕНБУРГ**

А.Н. ПОЛЯКОВ, д.т.н., проф.
А.И. СЕРДЮК, д.т.н., проф.
А.П. ФОТ, д.т.н., проф.

**РЫБИНСК**

В.Ф. БЕЗЪЯЗЫЧНЫЙ, д.т.н., проф.
В.В. НЕПОМИЛУЕВ, д.т.н., проф.
А.Н. СЕМЕНОВ, д.т.н., проф.

**САМАРА**

М.А. ЕВДОКИМОВ, д.п.н., проф.
Ю.А. ВАШУКОВ, к.т.н., доц.
Г.А. КУЛАКОВ, д.т.н.
В.А. НИКОЛАЕВ, к.т.н., проф.

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ**

В.Ф. КУЗЬМИН, к.т.н.
Е.В. ШАЛОБАЕВ, к.т.н., проф.

**ТОЛЬЯТТИ**

А.И. РЫЖКОВ, к.т.н.

**ТУЛА**

В.В. ПРЕЙС, д.т.н., проф.

**ХАБАРОВСК**

В.А. ЛАШКО, д.т.н., проф.

**Украина**

**КИЕВ**

А.С. ЗЕНКИН, д.т.н., проф.
В.А. МАТВИЕНКО, к.т.н.

**ДОНЕЦК**

А.Н. МИХАЙЛОВ, д.т.н., проф.

**СЕВАСТОПОЛЬ**

Е.Л. ПЕРВУХИНА, д.т.н., проф.

**Беларусь**

**МИНСК**

В.Л. БАСИНЮК, д.т.н.
М.Л. ХЕЙФЕЦ, д.т.н., проф.

**ГОМЕЛЬ**

В.Е. СТАРЖИНСКИЙ, д.т.н.

**ИЗРАИЛЬ**

В.М. БЕДРИН, инж.

**ПОЛЬША**

П. ЛЕБКОВСКИ, д.т.н.
Е. ЛУНАРСКИ, д.т.н.

**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.

© Издательство “Машиностроение”, “Сборка в машиностроении, приборостроении”, 2014

THE MONTHLY NEWSMAGAZINE FOR SCIENTISTS AND MANUFACTURERS

# ASSEMBLING IN MECHANICAL ENGINEERING AND INSTRUMENT-MAKING

THE MAGAZINE IS PUBLISHED UNDER THE PATRONAGE OF INTERNATIONAL UNION OF MECHANICAL ENGINEERS

*THE JOURNAL IS AMONG THOSE APPROVED BY AAC RF FOR DISSERTATION PUBLICATION*

1 2014 (162)

## CONTENTS

*Manufacturability of a construction*

**Mikaeva S.A., Mikaeva A.S., Ashryatov A.A., Fedorenko A.S., Vdovin M.V.** Build multifunctional lighting devices variable color using leds . . . . . 3

*Modern technologies in assembly*

**Ivanov A.A.** The simulation of the assembly processes and systems . . . . 10

*Industrial and design engineer's aid*

**Khairullin I.Kh., Vavilov V.E., Bekuzin V.I., Shavaleeva Yu.I.** Axial force in contactless engine with a high-coercivity permanent magnet . . . . . 15

**Spiridonov O.V.** Analysis of the compounds of parts in the development of technological processes of assembly . . . . . 19

**Shalomov V.I., Vinogradov V.S.** The design of experimental-industrial design-static node spindle bearings for precision internal grinding machines . . 23

*Preparation of experts*

**Lagunova Yu.A., Kalyanov A.E.** Hydro-pneumatic accumulators application in mining machine . . . . . 28

*Information*

**Ivanov A.N.** Heat treatment–2013 . . . . . 36

**Index** of articles published in 2013 . . . . . 44

Journal is distributed on subscription, which can be issued in any post office (index on the catalogue of the "Rospechat" agency – **79748**, the union catalogue "Pressa Rossii" – **84967**, the catalogue "Pochta Rossii" – **60257**) or directly in editorial of the journal.
*Ph.: (499) 268-38-42; ph./fax: 268-85-26. Fax: (499) 269-48-97.*
*http://www.mashin.ru E-mail: sborka@mashin.ru*
Labor Red Banner Order Public Corporation "Publishing House "Mashine Building"
107076, Moscow, Stromynsky per. 4
*The reference to the Assembling in Mechanical Engineering and Instrument-Making Journal during reprint of the materials is mandatory.*
*Advertisers are responsible for the content of their advertisements.*

**Chair of Editorial Advisory Board –**
Member of Russian Academy of Science
F.M. MITENKOV

**Editors**

**MOSCOW**

A.S. VASIL'EV (Chief editor)
M.V. VARTANOV
A.M. DALSKY
A.A. GUSEV
I.N. ZININA
Yu.L. IVANOV
Yu.G. KOZYREV
A.I. KUMENKO
A.V. MEDAR'
E.A. MIKRIN
V.V. POROSHIN
B.V. SHANDROV
A.A. SHATILOV
A.G. KHOLODKOVA
G.A. YARKOV

**Regional editors**

**BELGOROD**
N.A. PELIPENKO
**BRIANSK**
O.A. GORLENKO
**VLADIVOSTOK**
Yu.N. KULSHIN
A.A. SUPONIA
V.M. KORNIENKO
**VOLGOGRAD**
M.G. KRISTAL
V.G. KARABAN'
V.I. LYSAK
V.M. TRUKHANOV
**IZHEVSK**
I.V. ABRAMOV
B.A. YAKIMOVICH
V.G. OSETROV
**KAZAN**
R.I. ADGAMOV
**KOVROV**
Yu.Z. ZHITNIKOV
**KOLOMNA**
Yu.D. AMIROV
**KOMSOMOLSK-ON-AMUR**
B.N. MARJIN
V.I. SCHPORT
A.M. SHPILEV
**NABEREZHNYE CHELNY**
S.V. DMITRIEV
R.M. KHISAMUTDINOV
**NIZHNY NOVGOROD**
S.V. GOLUBEV
**OMSK**
V.N. KOSTIUKOV
**OREL**
Yu.S. STEPANOV
G.A. KHARLAMOV
**ORENBURG**
A.N. POLYAKOV
A.I. SERDUK
A.P. FOT
**RYBINSK**
V.F. BEZIAZYSHNY
V.V. NEPOMILUEV
A.N. SEMENOV
**SAMARA**
M.A. EVDOKIMOV
Yu.A. VASHUKOV
G.A. KULAKOV
V.A. NIKOLAEV
**ST.-PETERSBURG**
V.F. KUZMIN
E.V. SHALOBAEV
**TULA**
V.V. PREYS
**TOLIATI**
A.I. RYZHKOV
**KHABAROVSK**
V.A. LASHKO

**Ukraine**

**KIEV**
A.S. ZENKIN
V.A. MATVIENKO
**DONETSK**
A.N. MIKHAILOV
**SEVASTOPOL**
E.L. PERVUKHINA

**Belarus**

**MINSK**
V.L. BASINJUK
M.L. KHEIFETZ
**GOMEL**
V.E. STARZHINSKI
**ISRAEL**
V.M. BEDRIN
**POLAND**
P.LEBKOVSKI
E. LUNARSKI

**Executive editors of current issue:**
Yu.A. CHICHOV, I.M. GLIKMAN

The journal is registered by RF Ministry of Press, Tele-radio Broadcasting and Mass Communications Media.
Registration certificate ПИ № 77-1747, February 25, 2000 Free price

© "Mashinostroenie Publishers", "Assembling in Mechanical Engineering and Instrument-Making", 2014

УДК 621.744.37

**С.А. Микаева,** *д-р техн. наук,*
**А.С. Микаева** *(Московский государственный университет приборостроения и информатики),*
**А.А. Ашрятов,** *канд. техн. наук,* **А.С. Федоренко,** *д-р техн. наук,*
**М.В. Вдовин,** *канд. техн. наук (Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, г. Саранск)*
*E-mail: mikaeva@pechkin.npo.lit.ru*

# Сборка многофункциональных световых приборов переменной цветности с использованием светодиодов

*Рассмотрены сборка многофункциональных световых приборов и области их применения. Представлена конструкция многофункционального светового прибора переменной цветности на цветных компактных люминесцентных лампах. Описаны устройство и принцип действия многофункционального светового прибора переменной цветности на RGB-светодиодах и приведены результаты измерений электрических, световых и цветовых характеристик.*

*The assembly multifunction lighting devices and their application areas was considered. The construction of multifunction lighting device with variable color in color compact fluorescent lamps is presents. The design and operation principle of multifunction variable color lighting device for RGB-LEDs are described and the measurements results of electrical, lighting and color characteristics are given.*

**Ключевые слова:** многофункциональный световой прибор, диммирование, цветность, светодиод, световой поток, спектр.

**Keywords:** multifunction lighting device, dimming, color LED, luminous flux, spectrum.

Под многофункциональным световым прибором (МСП) будем понимать СП, совмещающий в себе функции нескольких однофункциональных светильников и облучательных приборов и выполняющий данные функции одновременно либо раздельно во времени, обеспечивающий оптимальные условия освещения (облучения) в ряде различных функциональных процессов.

В работах [1–4] дана информация о направлении в медицине, в котором лечение проводится светом различных цветов. Ученые, открывшие этот метод лечения, считают, что цвета, которые нас окружают, способны влиять на самочувствие и настроение человека, лечить многие заболевания (табл. 1).

Многое зависит от обстоятельств, в которых предполагается использовать освещение. Покупать множество светильников разного цвета свечения нерационально. В этом смысле представляется весьма интересным создание и сборка МСП с переменной цветностью. Более того, необходимо, чтобы в излучении МСП были не только чистые цвета, но и присутствовали бы полутона и оттенки, а также белый цвет с различными цветовыми температурами.

Наибольшее применение такие МСП найдут в общественных зданиях, жилых помещениях и оздоровительных учреждениях, занимающихся световой терапией и цветотерапией. Прибор должен обеспечивать приемлемые цветосветовые характеристики при использовании его для местного освещения, освещения отдельных локальных зон (зеленый уголок, аквариумы, выращивание рассады и др.) изменение цветосветовой среды в помещении, должен соответствовать современным требованиям дизайна. Своей конструкцией МСП должен подтвердить принцип конструирования МСП – увеличение функциональных возможностей светильников возможно при изменении интенсивности свечения источников света (ИС), излучающих в различных диапазонах видимого спектра при одновременном их использовании в МСП.

Внешний вид декоративного МСП с изменяемой цветностью представлен на рис. 1 на стр. 2 обложки.

Сборка МСП состоит из основания-подставки *1*, источников излучения – цветных компактных люминесцентных ламп (КЛЛ) типов КЛ11/С, КЛ11/З, КЛ11/К *2*, плафона-рассеивателя *3*,

*Таблица 1*

**Влияние света различных цветов на нервную систему человека**

| Цвет свечения | Влияние на человека | Цвет свечения | Влияние на человека |
|---|---|---|---|
| Красный | Активизирует нервную систему, возбуждает.<br>Способствует образованию эритроцитов.<br>Повышает кровяное давление, иммунитет.<br>Учащает пульс | Зеленый | Успокаивающе действует на психику.<br>Замедляет биение сердца |
| Оранжевый | Активизирует деятельность желез внутренней секреции.<br>Уплотняет легочную ткань.<br>Вызывает чувство эйфории.<br>Благотворно воздействует на пищеварение | Сине-зеленый | Способен прервать приступ эпилепсии.<br>Вызывает чувство комфорта.<br>Делает редким пульс, понижает кровяное давление |
| Желтый | Укрепляет нервную систему.<br>Увеличивает выделение желудочного сока.<br>Внушает оптимизм.<br>Способствует лечению кожных заболеваний | Голубой | Вызывает чувство комфорта и умиротворения.<br>Нормализует кровяное давление.<br>Снижает мышечное напряжение.<br>Делает дыхание глубоким и ритмичным |
| Зеленый | Ускоряет формирование клеток.<br>Способствует образованию мышечных волокон.<br>Повышает защитные свойства организма. | Синий | Повышает жизненную силу организма.<br>Способствует восстановлению нервной системы.<br>Усиливает способность к сосредоточению.<br>Снимает головные боли, снижает рассеянность |
| | | Розовый | В ярких оттенках действует как транквилизатор |

ПРА-темнителей* для каждой лампы (встроены в основание) и пульта управления.

Используемые в приборе КЛЛ излучают свет в синей ($\lambda_{max}$ = 450 нм), зеленой ($\lambda_{max}$ = 543 нм) и красной ($\lambda_{max}$ = 611 нм) областях спектра. Пульт управления регулирует токи ламп за счет использования дополнительных резисторов, соединенных последовательно с дросселями, позволяя тем самым изменять интенсивность их свечения практически от нуля до максимума ($I_{л\,max} = 1{,}3\,I_{л\,ном}$).

В серийных изделиях это целесообразно делать с применением ЭПРА-темнителей. Плафон-рассеиватель в виде полой сферы осуществляет диффузное рассеяние световых потоков ламп. Кроме того, на его внутренней поверхности за счет многократных отражений происходит полное смешение световых потоков различной цветности, излучаемых ИС.

Плафон изготавливают из матированного силикатного стекла с интегральным коэффициентом пропускания в видимой области спектра $\tau = 0{,}75$. С целью уменьшения экранирования световых потоков крайние лампы расположены под углом 20...30° к вертикальной оси.

Для максимального смешения излучений различного спектрального состава точка пересечения вертикальных осей ламп должна разделять их пополам и совпадать с точкой геометрического центра сферы.

Смешение получаемых регулировкой световых потоков ламп различного спектрального состава (основных цветов – красного, зеленого и синего) на внутренней поверхности сферического рассеивателя приводит к изменению цветности выходящего из него излучения. При этом может быть получено излучение практически любого цвета. Возможности ограничены лишь свойствами ртутного разряда в КЛЛ, в которых (в трубках малого диаметра) увеличивается доля видимых линий с $\lambda$ = = 404,7; 435,8; 546,1 нм в общем излучении. Это приводит к уменьшению чистоты цвета исходного излучения, изменению его цветового тона и, как следствие, к погрешности при воспроизведении некоторых желаемых смешанных цветов.

Работа данного декоративного МСП основана на принципе аддитивного воспроизведения цвета – суммировании нескольких разноцветных излучений. В работе [5] показано, что суммирование

*ПРА – пускорегулирующий аппарат, ЭПРА – электронный ПРА (прим. ред.)

трех реальных цветов может обеспечить воспроизведение излучения любого цветового тона. Исходными цветами системы аддитивного воспроизведения являются красный, зеленый и синий. При попарном смешении этих трех цветов получают желтый, голубой и пурпурный цвета. А при смешении трех исходных цветов в определенной пропорции получают белый цвет. Пользователь, самостоятельно регулируя токи ламп, тем самым регулирует интенсивность их свечения.

Для данного МСП проведено комплексное расчетное исследование с визуализацией полученных результатов на дисплее персонального компьютера по методике и алгоритму. По результатам экспериментальных и расчетных исследований был разработан декоративный МСП с изменяемой цветностью, в котором вариативные изменения токов трех ИС исходных цветов (красного, зеленого и синего) приводят к изменению цвета свечения прибора и изменению функциональных свойств светильника.

Разработанный МСП может быть использован для местного освещения, подсветки локальных объектов, для ориентации ночью и как декоративный светильник. Данный МСП предназначен для изменения в широких пределах цветосветовой среды в помещении, с целью лечебного воздействия на психофизиологическое состояние человека с учетом его индивидуальных качеств.

Компьютерное моделирование изменения цвета свечения светильника в рамках комплексного расчета его характеристик показало возможность значительного изменения его цветности в зависимости от цветности используемых ламп и их разрядного тока.

КПД светильника составляет 78...82 % (поглощение излучения в основном происходит в стекле рассеивателя), в то время как у светильников с применением светофильтров (при субтрактивном воспроизведении цвета) таковой составляет лишь 12...26 % в зависимости от марки применяемого фильтра.

Недостатки рассмотренного МСП заключаются в следующем:

• имеет место сложность регулирования электрического режима КЛЛ (включение последовательно с индуктивными дросселями резисторов с различным сопротивлением для уменьшения тока ламп с помощью пульта управления с большим количеством выключателей);

• большой расход энергии элементами схемы питания ламп и наличие пульсаций светового потока ламп, особенно при пониженных токах;

• наличие ртутьсодержащих ламп в МСП;

• большая масса дросселей и остеклованных резисторов;

• отсутствует дистанционное управление работой МСП.

Эти недостатки МСП не позволили организовать их серийное производство.

Применение трехцветных светодиодных модулей позволяет решить вопрос регулирования светоцветовой среды в жилых помещениях и зонах отдыха и расширить возможности применения цветовой светотерапии. В процессе работы разработана компоновка светового прибора, выбраны светотехнические материалы и проработана конструкция светильника. Изготовлен макетный образец светового прибора на основе трехцветных светодиодов поверхностного монтажа на гибкой электроизоляционной подложке. Исследовано влияние изменения напряжения питающей сети на электрические, световые и цветовые характеристики светового прибора.

В собранном виде светодиодный световой прибор (рис. 2, *а*) имеет основание *1* с крышкой *2*, на которой расположен цилиндрический держатель *3* шарообразного матового рассеивателя *5*.

По оси светового прибора *6* на крышке расположен полый цилиндр *8* с лентой *4* со светодиодами *7*. Светодиодная лента расположена на полом цилиндре в виде спирали.

На основании смонтирован драйвер *10*, контроллер *12* и вентилятор *11*, а крышка по оси светового прибора имеет цилиндрический воздуховод *9*, соединенный с цилиндром со светодиодами. Воздуховод передает холодный воздух, забираемый вентилятором из-под основания светового прибора через отверстие (рис. 2, *б*) *13*, в объем рассеивателя. Стрелками *14* показан ход охлаждающего воздуха через световой прибор, основание которого опирается на рабочую поверхность посредством ножек *15*.

В качестве источников света, излучающих красный, зеленый и синий цвет использованы так называемые RGB-светодиоды, предназначенные для поверхностного монтажа (SMD-светодиоды). Для снижения трудоемкости при изготовлении источника света светильника были использованы не дискретные светодиоды, а светодиодная гибкая

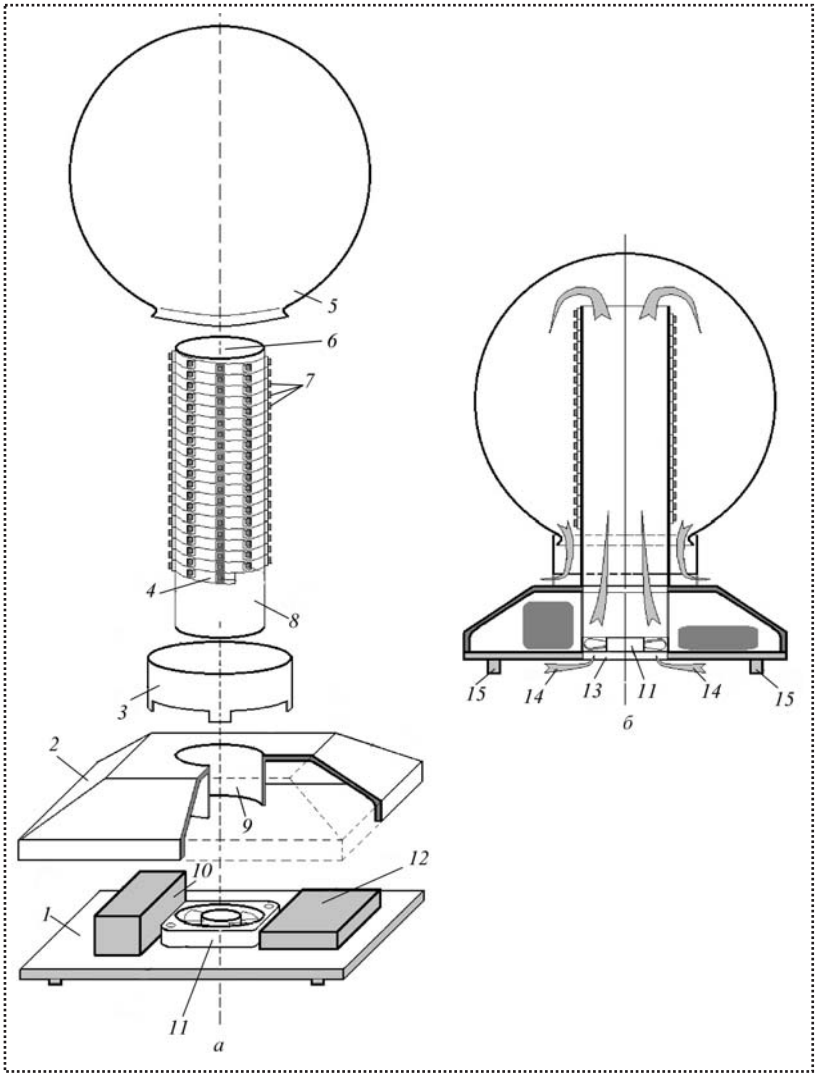


**Рис. 2. Светодиодный световой прибор:**
*а* – конструкция; *б* – вид в разрезе с указанием движения потока воздуха, охлаждающего светодиоды

лента, на которой смонтированы SMD-RGB-светодиоды и ограничивающие ток резисторы. Обратная сторона (относительно светодиодов) имеет клейкое покрытие, которое позволяет гибкую ленту приклеивать практически к любой поверхности.

Для плотного расположения светодиодов на излучающей поверхности светодиодную ленту на цилиндрическое основание приклеивали в виде спирали (рис. 3 на стр. 2 обложки). Длину используемой ленты определяли по числу требуемых светодиодов, которые при белом свечении создавали световой поток, равный лампе накаливания общего назначения мощностью 60 Вт, наиболее часто используемой в бытовых светильниках. По полученной длине определяли диаметр цилиндрического основания, на который навивали светодиодную ленту.

Электрическая схема светильника приведена на рис. 4, а общий вид светильника – на рис. 5 на стр. 2 обложки.

Были исследованы электрические характеристики макетного образца светильника: потребляемая мощность $P$ и сила тока $I$ лампы при вариации напряжения питания $U$. Контроллер светильника позволяет изменять интенсивность свечения в пределах 8 ступеней, поэтому измерение электрических характеристик также производили на 8 ступенях. Результаты измерений приведены в табл. 2.

Полученные данные показывают, что изменение напряжения питающей сети практически не сказывается на электрических параметрах красных светодиодов, а у зеленых и синих при максимальной яркости незначительно возрастает мощность. Для оценки влияния рассеивателя на тепловой режим светодиодов были измерены электриче-

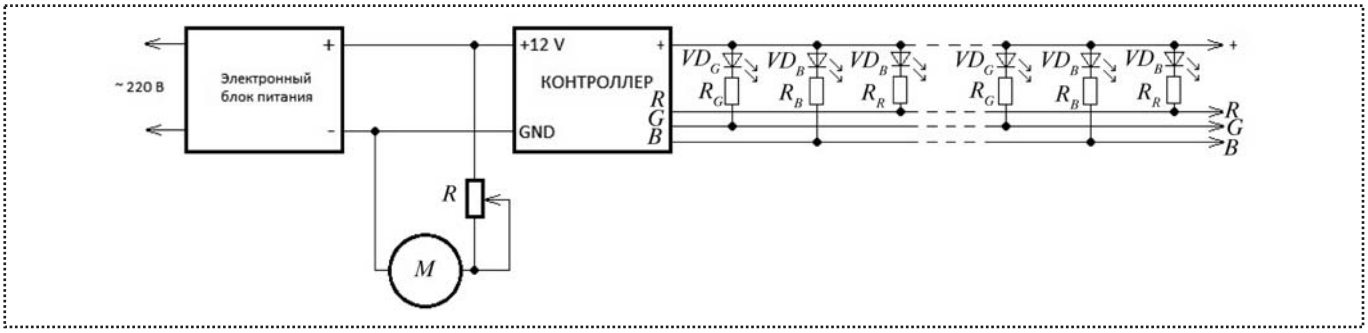


**Рис. 4. Электрическая схема светильника**

*Таблица 2*

**Электрические характеристики светильника без рассеивателя**

| *U*, В | *P*, Вт | Номер ступени | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *I*, А | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| ***Белый цвет*** | | | | | | | | | |
| 198 | *P* | 30,0 | 24,0 | 19,0 | 15,0 | 11,0 | 7,0 | 5,0 | 3,0 |
| | *I* | 0,275 | 0,235 | 0,190 | 0,145 | 0,107 | 0,070 | 0,055 | 0,004 |
| 220 | *P* | 30,0 | 24,0 | 19,0 | 15,0 | 11,0 | 7,0 | 5,0 | 4,0 |
| | *I* | 0,250 | 0,210 | 0,170 | 0,092 | 0,086 | 0,065 | 0,055 | 0,045 |
| 242 | *P* | 29,0 | 24,0 | 19,0 | 15,0 | 11,0 | 7,0 | 5,0 | 4,0 |
| | *I* | 0,230 | 0,190 | 0,150 | 0,115 | 0,085 | 0,065 | 0,055 | 0,045 |
| ***Красный цвет*** | | | | | | | | | |
| 198 | *P* | 12,0 | 9,0 | 8,0 | 6,0 | 5,0 | 4,0 | 3,0 | 3,0 |
| | *I* | 0,110 | 0,077 | 0,070 | 0,057 | 0,051 | 0,049 | 0,035 | 0,025 |
| 220 | *P* | 12,0 | 9,0 | 8,0 | 6,0 | 5,0 | 4,0 | 3,5 | 3,0 |
| | *I* | 0,099 | 0,077 | 0,065 | 0,055 | 0,051 | 0,046 | 0,044 | 0,030 |
| 242 | *P* | 12,0 | 9,0 | 8,0 | 6,0 | 5,0 | 4,0 | 3,5 | 3,0 |
| | *I* | 0,090 | 0,075 | 0,065 | 0,056 | 0,053 | 0,046 | 0,045 | 0,033 |
| ***Зеленый цвет*** | | | | | | | | | |
| 198 | *P* | 12,5 | 10,0 | 8,0 | 6,0 | 5,0 | 4,5 | 3,5 | 3,0 |
| | *I* | 0,119 | 0,095 | 0,075 | 0,060 | 0,054 | 0,050 | 0,040 | 0,028 |
| 220 | *P* | 13,0 | 10,0 | 8,0 | 6,0 | 5,0 | 4,0 | 3,5 | 3,0 |
| | *I* | 0,107 | 0,085 | 0,070 | 0,060 | 0,052 | 0,048 | 0,040 | 0,030 |
| 242 | *P* | 13,0 | 10,0 | 8,5 | 6,0 | 5,0 | 4,5 | 3,5 | 3,0 |
| | *I* | 0,100 | 0,080 | 0,069 | 0,060 | 0,052 | 0,047 | 0,042 | 0,039 |
| ***Синий цвет*** | | | | | | | | | |
| 198 | *P* | 11,5 | 9,0 | 8,0 | 6,0 | 5,0 | 4,0 | 3,5 | 3,0 |
| | *I* | 0,107 | 0,085 | 0,070 | 0,057 | 0,050 | 0,049 | 0,040 | 0,030 |
| 220 | *P* | 11,5 | 9,0 | 8,0 | 6,0 | 5,0 | 4,0 | 3,5 | 3,0 |
| | *I* | 0,073 | 0,075 | 0,065 | 0,056 | 0,051 | 0,046 | 0,042 | 0,030 |
| 242 | *P* | 12,0 | 9,0 | 8,0 | 6,0 | 5,0 | 4,0 | 3,5 | 3,0 |
| | *I* | 0,090 | 0,073 | 0,065 | 0,055 | 0,051 | 0,048 | 0,043 | 0,035 |

ские параметры светильника с рассеивателем и без него при белом свечении. Результаты приведены в табл. 3.

Из данных, приведенных в табл. 3, видно, что с рассеивателем светильник потребляет примерно на 1 Вт больше.

Световой поток Ф измеряли с помощью светомерного шара стандартным методом. Результаты измерений приведены в табл. 4, 5 и на рис. 6.

Из рис. 6 видно, что световой поток светильника с рассеивателем значительно ниже, чем без рассеивателя. Полученные данные позволяют рассчитать КПД светильника (для белого цвета КПД = = 0 ,656).

С помощью спектроколориметра "ТКА-ВД" были проведены измерения спектров излучения (рис. 7 на стр. 3 обложки) и координат цветности (рис. 8 на стр. 3 обложки) собранного макетного образца светового прибора при различных соотношениях интенсивности основных цветов. На рисунках приведены только данные по белому и основным (красный, зеленый и синий) цветам.

*Таблица 3*

**Электрические характеристики светильника**

| *U*, В | *P*, Вт | Номер ступени | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *I*, А | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| ***Белый цвет с рассеивателем*** | | | | | | | | | |
| 220 | *P* | 30,5 | 25,0 | 20,0 | 16,0 | 12,0 | 8,0 | 6,0 | 4,0 |
| | *I* | 0,257 | 0,215 | 0,172 | 0,130 | 0,099 | 0,070 | 0,055 | 0,046 |
| ***Белый цвет без рассеивателя*** | | | | | | | | | |
| 220 | *P* | 30,0 | 24,0 | 19,0 | 15,0 | 11,0 | 7,0 | 5,0 | 4,0 |
| | *I* | 0,250 | 0,210 | 0,170 | 0,092 | 0,086 | 0,065 | 0,055 | 0,045 |

Из рис. 7 видно, что интенсивность синей полосы в спектре белого излучения макетного образца светового прибора превышает интенсивности зеленой и красной полос. Это указывает на холодно-белое излучение RGB-светодиодов в режиме излучения белого цвета, что подтверждается результатами измерения координат цветности (см. рис. 8) и цветовой температуры, которая в данном случае примерно равна 20 000 К.

Из рис. 8 видно, что излучение красного кристалла светодиода лежит практически на линии чистых цветов локуса. Излучение синего кристалла светодиода немного не "дотягивает" до линии чистых цветов, а излучение зеленого кристалла светодиода значительно удалено от линии чистых цветов. Это объясняется значительно большей шириной полосы зеленого излучения (см. рис. 7), чем у синего и красного излучения. Соответственно,

*Таблица 4*

**Зависимость светового потока Ф, лм, макетного образца светильника с рассеивателем от напряжения питания *U* и цвета свечения**

| *U*, В | Номер ступени | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| ***Белый цвет*** | | | | | | | | |
| 198 | 350,70 | 267,20 | 183,70 | 125,20 | 83,50 | 50,10 | 16,70 | 6,00 |
| 220 | 350,70 | 267,20 | 183,70 | 125,20 | 83,50 | 50,10 | 16,70 | 6,00 |
| 242 | 350,70 | 267,20 | 183,70 | 125,20 | 83,50 | 50,10 | 16,70 | 6,00 |
| ***Красный цвет*** | | | | | | | | |
| 198 | 88,86 | 70,14 | 53,77 | 38,90 | 26,89 | 16,70 | 8,35 | 1,67 |
| 220 | 88,51 | 70,14 | 53,61 | 38,58 | 26,72 | 16,70 | 8,35 | 1,67 |
| 242 | 87,17 | 68,47 | 53,44 | 38,41 | 26,72 | 16,53 | 8,02 | 1,67 |
| ***Зеленый цвет*** | | | | | | | | |
| 198 | 201,20 | 149,96 | 113,56 | 82,16 | 56,78 | 35,90 | 19,20 | 6,68 |
| 220 | 201,24 | 146,96 | 113,56 | 82,67 | 56,78 | 35,57 | 19,20 | 6,68 |
| 242 | 200,70 | 146,90 | 113,56 | 81,83 | 50,77 | 36,40 | 19,20 | 6,68 |
| ***Синий цвет*** | | | | | | | | |
| 198 | 27,56 | 21,70 | 16,37 | 11,70 | 7,50 | 3,67 | 1,67 | 0,41 |
| 220 | 26,72 | 21,71 | 16,37 | 11,36 | 7,14 | 3,67 | 1,34 | 0,41 |
| 242 | 27,56 | 21,38 | 16,37 | 10,86 | 6,85 | 3,51 | 1,34 | 0,41 |

*Таблица 5*

**Зависимость светового потока Ф, лм, макетного образца светильника без рассеивателя от напряжения питания *U* и цвета свечения**

| *U*, В | Номер ступени | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| ***Белый цвет*** | | | | | | | | |
| 198 | 534,40 | 434,20 | 334,00 | 250,50 | 167,00 | 100,20 | 66,80 | 13,00 |
| 220 | 534,40 | 434,20 | 334,00 | 250,50 | 167,00 | 100,10 | 66,80 | 13,00 |
| 242 | 534,40 | 434,20 | 334,00 | 250,50 | 167,00 | 100,20 | 66,80 | 13,00 |
| ***Красный цвет*** | | | | | | | | |
| 198 | 126,92 | 103,54 | 81,83 | 60,12 | 43,42 | 26,72 | 15,03 | 5,85 |
| 220 | 133,60 | 107,71 | 83,50 | 60,12 | 41,75 | 25,05 | 13,36 | 5,84 |
| 242 | 131,92 | 106,88 | 81,83 | 60,12 | 41,75 | 25,88 | 13,36 | 5,85 |
| ***Зеленый цвет*** | | | | | | | | |
| 198 | 350,70 | 275,55 | 201,24 | 150,30 | 100,20 | 50,10 | 20,04 | 12,52 |
| 220 | 350,70 | 268,00 | 201,20 | 150,30 | 84,80 | 50,10 | 16,70 | 13,00 |
| 242 | 350,70 | 268,00 | 201,20 | 150,30 | 100,20 | 50,10 | 16,70 | 12,50 |
| ***Синий цвет*** | | | | | | | | |
| 198 | 46,43 | 36,74 | 28,39 | 20,04 | 13,36 | 8,20 | 3,34 | 0,920 |
| 220 | 46,76 | 36,74 | 28,39 | 20,04 | 13,36 | 8,35 | 3,67 | 1,002 |
| 242 | 46,76 | 36,74 | 28,39 | 20,37 | 13,36 | 8,35 | 3,67 | 1,015 |

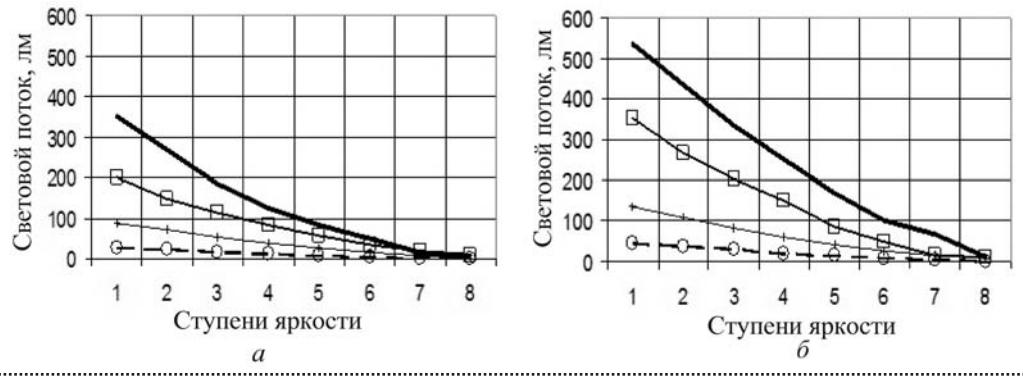


**Рис. 6. Зависимости светового потока макетного образца светильника от ступени яркости:**
*а* – с рассеивателем; *б* – без рассеивателя; —— – белый цвет; –+– – красный; –□– – зеленый; –○– – синий

происходит "разбавление" зеленого излучения синим и красным.

#### Библиографический список

1. **Кларк Н.Г.** Свет и здоровье // Светотехника. 1999. № 5. С. 37–38.

2. **Гируцкая Е.** Мир полон радуги // Здоровье. 1999. № 5. С. 43–44.

3. **Кореневский С.** Магия украшений // Альянс. 1998. № 8. С. 54–57.

4. **Величко С.** Цвет хорошего настроения // Здоровье. 1999. № 10. С. 32.

5. **Мешков В.В., Матвеев А.Б.** Основы светотехники: учеб. пособие для вузов. В 2-х ч. Ч. 2. Физиологическая оптика и колориметрия. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1989. 432 с.

УДК 658.527.011

**А.А. Иванов,** *д-р техн. наук (Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева)*
*E-mail: ivanov_aa@nntu.nnov*

# Моделирование сборочных процессов и систем

*Показано, что математическое моделирование остается основным инструментом исследования сложных технических систем. В основе имитационного моделирования лежат алгоритмы и программы, воспроизводящие работу системы с учетом реальной последовательности протекания во времени элементарных явлений и случайных воздействий на систему. Рассмотрено использование имитационного моделирования для структурного и параметрического синтеза сборочной системы с оптимизацией ее по важнейшим параметрам: производительность, надежность, экономическая эффективность.*

*It's shown that the mathematical simulation is the main tool of research of complex technical systems. The algorithms and programs which reproduce the work of the system taking into account the real time sequence of flow of the elementary events and the random exposures to the system are the basis. Using the simulation for structural and parametric synthesis of the assembly system with its optimization on the most important parameters: productivity, reliability, economic efficiency – is shown.*

**Ключевые слова:** имитационное моделирование, сети Петри, теория массового обслуживания.

**Keywords:** simulation, Petri net, queuing theory.

На стадии проектирования сложных технических систем обычно проводят их моделирование, позволяющее предсказывать поведение системы в определенных условиях, поскольку модель дает описание системы, отображающее совокупность ее свойств. Техническую систему можно описывать с различных точек зрения: функциональной, морфологической, информационной.

*Функциональное* описание показывает изменение состояния системы во времени и определяет ее место по отношению к другим системам и к внешней среде.

*Морфологическое* (топологическое) описание позволяет представить структуру системы, т.е. совокупность ее элементов и связей между ними.

*Информационное* описание дает представление об организации системы, поскольку оно определяет зависимость морфологических и функциональных ее свойств от внутренней и внешней информации.

В основе моделирования лежит теория подобия, которая утверждает, что абсолютное подобие имеет место лишь при замене одного объекта другим точно таким же. Поэтому при моделировании разработчики стремятся к тому, чтобы модель как можно полнее отображала процесс функционирования объекта. Модель системы $S$ можно представить в виде черного ящика с указанием множества величин, взаимодействующих с системой (рис. 1).

Входные $x_i \in X$ и внешние $v_e \in V$ воздействия, а также внутренние характеристики $h_k \in H$ системы являются независимыми переменными, а выходные параметры $y_j \in Y$ системы – зависимыми. Процесс функционирования системы можно описать оператором $F_s$ в векторной форме:

$$\bar{Y}(t) = F_s\,(\bar{x}_i,\ \bar{v}_e,\ \bar{h}_k,\ \bar{t}\,).$$

Оператор $F_s$ может быть задан в виде функции, либо функционала $J$, в виде логических условий, или в алгоритмической и табличной формах.

При разработке моделей используют классический и системный подходы. Классический подход

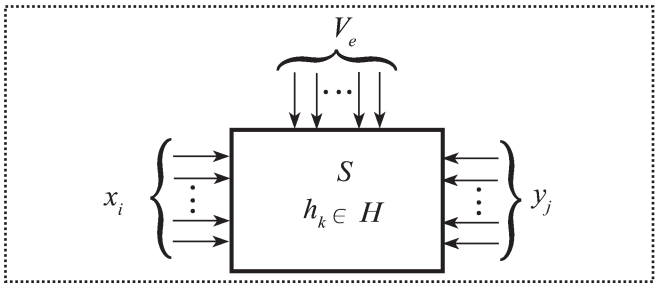


**Рис. 1. Модель системы *S* в виде черного ящика**

применяют для разработки сравнительно простых моделей, в которых возможно независимое рассмотрение отдельных аспектов функционирования реального объекта.

При синтезе модели на основе системного подхода учитывают параметры внешней среды и предусматривают обратную связь между моделью и поставленной целью. Наличие обратной связи позволяет уточнять цель по результатам функционирования модели.

Поскольку реальное моделирование, являясь наиболее адекватным, требует больших материальных и временны́х затрат, математическое моделирование остается основным инструментом исследования сложных технических систем.

Математическое моделирование подразделяется на аналитическое, имитационное и комбинированное. При *аналитическом моделировании* процесс функционирования системы записывается в виде функциональных уравнений (алгебраических, дифференциальных, конечно-разностных и т.д.) или в виде логических условий.

В основе *имитационного моделирования* лежат алгоритмы и программы, воспроизводящие работу системы с учетом реальной последовательности протекания во времени элементарных явлений и случайных воздействий на систему.

Имитационное моделирование используют для структурного и параметрического синтеза технической системы с оптимизацией ее по важнейшим параметрам: производительности, надежности, экономической эффективности. Имитационное моделирование сборочных процессов и систем может проводиться с применением сетей Петри или теории систем массового обслуживания (СМО).

При использовании сетей Петри моделируемые объекты (или процессы) описываются причинно-следственными отношениями на множестве "события (переходы) – условия (позиции)". Исходя из цели модели сначала составляется множество событий $\{t_i\}$, последовательность которых определяет функционирование системы, а затем – множество условий $\{p_i\}$, выполнение которых обеспечивает наступление того или иного события.

Последовательность событий, характеризующая процесс функционирования системы в реальном времени, отображается срабатыванием переходов. Графически сеть Петри изображается двухдольным графом с вершинами двух типов: позиции–переходы. Выполнение какого-либо условия (позиции)

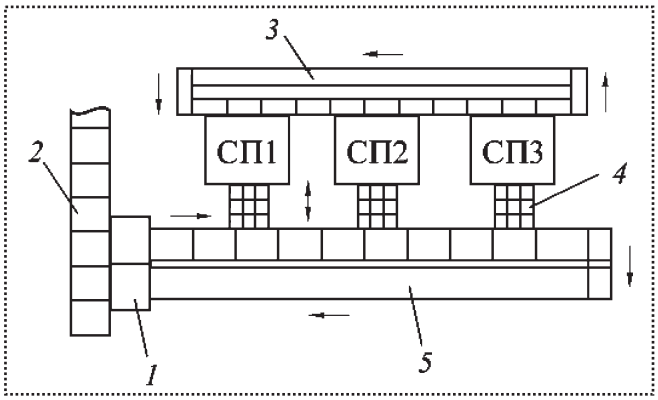


**Рис. 2. Схема автоматической сборочной системы:**
СП – сборочный пост; *1* – приемно-передающее устройство кассет; *2* – автоматизированный склад кассет; *3*, *5* – конвейеры спутников и кассет соответственно; *4* – накопитель кассет

связано с появлением маркера (метки) в соответствующей позиции.

Составление фрагмента графа сети Петри рассмотрим на примере моделирования сборочной системы (рис. 2), состоящей из трех автоматических сборочных постов (СП) с накопителями кассет *4* и обслуживающих их конвейера спутников *3* (КС) и конвейера кассет *5* (КК), автоматизированного склада *2* кассет с приемно-передающим устройством *1*.

Фрагмент имитационной модели сборочной системы в виде графа сети Петри построим для одного СП, взаимодействующего с модулями КС и КК.

Кассеты с деталями поступают на сборку через приемно-передающее устройство (ППУ) автоматизированного склада (АС).

Построим циклограмму работы сборочной системы и на основе ее составим перечень событий для фрагмента графа сети Петри (рис. 3):

$t_1$ – базовая деталь уложена роботом в спутник из кассеты на СП1 (условие $p_1$ – наличие спутника в позиции сборки, условие $p_2$ – наличие кассеты с деталями);

$t_2$ – спутник с базовой деталью перемещен тактовым конвейером в следующую позицию к СП2 (условие $p_3$ – базовая деталь уложена в спутник правильно);

$t_3$ – на базовую деталь в спутнике роботом установлена вторая деталь из кассеты (условия $p_4$, $p_5$ – аналогичные событию $t_1$) и т.д.

Цикл сборки изделия заканчивается выгрузкой из спутника собранного узла, после чего спутник

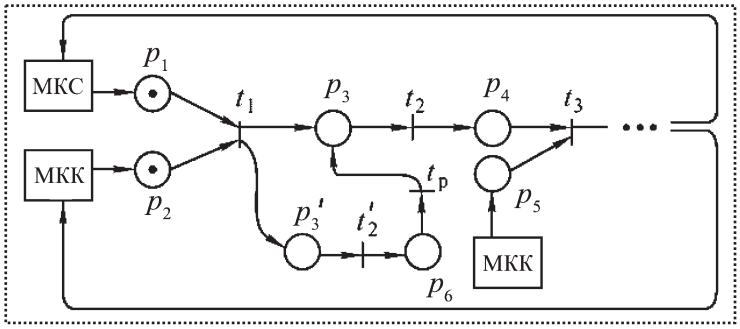


**Рис. 3. Фрагмент графа сети Петри автоматической сборочной системы:**
МКС – модуль конвейера спутников; МКК – модуль конвейера кассет; $t_i$ – события (переходы); $p_i$ – условия (позиции)

по КС возвращается к СП1. На графе это событие замыкается на конвейерные модули МКС и МКК. Число маркеров в позиции $p_2$ должно соответствовать числу деталей в кассете. Когда в позиции $p_2$ не останется ни одного маркера (деталей), пустая кассета покидает СП2 и по конвейеру кассет возвращается на склад. Кассетам с разными деталями соответствуют маркеры разных цветов ω, например: $k_1 - \omega_1$, $k_2 - \omega_2$ и т.д.

Нештатная ситуация возникает, например, при неправильной укладке базовой детали в спутник загрузочным роботом (условие $p_3^1$). В этом случае спутник с базовой деталью будет отправлен в изолятор брака (событие $t_2^1$).

После ремонта (событие $t_p$ и условие $p_6$ – наличие поста ремонта) спутник с базовой деталью возвращается на конвейер спутников. На графе сети Петри восстановление штатной ситуации в работе сборочной системы показано стрелкой, которая замыкает событие $t_p$ на условие $p_3$.

В качестве исходных данных при проектировании автоматизированной сборочной системы (например, линии) выступают годовой объем выпуска изделий, производительность и надежность системы при заданных ограничениях (объем финансирования, режим работы по числу смен, окупаемость затрат). Естественно при проектировании сборочной линии (СЛ) приходится отвечать на следующие вопросы:

• сможет ли создаваемая СЛ обеспечить требуемый объем выпуска изделий и ритмичность производства?

• какая из ячеек (постов) СЛ является "узким местом"?

• соответствуют ли требованиям производства размеры (емкость) межоперационных накопителей?

• каково полное время изготовления изделия (время цикла)?

• каково влияние специфики отдельных сборочных операций на производительность СЛ?

Поскольку работа сборочной линии, состоящей из технологических ячеек, модулей и узлов, довольно успешно описывается моделью СМО с ожиданием, для ее описания можно использовать язык программного пакета GPSS, включающего положения теории очередей.

Входные и выходные данные модели СЛ представлены на рис. 4, а блок-схема программы моделирования – на рис. 5.

Для того, чтобы ответить на вопрос о времени цикла $t_ц$ изготовления изделия, необходимо определить оптимальное число операций $n_{оп}$, которое существенно влияет на надежность СЛ, ее структуру и габариты. В техническом задании на проектирование СЛ задают значение вероятности безотказной работы линии $P_{сл}(t)$ на период времени $t$. Поскольку для поточной линии характерно после-

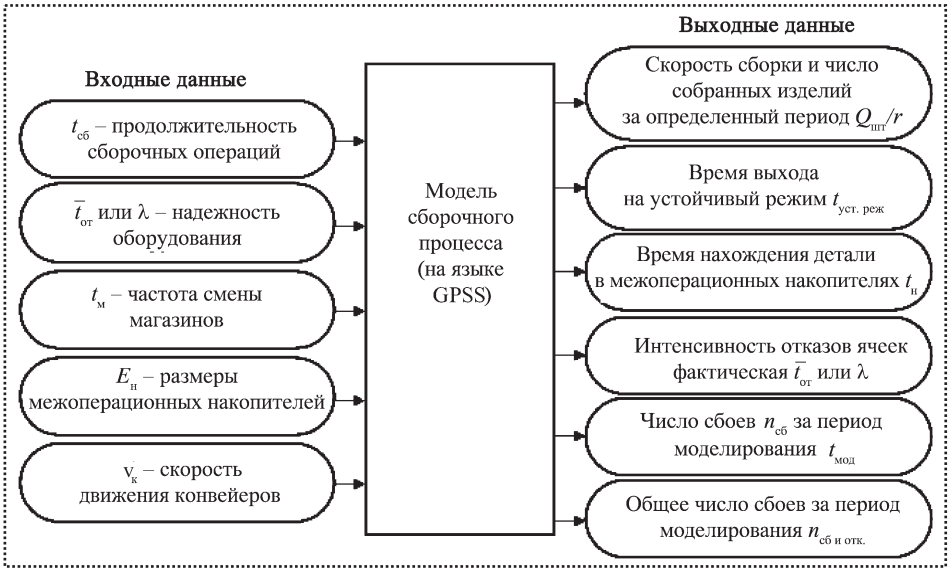


**Рис. 4. Входные и выходные данные модели сборочной линии**

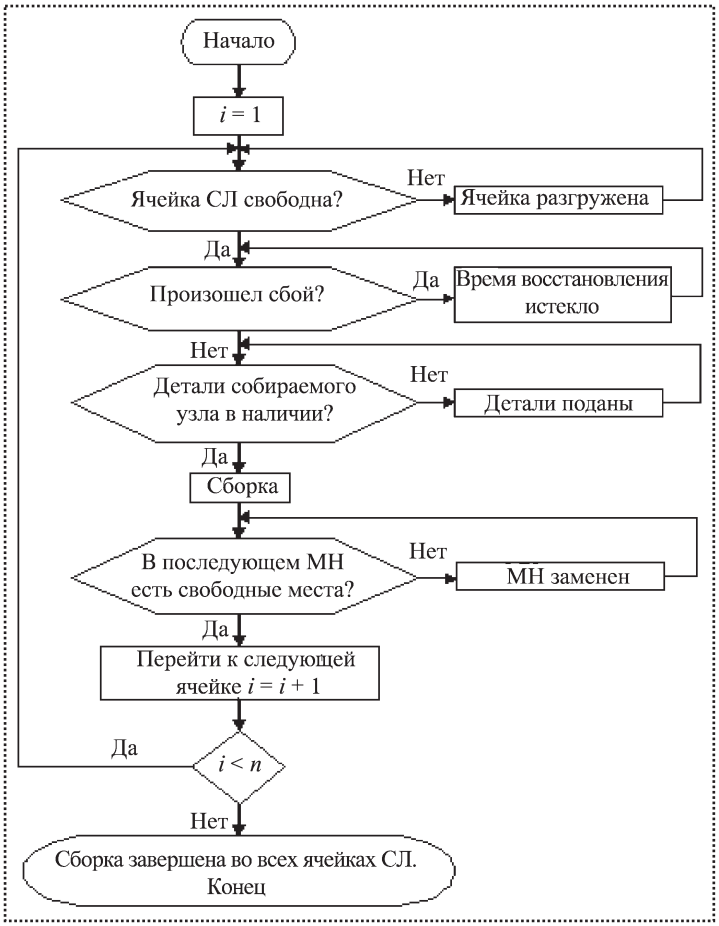


**Рис. 5. Блок-схема программы моделирования сборочной линии (СЛ):**
МН – межоперационный накопитель; *n* – число ячеек СЛ

довательное соединение сборочных постов, то формула для расчета вероятности $P_{сл}(t)$ имеет вид:

$$P_{сл}(t) = \prod_{i=1}^{n} P_i(t),$$

где $P_i(t)$ – вероятность безотказной работы *i*-го элемента СЛ.

Из приведенной формулы видно, что с ростом числа операций $n_{оп}$ значение вероятности $P_{сл}(t)$ быстро убывает. Если в проектируемой линии значение $P_{сл}(t)$ выходит за норматив, то необходимо по возможности уменьшить $n_{оп}$, например, за счет переноса части операций в линию узловой сборки.

Следующим шагом является решение вопроса о повышении производительности линии. Для систем с тактовым конвейером повышение фактической производительности $Q_ф$ линии связано с минимизацией времени выстоя конвейера $t_в$ (время выполнения технологических операций на СЛ). С целью уменьшения $t_в$ проводят синхронизацию оборудования СЛ по производительности. Уменьшение $t_в$ ведет к снижению тактового времени $t_т$, так как $t_т = t_в + t_д$, где $t_д$ – время перемещения тактового конвейера на шаг.

Дальнейшее увеличение $Q_ф$ (а также коэффициента использования $\eta$) можно провести за счет снижения простоев СЛ при отказах и сбоях в работе оборудования линии. Для этого СЛ разделяют на *m* участков с примерно равными значениями $P_{уч}(t)$. В местах деления устанавливают межоперационные накопители (МН), которые позволяют снизить суммарные простои линии (рис. 6). В нашем примере СЛ разделена на три участка и в нее встроены два МН.

В модели фирмы Хитачи (Япония) выходы из строя оборудования классифицированы по времени:

*сбой* – легко устраняется, среднее время простоя $t_{сб}$ = 0,5 мин;

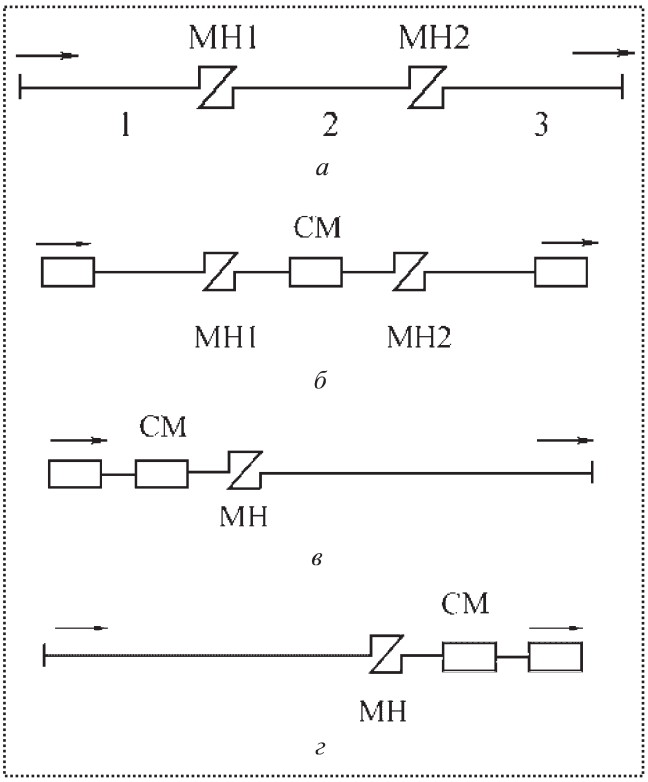


**Рис. 6. Варианты размещения межоперационных накопителей МН в сборочной линии:**
*а* – между участками 1, 2, 3-й линий; *б* – в зоне среднего сборочного модуля СМ; *в*, *г* – в зоне первого и последнего СМ линии соответственно

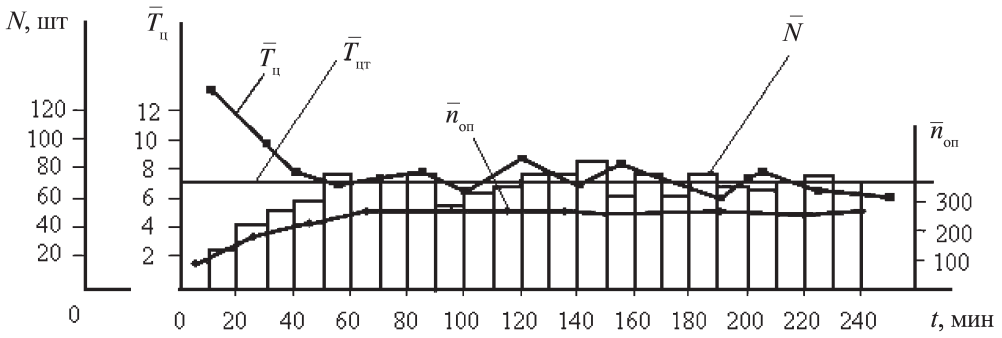


**Рис. 7. Изменение параметров сборочной линии по результатам моделирования:**
$N$ – объем производства; $\bar{T}_ц$ – среднее время цикла; $\bar{n}_{оп}$ – среднее число одновременно выполняемых операций; $\bar{T}_{ц.т}$ – требуемая длительность цикла (при устойчивом режиме); $\bar{N}$ – средний объем производства

*отказ* – среднее время простоя $t_{от} = 5$ мин, замена отказавших частей и настройка оборудования.

Если время простоя $t_{от} > 5$ мин, то сборочную операцию начинает выполнять дежурный оператор.

За счет МН суммарное время простоев сокращается на величину

$$\sum_{i=1}^{s} t'_{ni} = t_{от}\, n_{от} + t_{сб}\, n_{сб}$$

или для данной модели

$$\sum_{i=1}^{s} t'_{ni} = 5 \text{ мин}\ n_{от} + 0{,}5 \text{ мин}\ n_{сб}\,.$$

Таким образом, увеличенное значение η будет равно

$$\eta' = 1 \Big/ \left[ 1 + \left( \sum_{i=1}^{k} t_{ni} - \sum_{i=1}^{s} t'_{ni} \right) \Big/ t_ц \right],$$

где $\sum_{i=1}^{k} t_{ni}$ – внецикловые потери времени без МН; $t_ц = t_т\, n_{оп}$ .

Соответственно повышенная производительность СЛ равна: $Q_ф = Q_т\, \eta'$. Значения $t_{от}$ и $t_{сб}$, вводимые в программу, основываются на статистических данных в результате замеров $t_{ni}$ на действующей СЛ, аналогичной проектируемой линии. Дальнейшее снижение времени простоев $t_{ni}$ связано с увеличением емкости $E_н$ МН (и, следовательно, его габаритов). Для принятых $t_{от}$ и $t_{сб}$ емкость $E_н$ задается программно. Кроме участковых зон, МН устанавливают в зоне потенциально ненадежных модулей СЛ: два МН в зоне среднего модуля (на входе и на выходе), один МН перед первым модулем и один МН за последним модулем.

При пуске модели задают начальные условия, соответствующие незаполненной деталями транспортной системы СЛ. Выход на устойчивый режим СЛ определяется по числу одновременно выполняемых операций $n_{оп}$ и составляет примерно 2 ч. После выхода СЛ на устойчивый режим статистические данные снимаются с интервалом в 2 ч модельного времени (рис. 7).

Для проверки точности созданной модели была промоделирована работа существующей линии сборки механизмов видеосистем. Моделирование дало значение такта СЛ $t_т$ = 8,5 с, а фактическое значение такта реальной линии – $t_т = 9$ с. Полученное значение $t_т$ подтверждает адекватность модели сборочной линии.

## Вывод

*По результатам моделирования работы СЛ были выбраны размеры (емкость) межоперационных накопителей и время такта линии $t_m$ с учетом сбоев и отказов, которое показало, что проектируемая СЛ способна обеспечить требуемую производительность. В результате моделирования были разработаны требования к сборочным машинам и окончательно определена структура СЛ. Экономическая целесообразность создания СЛ подтверждается снижением себестоимости изделий за счет высвобождения рабочих-операторов, уменьшением брака и стабилизацией качества продукции [1, 2].*

### Библиографический список

1. **Иванов А.А.** Проектирование автоматизированных систем манипулирования объектами обработки и сборки: учеб. пособие. М.: Форум, 2012. 352 с.

2. **Иванов А.А.** Автоматизированные сборочные системы: учебник. М.: Форум, 2012. 336 с.

УДК 621.313

**И.Х. Хайруллин,** *д-р техн. наук,* **В.Е. Вавилов, В.И. Бекузин, Ю.И. Шавалеева**
*(Уфимский государственный авиационный технический университет)*
*E-mail: tiobaldo1@rambler.ru*

# Аксиальные силы в бесконтактных двигателях с высококоэрцитивными постоянными магнитами

*Разработан математический аппарат для определения аксиальных сил в электрических двигателях с высококоэрцитивными постоянными магнитами, построена модель электродвигателя в программном комплексе Ansoft Maxwell и произведен эксперимент с целью подтверждения разработанного авторами математического аппарата.*

*The mathematical apparatus for determining the axial forces in electric motors with high-coercivity permanent magnets, a model of the electric motor in the software package Ansoft Maxwell and performed an experiment to confirm the mathematical apparatus developed by the authors.*

**Ключевые слова:** электродвигатель, высококоэрцитивный постоянный магнит; аксиальная сила.

**Keywords:** electric motor, high-coercivity permanent magnet; axial force.

**В** системах летательных и космических аппаратов, промышленных работах и манипуляторах, металлорежущих станках, медико-биологических и информационно-преобразовательных устройствах широко применяют электрические двигатели с высококоэрцитивными постоянными магнитами (ЭД с ВПМ), например, двигатели серии ДБМ [1–3].

При эксплуатации ЭД с ВПМ проявляются аксиальные силы, которые оказывают влияние на электромагнитные и механические процессы, а также дополнительно нагружают подшипники.

В данной работе рассмотрена конструкция ЭД с целью определения расчетных соотношений и минимизации аксиальной силы, а также ее влияния на магнитную цепь электрической машины. Данная задача является актуальной ввиду того, что выявление и дальнейшая минимизация аксиальной силы позволит улучшить функциональные возможности ЭД и снизить потери энергии в них.

При решении данной задачи использованы следующие допущения:

- смещение ротора в аксиальном направлении не влияет на токи в обмотках;
- магнитная система не насыщена;
- активная длина статора равна активной длине ротора;
- магнитная проницаемость железа статора равна бесконечности ($\mu_{ст} = \infty$);
- магнитная проницаемость ВПМ равна единице и постоянна в ходе всего рабочего процесса ($\mu_{п.м} = 1$);
- магнитная проницаемость воздуха равна проницаемости вакуума ($\mu_{в} = \mu_0$).

При анализе аксиальных сил используется расчетная схема, представленная на рис. 1.

При отсутствии осевого смещения ротора относительно статора магнитные силовые линии представляются нормальными к образующим поверхностям статора и ротора (рис. 2, *а*), а при смещении картина поля изменяется и упрощенно представляется в виде, показанном на рис. 2, *б*.

Из рис. 2 видно, что длина магнитных силовых линий увеличивается до значений $\sqrt{\delta^2 + x^2}$, что приводит к уменьшению индукции в рабочем зазо-

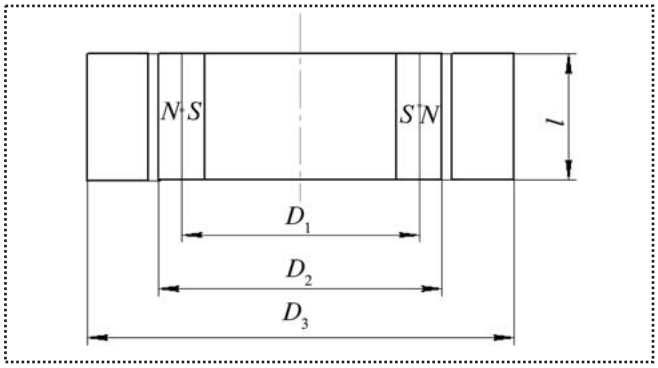


**Рис. 1. Расчетная схема ЭД с ВПМ:**
$D_1 - D_3$, $l$ – геометрические параметры

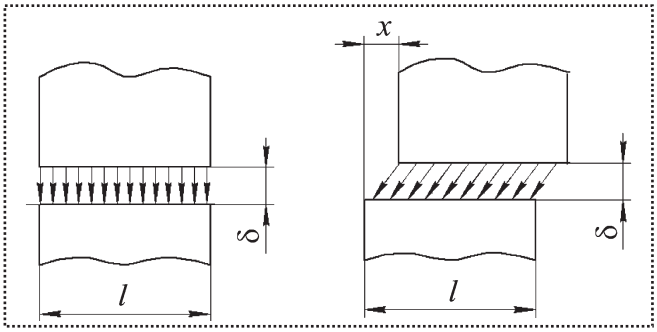


**Рис. 2. Изменение картины магнитного поля в воздушном зазоре ЭД при осевом смещении:**
δ – среднее значение воздушного зазора; *x* – аксиальное смещение

ре и изменению характеристик машин. Магнитная индукция в зазоре может быть определена [4] по формуле

$$B_{\text{м.п}_0} = \frac{B_r}{\left(1 + \frac{\delta_{\text{о.е}} B_r k_\delta}{\mu_0 l'_\text{м} \sigma_0 H_c}\right)\sigma_0}, \qquad (1)$$

где $B_r$ – остаточная магнитная индукция постоянного магнита, $B_r$ = 1,1 Тл;

$\delta_{\text{о.е}}$ – относительный воздушный зазор $\delta_{\text{о.е}} = \frac{2\sqrt{\delta^2 + x^2}}{D_2}$;

$D_2$ – диаметр ротора;

$k_\delta$ – коэффициент, учитывающий зубцы статора;

$\mu_0$ – магнитная проницаемость;

$l'_\text{м}$ – относительная длина силовой линии в воздушном зазоре $l'_\text{м} = \frac{2h_\text{м}}{D_2}$;

$\sigma_0$ – коэффициент, учитывающий рассеивание магнита;

δ – среднее значение воздушного зазора;

*x* – величина аксиального смещения;

$H_c$ – коэрцитивная сила;

$h_\text{м}$ – толщина магнита.

Пропустим промежуточные математические вычисления и представим выражение (1) в виде

$$B_{\text{м.п0}} = \frac{B_r}{\sigma_0 + \frac{B_r k_\delta \sqrt{\delta^2 + x^2}}{\mu_0 h_\text{м} H_c}}. \qquad (2)$$

Полную энергию магнитного поля в зазоре можно представить в виде [5]:

$$W = V \frac{BH}{2}. \qquad (3)$$

где $V$ – объем между статором и ротором (в зазоре).

С учетом, что $H = \frac{B}{\mu\mu_0}$, получим

$$W = V \frac{B^2}{2\mu_0}. \qquad (4)$$

Подставляя выражение (2) в формулу (3), получим:

$$W = \left(\frac{B_r}{\sigma_0 + \frac{B_r k_\delta \sqrt{\delta^2 + x^2}}{\mu_0 h_\text{м} H_c}}\right)^2 \frac{V}{2\mu_0}. \qquad (5)$$

Аксиальные силы, действующие на ротор, можно определить по изменению энергии при смещении на величину *x* в виде

$$F_x = \frac{dW}{dx}. \qquad (6)$$

Тогда получаем:

$$F_x = -\frac{B_r^3 V k_\delta x}{\mu_0^2 h_\text{м} H_c \sqrt{\delta^2 + x^2}\left(\sigma_0 + \frac{B_r k_\delta \sqrt{\delta^2 + x^2}}{h_\text{м} \mu_0 H_c}\right)^3}. \qquad (7)$$

Представленное выражение позволяет определить аксиальные силы при малых смещениях ротора и оценивать действия этих сил на подшипниковые узлы.

По выражению (7) был произведен расчет аксиальной силы в пределе перемещения от 0 до 5,8 мм, с шагом 0,2 мм, и построены зависимости (рис. 3), при этом были использованы следующие параметры ЭД с ВПМ: $D_1$ = 97,7 мм; $D_2$ = 139,2 мм; $D_3$ = = 182,0 мм; $l$ = 42,2 мм; $k_\delta \approx 1{,}8$; $\sigma_0 \approx 1{,}2$; $H_c$ = = 950 000 А/м.

В результате расчетов установлено, что при увеличении смещения на 0,0058 м индукция в рабочем зазоре ЭД с ВПМ снижается на 0,13 Тл, следо-

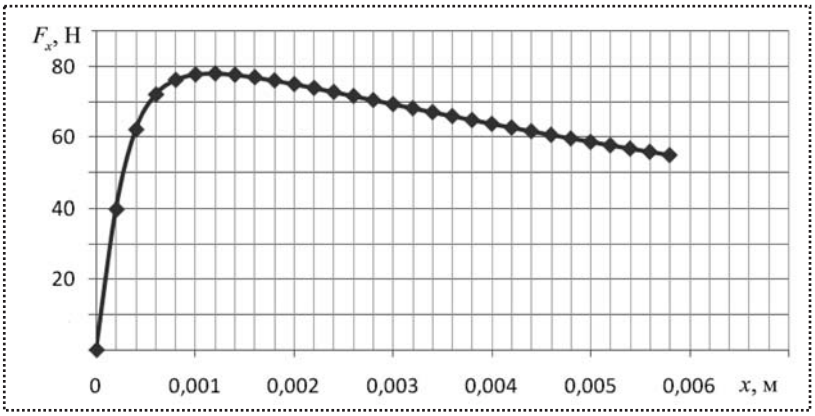


**Рис. 3. Зависимость аксиальной силы $F_x$ от смещения $x$, полученная аналитическим путем**

вательно, при условии, что линейная нагрузка, скорость ротора и геометрические размеры неизменны, можно прогнозировать снижение момента и мощности на 15 %.

Анализ зависимости, представленной на рис. 3, показал, что с увеличением длины магнитных силовых линий аксиальная сила достигает своего максимума при смещении 0,001 м и равна 78,06 Н, затем происходит ее уменьшение. Другими словами аксиальные силы в ЭД с ВПМ имеют при определенном смещении максимальное значение, которое уменьшается с увеличением смещения.

Для проверки полученных теоретических данных значение и распределение магнитной индукции были найдены с помощью программного комплекса *Ansoft Maxwell*. Для этого была создана модель ЭД, в которой производилось осевое смещение ротора относительно статора от 0 до 2 мм с шагом 0,2 мм, при этом с каждым произведенным шагом снималось распределение магнитной индукции в рабочем зазоре. Распределение магнитной индукции в ЭД с ВПМ при отсутствии смещения и смещении 0,2 мм представлены на рис. 4, *а* и *б* соответственно.

По результатам компьютерного моделирования была построена зависимость индукции $B$ в зазоре ЭД с ВПМ от осевого смещения $x$ (рис. 5) и установлено, что относительная погрешность между математическим аппаратом и данными компьютерного моделирования составляет 7 %.

С целью подтверждения теоретических выводов и данных компьютерного моделирования были произведены экспериментальные исследования аксиальных сил в ЭД с ВПМ. Схема установки для экспериментальных исследований представлена на рис. 6.

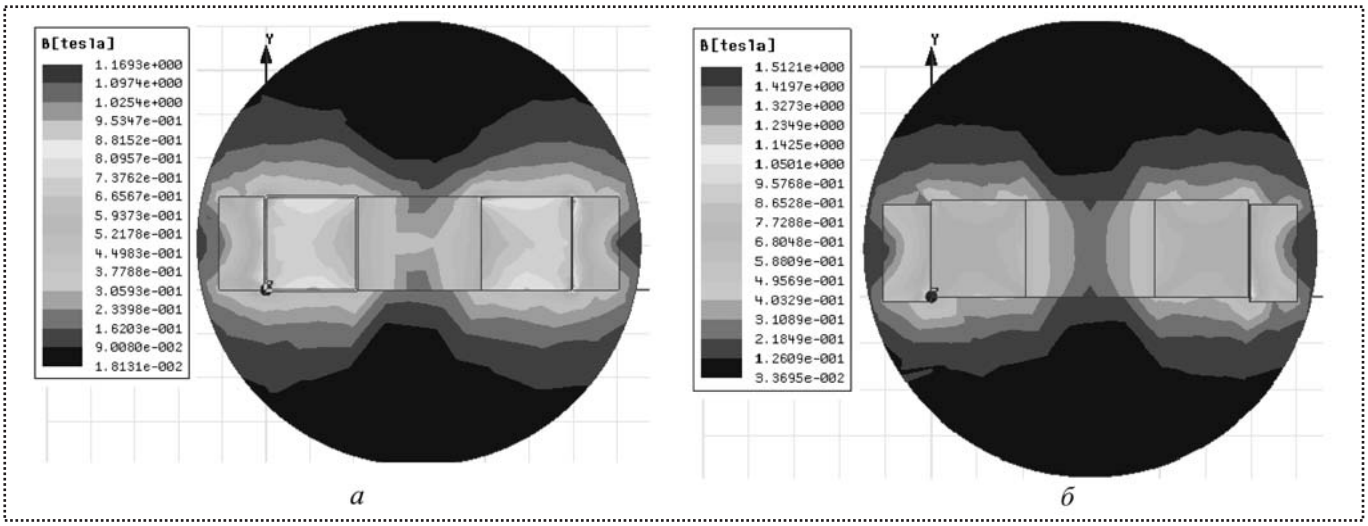


**Рис. 4. Распределение магнитной индукции в рабочем зазоре ЭД с ВПМ при отсутствии смещения (*а*) и смещении 2 мм (*б*)**

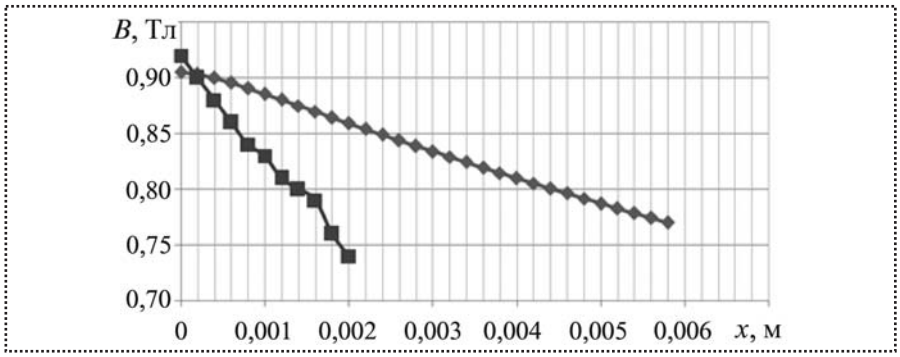


**Рис. 5. Зависимость магнитной индукции *B* в рабочем зазоре ЭД с ВПМ от перемещения *x*:**

—◆— – аналитический расчет; —■— – расчет посредством компьютерного моделирования

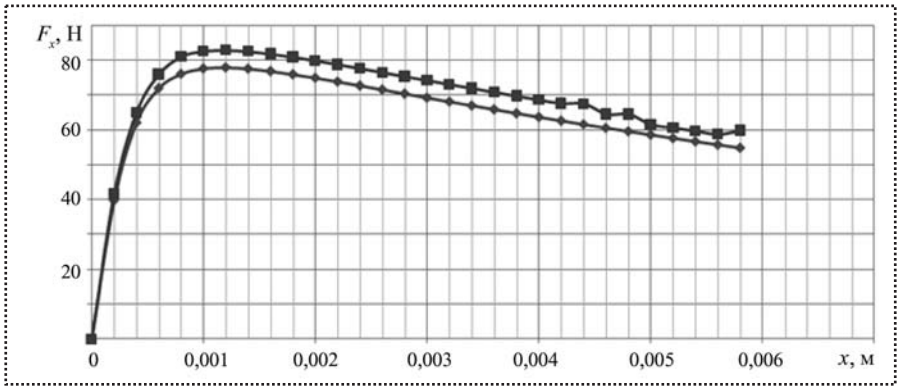


**Рис. 7. Качественная (—■—) и аналитическая (—◆—) зависимости аксиальной силы $F_x$ от смещения *x***

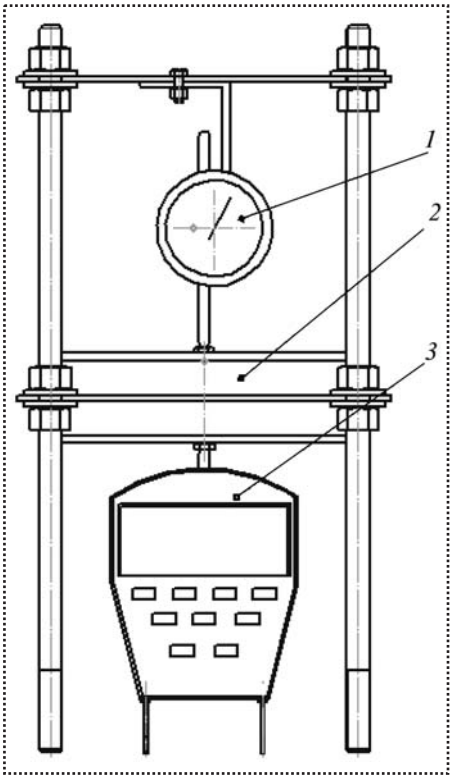


**Рис. 6. Схема экспериментальной установки для исследования аксиальных сил:**
*1* – микрометр для определения значения смещения ротора относительно статора; *2* – ЭД серии ДБМ; *3* – динамометр для определения значения аксиальной силы

Экспериментальная установка работает так, что при смещении ротора по микрометру определяется его значение, а ротор исследуемого ЭД жестко связан с динамометром, по которому снимаются изменения аксиальной силы.

В результате эксперимента была построена качественная зависимость аксиальных сил в ЭД от смещения, так как при аналитической зависимости проявляются значительные погрешности, обусловленные отсутствием у авторов данных об ВПМ, применяемых в исследуемом ЭД (рис. 7).

Если сравнивать качественную зависимость, полученную экспериментальным путем, и аналитическую зависимость аксиальной силы от перемещения, то можно сделать вывод, что их характер одинаков, что свидетельствует о правильности рассуждений.

Таким образом, полученные результаты могут быть использованы на практике при проектировании электродвигателей с высококоэрцитивными постоянными магнитами.

### Библиографический список

1. **Епифанов О.К., Салова И.А., Хрущев В.В.** Трехфазные бесконтактные моментные индукторные двигатели с подмагничиванием постоянным магнитным полем // Электротехника. 2005. № 1. С. 30–38.

2. **Балагуров В.А., Гридин В.М., Лозенко В.К.** Бесконтактные двигатели постоянного тока с постоянными магнитами. М.: Энергия, 1975. 127 с.

3. **Адволоткин Н.П., Гращенков В.Т., Лебедев Н.И.** Управляемые бесконтактные двигатели постоянного тока. Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1984. 160 с.

4. **Ледовский А.Н.** Электрические машины с высокоэрцитивными постоянными магнитами. М.: Энергоатомиздат, 1985. 168 с.

5. **Иванов-Смоленский А.В.** Электромагнитные силы и преобразование энергии в электрических машинах. М.: Высшая школа, 1989. 311 с.

УДК 621.71

**О.В. Спиридонов,** *канд. техн. наук*
*(Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана)*
*E-mail: spir@bmstu.ru*

# Анализ соединений деталей при разработке технологических процессов сборки

*Проведен анализ технических требований, предъявляемых к соединениям деталей при проектировании технологических процессов сборки. Рассмотрены основные виды соединений и особенности их получения.*

*The article is devoted to the analysis procedure of technical requirements imposed on the item link, the design of the assembly process. The main types of connections and features of their receipt.*

**Ключевые слова:** сборка, соединение, технологический процесс, технические требования.

**Keywords:** assembly, joint, process, technical requirements.

Технологический процесс (ТП) сборки изделия представляет собой комплекс действий по соединению деталей, входящих в состав изделия.

В машиностроении используют различные типы соединений: подвижные и неподвижные, разборные и неразборные. По способу создания соединения разделяют на винтовые, шпоночные, сварные, паяные, клеевые и т.д. К соединениям деталей предъявляют различные требования, чаще всего связанные с обеспечением прочности и герметичности.

Выбор вида соединения деталей, используемого в изделии, – прерогатива конструктора. Задача технолога при разработке ТП – обеспечить заданные конструктором технические требования. Для этого необходим всесторонний анализ этих требований.

Технические требования – это не только текст, расположенный в правом нижнем углу чертежа над основной надписью, а вообще вся информация, содержащаяся на сборочных чертежах изделия и его сборочных единиц, на рабочих чертежах деталей, в другой конструкторской документации (КД). К техническим требованиям относят размеры и их допускаемые отклонения, допуски формы и взаимного расположения поверхностей, параметры шероховатости поверхностей, твердость, дисбаланс и многое другое.

В некоторых случаях требования к параметрам изделия не указаны на чертежах в явном виде, но подразумеваются, исходя из анализа условий эксплуатации изделия. Например, требование износостойкости поверхности в сопряжении, подвергающемуся износу в процессе эксплуатации изделия. Для того чтобы определить такие технические требования, технолог должен знать устройство, назначение и условия эксплуатации изготавливаемого изделия.

Анализ технических требований проводят с целью выявления основных технологических задач, на решение которых в первую очередь следует обратить внимание при проектировании ТП. Данный анализ является одним из первых и важнейших этапов проектирования ТП, поскольку технологические задачи, выявленные на его основе, в решающей степени определяют содержание технологического процесса сборки, применяемые технологические методы, средства технологического оснащения (СТО), режимы технологических операций.

Наряду с программой выпуска КД является основной исходной информацией для разработки ТП.

Ошибки, допущенные на этапе анализа технических требований, приводят к существенным и трудноустранимым ошибкам в ТП, потере качества и производительности, неоправданным затратам ресурсов.

При проектировании ТП сборки в ходе анализа технических требований, предъявляемых к сборочной единице, решают две основные задачи:

- выбор технологических методов, оборудования и оснастки для обеспечения заданных технических требований;
- выбор методов проверки обеспечения заданных технических требований с разработкой схем контроля.

В некоторых случаях анализируют также обоснованность назначения технических требований, исходя из эксплуатационных характеристик изделия. Но правильнее будет этот анализ производить на этапе обеспечения технологичности конструкции изделия.

Методы обеспечения технических требований должны быть выбраны с обязательным учетом имеющихся на предприятии соответствующих СТО и работников необходимой квалификации. В противном случае необходимо рассмотреть возможность приобретения СТО или выполнение соответствующих работ на условиях субконтрактации.

Выбор методов проверки по заданным требованиям в первую очередь имеет целью выявление тех требований, контроль которых затруднен или невозможен. В дальнейшем назначенные методы и схемы контроля определяют выбор контрольных инструментов и оснастки, необходимость разработки специальных контрольных приспособлений.

Технологические решения, принятые по результатам анализа КД, соответствующим образом описываются в оформляемой технологической документации (ТД): маршрутных картах, картах технологического процесса, операционных картах и т.д.

Анализ требований к соединениям деталей начинают с выявления всех типов соединений в изделии.

Для цилиндрических ***соединений с натягом*** устанавливают диаметры сопряжений и значения натягов. На основе этих значений и с учетом конструкции изделия и свойств материалов сопрягаемых деталей выбирают методы получения сопряжений: тепловая сборка или запрессовка.

*Тепловая сборка* обеспечивает высокое качество соединения; при ее проведении не повреждаются сопрягаемые поверхности. Этот способ особенно эффективен при больших длинах сопряжений. Тепловую сборку обычно используют при диаметрах сопряжений более 15 мм. При диаметрах от 15 до 40 мм, как правило, тепловому воздействию следует подвергать обе детали. При диаметрах сопряжения более 40 мм следует выбрать деталь, которая будет подвергаться тепловому воздействию. Как правило, удобнее нагревать или охлаждать меньшую из соединяемых деталей.

При проектировании сборочной операции следует рассчитать требуемые температуры, выбрать способ нагрева (охлаждения) и используемые для этого СТО. Следует иметь в виду, что температура нагрева не должна превышать температуры структурных изменений материала детали. Температура охлаждения определяется используемым хладагентом (– 79 °С – сухой лед; –198 °С – жидкий азот). Не рекомендуется использовать охлаждение для деталей из сталей, содержащих остаточный аустенит.

Для обеспечения удобства установки деталей при сборке, при температурах нагрева свыше 150 °С или охлаждении в жидком азоте следует предусмотреть специальную технологическую оснастку для захвата и перемещения детали.

*Запрессовка* может быть использована для получения соединений любого диаметра сопряжения. При проектировании сборочной операции следует рассчитать требуемую силу запрессовки и выбрать СТО для ее обеспечения.

Не рекомендуется использовать этот метод для сборки маложестких деталей. Могут быть также ограничения, связанные с труднодоступностью собираемых деталей для приложения сборочных сил.

Если соединяемые детали имеют отверстия, позволяющие через них при запрессовке подать масло в сопряжение, следует использовать *гидрозапрессовку*.

Для ответственных соединений следует выбрать способ контроля фактического натяга. Наибольшее распространение получил ультразвуковой контроль. В большинстве случаев это потребует введения в ТП специальной контрольной операции.

Для цилиндрических ***соединений с зазором*** определяют диаметры сопряжений и значения зазоров. Сборка таких соединений, как правило, не вызывает трудностей. Следует обратить внимание на соединения с малыми зазорами (менее 0,05 мм). Это может потребовать применения в сборочных операциях специального оборудования и/или оснастки для ориентации и направления собираемых деталей.

Для ответственных соединений следует выбрать способ контроля фактического зазора. Большинство используемых способов (щупом, с помощью свинцовых проволочек и др.) допускают контроль непосредственно на рабочем месте сборщика. Но, при необходимости, в ТП может быть введена и специальная контрольная операция.

Среди ***резьбовых соединений*** в первую очередь выявляют соединения с заданными (контролируемыми) значениями момента или силы затяжки.

Кроме того, выявляют групповые резьбовые соединения (крепление крышек, фланцев и т.п.), которые должны выполнять в определенной последовательности. Также следует обратить внимание на выбранные конструктором способы стопорения резьб.

Наличие резьбовых соединений с требуемыми значениями момента или силы затяжки потребует применения специального сборочного оборудования (гайковерты, винтоверты и т.п.) и/или оснастки (тарированные ключи, устройства для контроля силы затяжки и т.п.). Чаще всего, к сожалению, в конструкторской документации указанные требования отсутствуют. В этом случае не рекомендуется в ТП при описании операции сборки резьбового соединения использовать фразы типа "затянуть до упора", что может привести к разрушению соединения при превышении допустимой силы затяжки или к не обеспечению достаточной плотности стыка. Технолог должен самостоятельно установить требуемые значения. Обычно принимают силу затяжки, равную 70...80 % от максимально возможной для данных параметров резьбового соединения. Исходя из полученного значения, рассчитывают требуемый момент затяжки и выбирают необходимую оснастку.

Для групповых резьбовых соединений при описании операции ТП сборки следует указать оптимальную схему (последовательность) затяжки отдельных элементов.

При указании конструктором стопорения резьбового соединения деформацией металла эта информация, включая необходимую технологическую оснастку (например, кернер и молоток), должна быть отражена в технологической операции. При стопорении соединения с использованием краски, анаэробных клеев и тому подобного в технологической операции должен быть указан используемый материал и его норма расхода.

В ***соединениях с плоскими стыками*** анализируют требования, предъявляемые к контактирующим поверхностям. Для этого могут потребоваться рабочие чертежи собираемых деталей. Определяют необходимость отделочных операций (шабрение, притирка и др.) в проектируемом ТП сборки, выбирают используемые СТО и материалы (притирочные пасты и т.п.) и назначают режим обработки. В ходе выполнения самих операций сборки соединений может потребоваться контроль прилегания поверхностей, например, по краске. Соответственно, в ТД должны быть указаны необходимые материалы (краска, ветошь и т.д.).

Для ***шпоночного соединения*** в первую очередь устанавливают его вид: соединение призматическими шпонками, клиновыми, тангенциальными, сегментными, цилиндрическими шпонками.

Для соединений с призматическими шпонками определяют посадки шпонки в вал и ступицу и устанавливают вид шпонки: закладная, скользящая или направляющая.

Для закладных шпонок устанавливают способ сборки: метод полной взаимозаменяемости или пригонка. В первом случае достаточно выбрать способ запрессовки шпонки в вал, рассчитать необходимую силу запрессовки и выбрать соответствующие СТО для установки шпонки (например, пресс, или специальный молоток, или струбцину) и детали на вал. Во втором случае кроме этого следует выбрать инструмент для пригонки шпонки, а также средства измерения размеров шпонки и шпоночных пазов в вале и ступице. Кроме того, следует иметь в виду, что в условиях единичного производства шпонку не всегда производят заранее как отдельную деталь; иногда ее изготавливают непосредственно в ходе ТП сборки. В этом случае в ТП сборки необходимо предусмотреть эти действия в виде отдельной технологической операции или в составе операции сборки соединения и выбрать необходимые СТО.

При сборке соединений с направляющими и скользящими шпонками для обеспечения необходимого зазора могут потребоваться действия по пригонке шпонки и/или паза ступицы или вала. Соответственно, при проектировании операций следует указать используемые для этого инструменты и средства измерения. Кроме того, при проектировании операции сборки соединений с направляющими шпонками необходимо предусмотреть СТО для завинчивания винтов, крепящих шпонку в вале.

При сборке клиновых и сегментных шпоночных соединений в технологической операции, как правило, следует предусмотреть работы по пригонке шпонок и/или пазов и соответствующие инструменты для этого, а также СТО для запрессовки шпонок и установки детали на вал.

При сборке соединений с сегментными шпонками могут потребоваться действия по изготовлению

шпонки и/или ее пригонке, что необходимо отразить в ТД. Кроме того, необходимо рассчитать силу запрессовки детали на вал и выбрать соответствующие СТО, обеспечивающие, помимо собственно прессования, поворот детали, устанавливаемой на вал при несовпадении пазов вала и ступицы.

При сборке соединений с цилиндрическими шпонками в технологической операции следует предусмотреть обработку (сверление и развертывание) отверстия в стыке после сборки вала и сопрягаемой детали, выбрать необходимые для этого СТО.

Сборка ***шлицевых соединений***, как правило, не вызывает сложных технологических задач.

Наличие ***штифтовых соединений***, как правило, требует в ТП сборки действий по обработке отверстий под штифты, например, развертывания или сверления и последующего зенкерования (развертывания) с предварительной выверкой и фиксацией собираемых деталей. Это может быть выполнено как в отдельной операции, так и непосредственно в ходе операции сборки соединения. В любом случае следует предусмотреть СТО, необходимое для выверки и фиксации деталей, обработки отверстий и установки штифтов. Для цилиндрических штифтов определяют посадки и рассчитывают силы запрессовки.

Для ***сварных соединений*** определяют виды (методы) сварки, предварительно выбирают сварочное оборудование. Использование сложных методов сварки (лазерной, электронно-лучевой, в контролируемой атмосфере и т.п.) потребует введения специальных сварочных операций, в то время как обычная электродуговая сварка, например, может быть выполнена непосредственно на слесарном участке. Определяют потребность в приспособлениях для фиксации свариваемых деталей.

Для ***паяных соединений*** вид и марку используемого припоя устанавливает конструктор. Технолог выбирает способ пайки и соответствующие СТО. Необходимо предусмотреть действия по очистке сопрягаемых поверхностей деталей перед пайкой, лужение поверхностей (при необходимости), выбрать способы и оснастку для взаимной фиксации деталей.

При анализе ***клеевых соединений*** определяют необходимость подготовки поверхностей под нанесение клея, для чего могут потребоваться рабочие чертежи собираемых деталей. Рассматривают необходимость и особенности использования специальных методов нанесения клея и выдержки соединения; выбирают необходимые для этого СТО. Время выдержки клеевого соединения может достигать 24 ч и более, что в значительной мере отразится на структуре проектируемого ТП сборки.

У ***заклепочных соединений*** устанавливают вид и размеры используемых заклепок. В зависимости от этого выбирают необходимые способы клепки. Как правило, в ТП должны быть предусмотрены действия по подготовке отверстий под заклепки (сверление или зенкерование заранее просверленных отверстий), что может потребовать введения специальной операции в ТП сборки. В самой операции по созданию заклепочного соединения необходимо выбрать оснастку для взаимной фиксации деталей, инструмент и/или оборудование для клепки. При использовании горячей клепки следует выбрать способ и оборудование для нагрева заклепок.

Для ***вальцованных соединений*** рассчитывают силу вальцевания. Устанавливают возможные методы вальцовки и необходимость использования специального оборудования и/или оснастки.

Для ***конических соединений*** обращают внимание на плотность посадки и необходимость обеспечения натяга.

Для обеспечения плотности посадки необходимо предусмотреть проверку прилегания сопрягаемых поверхностей, например, по краске. Соответственно, следует в технологической операции сборки предусмотреть наличие необходимых материалов (краска, ветошь), а также, при необходимости, СТО и материалов для пригонки поверхностей.

В неподвижных конических соединениях, как правило, необходимо обеспечить требуемый натяг. Способ обеспечения натяга определяют из конструкции соединения. Натяг может быть обеспечен продольным прессованием или тепловой сборкой. В первом случае рассчитывают требуемую силу прессования и выбирают необходимые СТО. Если же натяг обеспечивается затяжкой резьбового соединения, рассчитывают необходимую силу затяжки и выбирают необходимые СТО.

Тепловую сборку используют для получения больших натягов в соединении. В этом случае рассчитывают необходимую температуру нагрева и/или охлаждения собираемых деталей и выбирают используемые для этого СТО.

УДК 621.822.57-229.3

**В.И. Шаломов, В.С. Виноградов,** *канд-ты техн. наук*
*(Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет)*
*E-mail: seu@knastu.ru*

# Особенности конструкции опытно-промышленного образца шпиндельного узла на газостатических опорах для прецизионных внутришлифовальных станков

*Рассмотрена конструкция опытно-промышленного образца шпиндельного узла на газостатических частично пористых опорах, разработанная в лаборатории высокоскоростных малоразмерных турбин для внутришлифовальных металлообрабатывающих станков. Приведены массовые, геометрические, силовые и скоростные характеристики опытного шпинделя. Представлены некоторые технико-экономические показатели опытного образца, полученные при проведении лабораторных и заводских испытаний.*

*The article concerns the design of the experimental-industrial design of spindle static site partially porous bearings, developed in the laboratory of high-speed small turbines abbreviation stands for internal grinding machine tools. Are massive, geometric, strength and speed characteristics of an experienced spindle. Describes some of the technical and economic characteristics of the prototype obtained in laboratory and production tests.*

**Ключевые слова:** шпиндельный узел, газостатическая опора, опытный образец, пневмопривод, малоразмерная пневматическая турбина, регулятор предельной частоты вращения, входное устройство, шлифование, высокоскоростная обработка.

**Keywords:** spindle unit, gas-static support, prototype, pneumatic actuator, pneumatic turbine these plugs, controller speed limit, input device, polishing, high-speed machining.

Современное высокотехнологическое производство характеризуется жесткими требованиями к точности изделий, которая практически полностью определяется совершенством технологического оборудования. К нему относят высокоскоростные прецизионные металлообрабатывающие станки, эффективность работы которых достигается прежде всего точностью работы шпиндельных узлов. Этот критерий является определяющим при проектировании станков и назначении условий их эксплуатации.

В лаборатории высокоскоростных малоразмерных турбин Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета разработан опытно-промышленный образец внутришлифовального шпиндельного узла (ШУ) на опорах с воздушной смазкой, имеющий в качестве привода встроенную пневматическую турбину.

Конструкция опытно-промышленного образца высокоскоростного ШУ с частично пористыми опорами на газовой смазке показана на рис. 1.

Основными элементами ШУ являются: цанговый захват *1*, корпус *4*, шпиндель *5*, втулка *3*, газостатические подшипники *2* и *6*, рабочее колесо турбины *7*, сопловой аппарат турбины *8*, регулятор предельной частоты вращения *9* и входное устройство *10* с пусковым клапаном *11*.

Корпус ШУ изготовлен длиной 315 мм с внутренним диаметром 70 мм. В нем имеются сверления для подвода сжатого воздуха к газовым подшипникам. Отвод воздуха осуществляется через отверстие диаметром 5 мм. В верхней части со стороны входного устройства размещено окно для выхода отработавшего в турбине воздуха.

Шпиндель имеет длину 300 мм при диаметре 50 мм. В его переднем торце выполнено осевое сверление для установки цангового зажима, которым крепится шлифовальный круг. В передней части заодно со шпинделем выполнена пята упорного газового подшипника.

На противоположном конце шпинделя сделано сверление для установки крестовины и штока регулятора предельной частоты вращения, а также имеется резьба для крепления рабочего колеса турбины диаметром 70 мм.

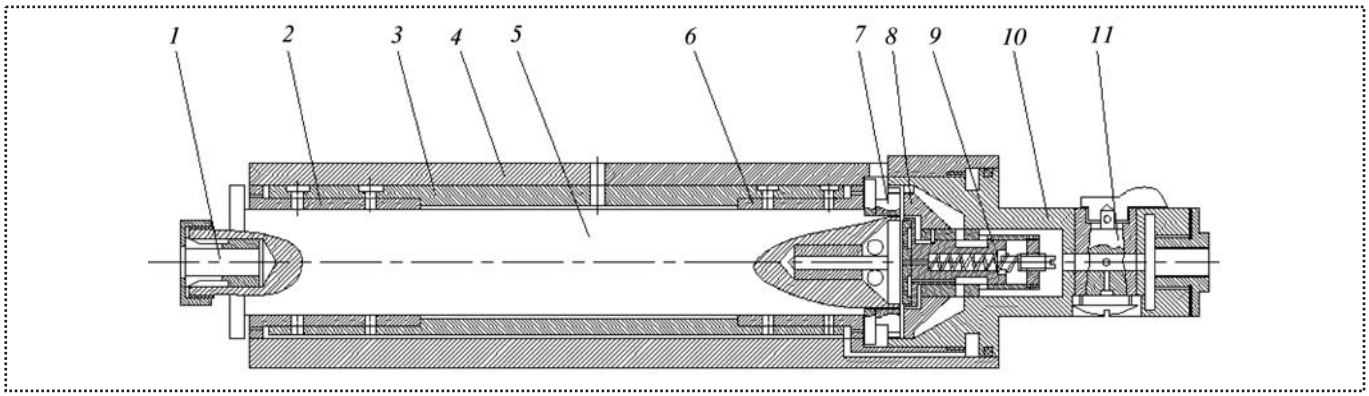


**Рис. 1. Опытный образец шпиндельного узла**

Шпиндельный узел имеет два опорно-упорных газостатических подшипника. Во вкладышах подшипников предусмотрены пористые цилиндрические вставки диаметром 5 мм, которые размещены в два кольцевых ряда по 6 вставок в каждом ряду. Из условия обеспечения максимальной несущей способности зазор между шпинделем и вкладышами подшипников составляет 40 мкм. Один опорный подшипник способен выдержать нагрузку около 90 Н при относительном эксцентриситете $\varepsilon = 0{,}5$.

Осевое усилие воспринимается и передним, и задним подшипниками. Упорные гребни подшипников имеют 16 осевых питающих отверстий, расположенных в одном кольцевом ряду. Диаметр питателей 0,5 мм. Каждый подшипник несет осевую нагрузку около 60 Н.

Вкладыши опорно-упорных газовых подшипников фиксируются в общей втулке на посадочных местах вклеиванием. Для этой цели используют клей на основе эпоксидной смолы. Как показала практика – это соединение надежно в работе и простое по исполнению.

Работает ШУ следующим образом. При подключении его к пневмосети и закрытом пусковом клапане сжатый воздух поступает только на опорно-упорные подшипники, что дает шпинделю возможность "всплыть". С открытием пускового клапана воздух одновременно идет на подшипники и через сопловой аппарат на турбинное колесо, приводя во вращение шпиндель. Отработавший в турбине воздух выходит из ШУ через окно, а воздух из подшипников – через сквозное сверление диаметром 5 мм во втулке и корпусе.

**Привод шпиндельного узла.** Тип привода ШУ в значительной мере определяет уровень возмущающих воздействий в прецизионных станках, которые влияют на точность и качество обрабатываемых деталей. Эксперименты показали [1], что доминирующее влияние на амплитуду основной формы относительных колебаний инструмента и заготовки в таких станках оказывают возмущающие воздействия, передающиеся от электродвигателя через привод на шпиндель. Поэтому для прецизионных ШУ необходим привод, обеспечивающий минимальное перемещение переднего конца шпинделя во всем диапазоне реальных режимов нагружения.

В конструкции опытно-промышленного образца шпинделя в качестве привода используется малоразмерная воздушная турбина. В состав турбины входят рабочее колесо (РК) и сопловой аппарат (СА). Рабочее колесо (рис. 2) осевого типа выполнено диаметром 69,9 мм. Ширина колеса 6 мм, высота лопатки 2,2 мм. В качестве материала для колеса используется дюралюминий Д16Т.

**Рис. 2. Рабочее колесо**

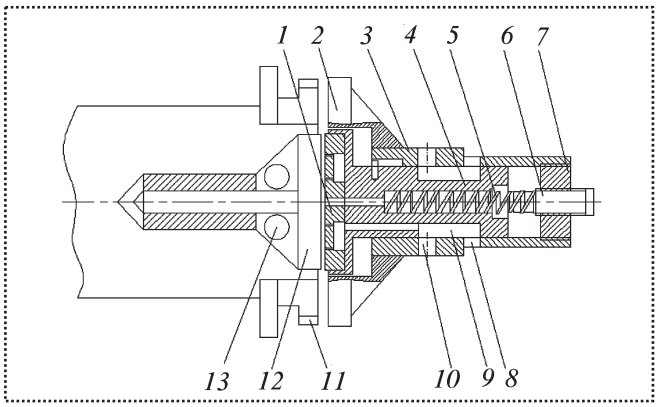


**Рис. 3. Регулятор предельной частоты вращения**

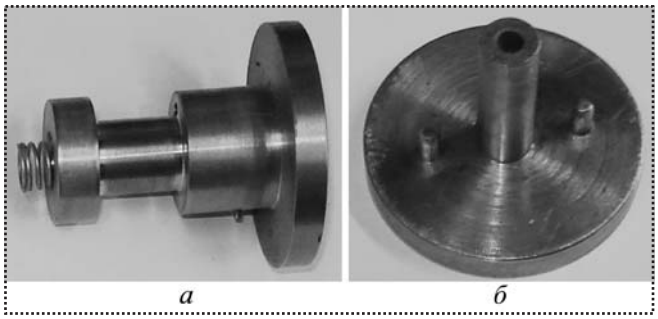


**Рис. 4. Золотник (*а*) и пята (*б*) регулятора**

Сопловой аппарат турбины имеет наружный диаметр 69,5 мм и изготовлен из того же материала, что и турбинное колесо. Высота лопатки СА составляет 2 мм. Число сопел равно 5. Сопловой аппарат вклеивается в корпус входного устройства.

Профили лопаток РК и СА, имеющие сложную геометрическую форму, выполнены с высокой точностью на копировально-фрезерном станке, который разработан и успешно эксплуатируется в лаборатории высокоскоростных малоразмерных турбин КнАГТУ [2].

**Конструкция и принцип работы регулятора предельной частоты вращения шпинделя.** Регулятор предельной частоты вращения спроектирован со встроенной аэродинамической муфтой центробежного типа. Необходимость его использования в высокоскоростном ШУ определяется тем, что при потере регулирования шпиндель может развить чрезмерно большую частоту вращения, что может привести к разрушению шлифовального круга.

Основные требования при проектировании регулятора сведены к следующим: он должен быть быстроходным, малогабаритным, надежным в работе, технологичным и простым. Его основное отличие от регуляторов, применяемых в малооборотных ШУ, состоит в использовании газостатического упорного подпятника, который позволил сделать возвратную пружину регулятора и золотник невращающимися и, тем самым, исключить действие на них центробежных сил. Эскиз регулятора предельной частоты вращения приведен на рис. 3.

Основными деталями регулятора являются: подпятник *1*, корпус золотника *3*, золотник *4*, пружина *5*, регулировочный винт *6*, крышка *7*, пята с наклонными пазами *12*, шарики *13*. Золотник и пята показаны на рис. 4.

Принцип работы регулятора следующий. При открытии пускового клапана входного устройства воздух через сверления *8* в корпусе золотника *3* попадает в камеру *9*. Из камеры отверстия *10* воздух поступает в сопловой аппарат турбины *11* и одновременно к питающим отверстиям газостатического подпятника *1*. В начальный момент золотник *4* находится в положении "открыто" (крайнее левое положение) и между пятой *12* и подпятником *1* образуется смазочный воздушный слой. Когда шпиндель набирает обороты, то на шарики *13* начинают действовать центробежные силы.

В результате этого возникает осевое усилие, которое через смазочный слой передается на подпятник. При повышении оборотов возрастает осевое усилие, действующее на золотник. Достигая определенных оборотов, когда осевое усилие становится больше предварительного натяга пружины *5*, золотник смещается вправо и перекрывает отверстие *10* подвода сжатого воздуха к турбине. После этого обороты турбины падают, что ведет к уменьшению осевого усилия, действующего на золотник, вследствие чего пружина возвращает золотник в первоначальное положение.

**Входное устройство.** Входное устройство предназначено для подвода сжатого воздуха к опорам шпинделя и к турбине. Общий вид и конструкция входного устройства показаны на рис. 5.

Элементами входного устройства являются: корпус *1*, клапан *2*, винт *3*, пусковой рычаг *4*, седло клапана *5*, поронитовая прокладка *6*, гайка *7*, винт *8*, резиновые прокладки *9* и *10*.

Особенностью конструкции входного устройства является наличие пускового клапана повышен-

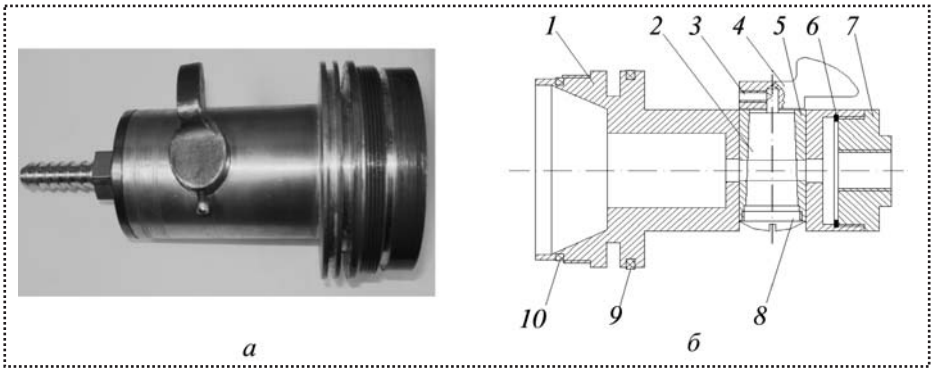


**Рис. 5. Общий вид (*а*) и конструкция (*б*) входного устройства**

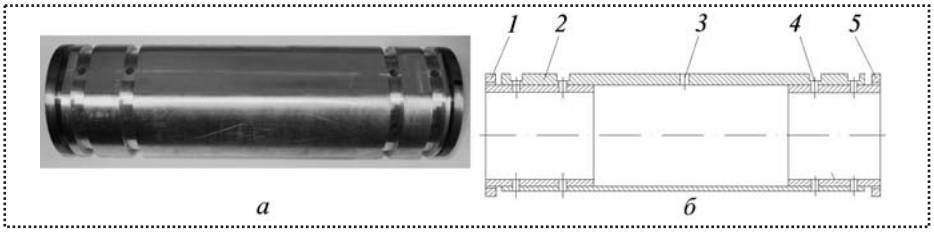


**Рис. 6. Общий вид (*а*) и конструкция (*б*) подшипникового узла**

ной надежности, что достигается дополнительными сверлениями в теле клапана, в частности, осевым, соединяющим сквозное отверстие в клапане с камерой под клапаном, и радиальным, сообщающим канал подвода воздуха со сквозным каналом в клапане. При этом диаметр отверстий меньше диаметра канала подвода сжатого воздуха.

Дополнительные отверстия позволили исключить из конструкции пускового клапана упругий элемент – пружину, снижающую надежность работы клапана в целом. В разработанной конструкции клапана функцию пружины выполняет сжатый воздух, заполняющий камеру между дном клапана и винтом. При заполнении камеры сжатым воздухом образуется упругий слой, воздействующий на конический клапан и удерживающий его в нужном положении в процессе работы ШУ.

**Подшипниковый узел.** Отличительной особенностью устройства подшипникового узла является совмещение в одном вкладыше опорного и упорного подшипников, что заметно снижает металлоемкость и упрощает конструкцию ШУ. Общий вид и конструкция подшипникового узла представлены на рис. 6.

Передний *1* и задний *5* опорно-упорные подшипники крепятся в теле втулки *2* путем вклеивания. На внешней поверхности втулки имеются сверления, проточки и лыска для подвода сжатого воздуха к пористым вставкам *4* опорной части и к дроссельным питающим отверстиям упорной части подшипников. Отверстие *3*, совмещенное с отверстием в корпусе шпинделя, служит для отвода отработавшей газовой смазки в атмосферу.

**Шпиндель.** Внешний вид и конструкция шпинделя представлены на рис. 7. В его состав входят: гайка *1*, цанга *2*, шпиндель *3*, крестовина *4*, шток *5*, пята *6*, направляющая *7*, рабочее колесо турбины *8* и комплект шариков *9*.

Внутренний диаметр цанги для крепления державки шлифовального круга составляет 8 мм. Пята заднего опорно-упорного подшипника съемная. Ее положение на шпинделе фиксируется рабочим колесом турбины, которое накручивается на задний конец шпинделя. Там же в глухом осевом сверлении путем вклеивания крепится крестовина, в осевом отверстии которой по скользящей посадке устанавливается шток.

Для предотвращения прокручивания штока относительно крестовины во время работы ШУ служат две направляющие, которые на скользящей

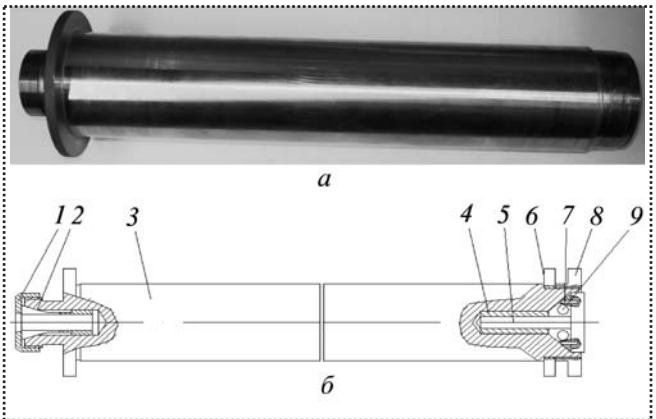


**Рис. 7. Внешний вид (*а*) и конструкция (*б*) шпинделя**

посадке входят в соответствующие отверстия крестовины. Масса шпинделя 4200 г.

Пробные испытания опытного образца пневмошпинделя проведены в условиях лаборатории КнАГТУ и машиностроительного производства ОАО "Амурский судостроительный завод".

При испытании проверяли точность внутришлифовальной обработки производственной детали. Шлифование внутренней поверхности детали осуществляли электрокорундовым кругом 25СТ18К. Материал детали – сталь Х18Н10Т. Пневмошпиндель работал при избыточном давлении наддува сжатого воздуха в газовые опоры 0,5...0,6 МПа и рабочей частоте вращения шпинделя около 55 000 мин$^{-1}$.

Контрольные измерения детали показали: отклонение от круглости составляет не более 0,2 мкм, что соответствует 5, 6 квалитетам точности при шероховатости *Ra* не более 0,04 мкм.

Для сравнения заметим, что достигаемая на ОАО "КнААЗ" точность обработки на металлообрабатывающих станках мод. 3А228, 3К227А, wotan и VOUHARD по типовому процессу высокоскоростной обработки соответствует 7–12-му квалитетам при параметре шероховатости *Ra* = 0,4...1,6 мкм.

При проведении испытаний опытного образца не выявлено серьезных замечаний в работе как газовых опор, так и пневмопривода, что, безусловно, повышает возможности в дальнейшем конструктивном совершенствовании ШУ.

**Библиографический список**

1. **Космынин А.В., Виноградов В.С.** Газовые подшипники высокоскоростных турбоприводов металлообрабатывающего оборудования. Владивосток: Дальнаука, 2002. 327 с.

2. **Виноградов В.С., Космынин А.В.** Малоразмерные турбины с опорами на газовой смазке. Владивосток: Изд-во Дальневост. ун-та, 1998. 145 с.

# Читайте в следующем номере:

◈ **Ирзаев Г.Х., Адамов А.П.** Оценка влияния конструктивной преемственности на технологичность электронных приборов

◈ **Авцинов И.А., Кристаль М.Г., Маликов Д.Ю.** Классификация устройств с газовой несущей прослойкой

◈ **Байнева И.И., Байнев В.В.** Установка для исследования и измерения аберрационных характеристик отражательной оптической системы

◈ **Денисов Ю.В., Капленко М.В.** Математическое моделирование при сборке прецизионных датчиков ускорения

◈ **Ламин И.И.** Укрупненный метод проектирования технологических процессов сборки изделий в автостроении

◈ **Щенятский А.В., Чухланцев Е.С.** Экспериментальная оценка нагрузочной способности поликонтактных неравножестких соединений с натягом

УДК 622.242

**Ю.А. Лагунова,** *д-р техн. наук,* **А.Е. Калянов**
*(Уральский государственный горный университет)*
*E-mail: yu.lagunova@mail.ru*

# Применение гидропневмоаккумуляторов в горных машинах*

*Рассмотрены конструкции горного оборудования как для открытых, так и подземных горных работ, в которых использованы гидропневмоаккумуляторы. Показано что применение гидропневмоаккумуляторов обеспечивает существенное снижение энергоемкости рабочих процессов и повышает производительность горных машин – буровых установок, погрузчиков, дробилок, гидромолотов и др.*

*The construction of mining equipments for both open and underground mining operations, which use hydro-pneumatic accumulators was describes. It is shown that the use of hydro-pneumatic accumulators for lower power consumption and increases workflow productivity mining equipment – drilling rigs, loaders, crushers, hammers, etc.*

**Ключевые слова:** применение гидропневмоаккумуляторов, привод буровой установки, секция механизированной крепи, горный комбайн, гидромолот, скрепер, погрузчик, шагающий драглайн, конусная дробилка.

**Keywords:** application hydro-pneumatic accumulators, drive drilling rig, powered support section, mining machine, hammer, scraper, loader, walking dragline, cone crusher.

## Карьерный автотранспорт

На Лебединском ГОКе для транспортировки руды из карьера на промежуточные перегрузочные площадки применяют автомобили-самосвалы. Во второй половине 1960-х гг. это были автомобили БелАЗ-540 и -548 грузоподъемностью соответственно 27 и 40 т. Через полтора десятилетия пришла очередь 42-тонных БелАЗ-7548. В 1981 г. в карьере стали работать японские 120-тонные грузовики Komatsu HD1200, к которым в 1986 г. прибавилась еще партия таких же машин. В 1988–1990 гг. настал черед отечественных БелАЗ-75191, каждый из которых мог везти 110 т. Последние автомобили Komatsu поступили в 1991–1992 гг. В 1996 г. появились американские машины Haulpak 510E (ныне марка принадлежит Komatsu) грузоподъемностью 120 т [6].

В карьерных самосвалах, в отличие от классических, используется подвеска с пневмогидравлическими упругими элементами и встроенным регулятором жесткости. Нелинейная упругая характеристика подвески обеспечивает необходимую плавность хода самосвала в груженом и порожнем состояниях.

На всех автомобилях применяется гидравлическое управление, особенность которого – наличие гидроаккумулятора, обеспечивающего работоспособность рулевого управления при выходе из строя насоса или двигателя самосвала. Передние колеса поворачивают два силовых гидроцилиндра двустороннего действия, дозированную подачу рабочей жидкости в которые обеспечивает следящая система.

Гидросистема рулевого управления объединена с гидросистемами подъема кузова и тормозной системой. Хорошим подспорьем на БелАЗах и Haulpak является система централизованной смазки подшипников рулевых тяг и реактивных штанг Lincoln.

Для обеспечения безопасности карьерные самосвалы оборудованы четырьмя тормозными системами – рабочей, вспомогательной, стояночной, запасной (аварийной). На машинах с полезной нагрузкой 120...130 т нашел применение гидравлический привод. Рабочие и запасные тормозные системы самосвалов выполнены с раздельным приводом для передних и задних колес. Для каждого из контуров предусмотрены отдельные аварийные гидроаккумуляторы.

Нормальная работа тормозной системы карьерного самосвала возможна лишь при наличии вспомогательной тормозной системы, которая обеспе-

* Окончание. Начало см. в № 12 за 2013 г.

чивает замедленное движение грузовика под уклон и разгружает основную рабочую систему.

### Выемочно-транспортирующие машины

*Скрепер* включает базовый одноосный тягач [7], ковш с ножом, заслонкой, задней стенкой, гидромеханизмы переднего и заднего подъема-опускания ковша, подъема-опускания заслонки, разгрузки ковша, промежуточную раму между задней осью колес и ковшом, тяговую раму с продольными балками, два толкающих гидроцилиндра, два двуплечих рычага на задней оси, гидроаккумуляторы питания заднего гидромеханизма подъема-опускания и толкающих гидроцилиндров.

На продольных балках тяговой рамы по обе стороны ковша с ориентацией в вертикальной плоскости центра удара ковша при падении установлено по одному кронштейну с нижними уступами, а на боковых стенках ковша сверху, с ориентацией также в вертикальной плоскости центра удара, установлены выступы, на которых размещены демпфирующие гидроцилиндры с поршнями и штоками с возможностью контакта штоков демпфирующих гидроцилиндров при падении ковша с нижними уступами кронштейнов, при этом полости корпусов демпфирующих гидроцилиндров соединены гибкими трубопроводами с полостями корпусов вспомогательных гидроцилиндров, размещенных рядом и параллельно толкающим гидроцилиндрам и на пальцах шарниров крепления толкающих гидроцилиндров. Повышается надежность и увеличивается эффективность работы скрепера.

Технической задачей, на решение которой направлено изобретение [7], является повышение надежности, снижение потерь энергии, а следовательно, увеличение эффективности работы скреперов.

Поставленная задача достигается тем, что на продольных балках тяговой рамы по обе стороны ковша с ориентацией в вертикальной плоскости центра удара ковша при падении установлено по одному кронштейну с нижними уступами, а на боковых стенках ковша сверху, с ориентацией также в вертикальной плоскости центра удара, установлены выступы, на которых размещены демпфирующие гидроцилиндры с поршнями и штоками с возможностью контакта штоков демпфирующих гидроцилиндров при падении ковша с нижними уступами кронштейнов. При этом полости корпусов демпфирующих гидроцилиндров соединены гибкими трубопроводами с полостями корпусов вспомогательных гидроцилиндров, размещенных рядом и параллельно толкающим гидроцилиндрам и на пальцах шарниров крепления толкающих гидроцилиндров (рис. 11).

Скрепер работает следующим образом. Зарядку гидроаккумуляторов *4* осуществляют при спусках или движении по дорогам низкого качества, когда всю мощность двигателя исходя из соображений безопасности невозможно реализовать в скорость движения. Процесс копания начинают с подъема заслонки *12* с помощью гидромеханизма *13*. Одновременно с помощью переднего гидромеханизма *1* подъема-опускания переднюю часть ковша *2* опускают вниз, ножи *11* входят в грунт и начинают срезать стружку, которая поступает внутрь ковша. Когда ковш частично заполнен и дальнейшее продвижение грунта внутрь ковша затруднено, в работу включают задний гидромеханизм *8* подъема-опускания ковша, который периодически подключают к гидросистемам скрепера или гидроаккумуляторов *4*.

В этой стадии заполнения ковша гидромеханизм *8*, подключаясь к гидросистеме гидроаккумуляторов *4* (электрогидравлическая схема управления работой заднего гидромеханизма не показана), под давлением гидравлической жидкости, поступающей из гидроаккумуляторов в бесштоковую полость гидроцилиндров заднего гидромеханизма *8*, заставляет совершать резкое (импульсное) падение ковша *2* вниз с ускорением движения задней части ковша не менее ускорения свободного падения.

При таком импульсном движении ковша вниз и одновременном поступательном движении скрепера вперед, грунт, заполнивший ковш, зависает над днищем, что способствует уменьшению сопротивления продвижению его в сторону задней стенки *9*. Одновременно с импульсным движением ковша вниз к системе гидроаккумуляторов *4* подключают бесштоковые полости толкающих гидроцилиндров *5*, при этом жидкость из гидроаккумуляторов создает импульс силового воздействия через штоки гидроцилиндров, двуплечие рычаги *6*, промежуточную раму *7* на ковш *2*, который проходит вперед, опережая скорость движения скрепера. При таком импульсном движении ковша вперед возникают условия для ускоренного движения грунта внутрь ковша.

Далее заднюю часть ковша снова поднимают с помощью гидромеханизма *8*, при этом гидромеха-

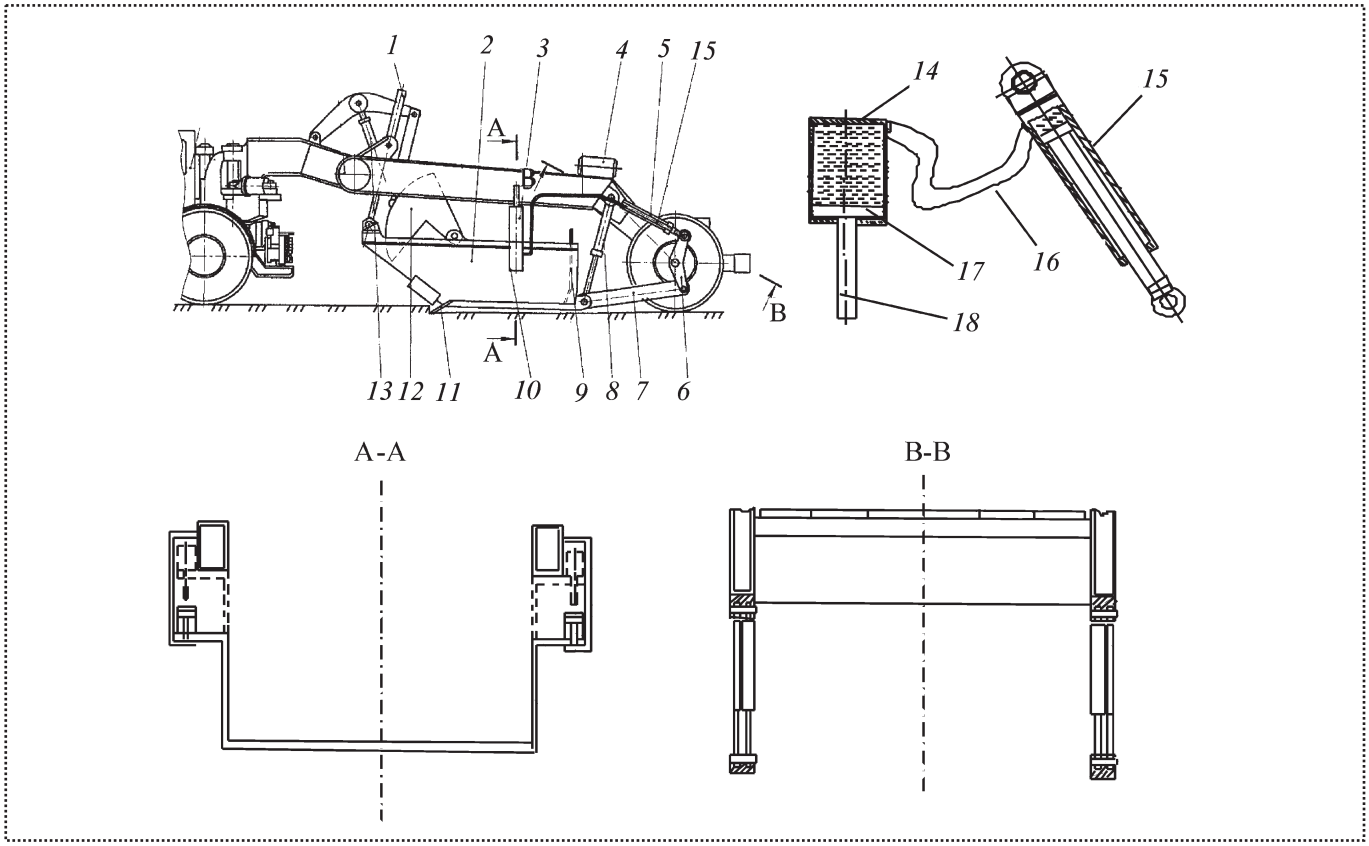


**Рис. 11. Схема устройства рабочего оборудования скрепера**

низм *8* и толкающие гидроцилиндры *5* подключают к гидросистеме скрепера, а их штоки входят внутрь корпусов. Затем циклы повторяют до полного заполнения ковша грунтом.

При каждом падении задней части ковша штоки *18* демпфирующих гидроцилиндров *14* входят в упор с нижними уступами *10* кронштейнов *3* и снижают ударную нагрузку на задние гидромеханизмы *8* подъема-опускания ковша. В этом случае поршни *16* демпфирующих гидроцилиндров *14* вытесняют гидравлическую жидкость из полостей демпфирующих гидроцилиндров и через гибкий трубопровод *16* подают её в бесштоковые полости вспомогательных гидроцилиндров *15*, при этом происходит сложение усилий на штоках вспомогательных гидроцилиндров *15* с усилиями на штоках толкающих гидроцилиндров *5* и импульс движения ковша вперед значительно возрастает.

Происходит своего рода рекуперация энергии падающего ковша в энергию подачи его вперед. После окончания процесса копания гидромеханизмом подъема-опускания *13* и заслонкой *12* закрывают ковш. С помощью переднего *1* и заднего *8* гидромеханизмов подъема-опускания ковш *2* переводят в транспортное положение. Разгрузка ковша проходит принудительным способом с помощью задней стенки *9*.

В результате может быть достигнуто снижение динамических нагрузок на штоки гидроцилиндров заднего гидромеханизма подъема-опускания ковша и, тем самым, повышение надежности машины, а также снижение потерь энергии и увеличение эффективности работы скреперов.

*Одноковшовый колесный погрузчик* представляет собой самоходную погрузочно-транспортирующую машину, оборудованную навесным рабочим оборудованием – шарнирно закрепленным ковшом на стреле. Ковш разгружается через переднюю режущую кромку, отсюда и название такого вида погрузчиков – фронтальные.

Колесные погрузчики успешно конкурируют с карьерными экскаваторами с ковшом вместимостью от 4 до 20 м$^3$ и более при разработке сыпучих грунтов, в том числе хорошо взорванных скальных пород. Погрузчики в отличие от экскаваторов работают и в качестве основного погрузочного обору-

дования, и в качестве погрузочно-доставочного оборудования с эффективной дальностью транспортировки до 500 м. С каждым годом растет доля этих универсальных машин среди прочего карьерного транспорта.

Конструкция рабочего оборудования фронтального погрузчика не приспособлена для разработки плотных и связных грунтов и не позволяет использовать их в качестве замены карьерных экскаваторов в тяжелых забоях.

Базовые машины погрузчиков компонуют в основном по четырехколесной схеме со всеми ведущими колесами, рама выполнена шарнирно сочленённой и состоит из двух секций. Такая "ломаная" схема позволяет добиться наилучшей маневренности машины. Трансмиссия может быть гидромеханической или гидростатической, существуют и дизель-электрические схемы. Все рабочее оборудование современных погрузчиков производят с гидравлическим приводом.

Погрузчики Volvo характеризуются наличием значительного запаса мощности базовой машины, что позволяет широко варьировать размеры ковшей. Гидромеханическая трансмиссия включает одноступенчатый гидротрансформатор. Электронное управление всей системой силовой передачи способствует наилучшему согласованию работы основных узлов погрузчика. Передний неподвижный мост оснащают полной блокировкой дифференциала. Задний мост погрузчика качающегося типа (угол качания ±15°), оба моста с литыми стальными корпусами и разгруженными полуосями. Планетарные бортовые редукторы встроены в ступицы колес. Дисковые тормоза мокрого сцепления с масляным охлаждением саморегулируются. Система Cotronic контролирует эффективность, температуру и износ тормозов. Привод гидравлический от двухконтурной тормозной системы Volvo с азотными гидроаккумуляторами. При торможении можно отключать трансмиссию с помощью переключателя на панели приборов.

Гидросистема с авторегулированием производительности по нагрузке включает гидроаккумуляторы и сервоприводы органов управления. Главных регулируемых аксиально-поршневых насосов два. Один из насосов в процессе работы обеспечивает привод гидроцилиндров механизма поворота [8].

## Экскаваторы с рабочим оборудованием драглайн

На открытых горных работах шагающие экскаваторы – драглайны традиционно используют для перевалки горных пород при производстве вскрышных работ, на отвалах, при проходке траншей. Рабочее оборудование драглайна наилучшим образом приспособлено для переэкскавации за счет значительных радиусов черпания и разгрузки, возможности отработки уступа как нижним, так и верхним черпанием.

Основным вскрышным экскаватором на современных мощных разрезах и карьерах является экскаватор ЭШ-20.90 (производства ОАО "Уралмашзавод") с трехгранной вантовой стрелой, оборудованный гидравлическим механизмом шагания, с одинаковой схемой подъемной и тяговой лебедок. В последнее время пользуется спросом экскаватор ЭШ-40.85.

Существуют сложности использования драглайна для загрузки транспорта. Исключение составляют машины типов ЭШ-6.45, ЭШ-13.50, ЭШ-14.50: при определенной квалификации машиниста длина стрел этих экскаваторов позволяет загружать карьерные автосамосвалы без серьезных просыпей. А когда речь заходит о машинах с длиной стрелы 60...70 м и более, возникают трудности из-за протяженной зоны разгрузки ковша.

Интересное решение предлагают разработчики P&H MinePro [9]. Они решили полностью отказаться от традиционной схемы подвески ковша и ввели дополнительный поддерживающий канат, запасованный через головные блоки стрелы и служащий для управления ориентацией ковша в пространстве – это Universal dragline system (UDS). Подъемный канат закреплен на арке ковша, поддерживающий крепится к задней части корпуса ковша.

Для разгрузки ковш фиксируется в нужном месте, тяговая и подъемная лебедки останавливаются, а поддерживающий канат приподнимает ковш за заднюю стенку, наклоняя его. Такое исполнение позволяет разгружать ковш в обширной зоне подстрелового пространства, в том числе производить качественную загрузку транспортных сосудов на средних и дальних радиусах. Синхронизация главных приводов, а именно подъемного и поддерживающего канатов, обеспечивается бортовым компьютером.

Впервые система была испытана на BHP Billiton Mitsubishi's (BMA) Peak Downs на драглайне BE 1370 (Central Queensland, Австралия). В сложных горно-геологических условиях этого предприятия был достигнут прирост производительности драглайна на 27 %. Не имея четких данных о работе и условиях применения, трудно объяснить, чем обусловлен такой прирост производительности. В любом случае возможность избирательно выгружать горную массу добавляет новые возможности для экскаватора в части формирования того же отвала, что и было с успехом применено в Австралии.

Альтернативный вариант модернизации драглайнов разработан в ИГД им. А.А. Скочинского. Создано и прошло испытания устройство прицельной погрузки (УПП), которое позволяет существенно расширить показатели экскаватора при минимальной его переделке. Испытательный образец УПП изготовлен применительно к ЭШ-10.70, монтаж всей системы занял 4 недели, хотя фактически продолжительность монтажа, т.е. без учета организационных простоев, составила одну неделю. УПП включает в себя гидроцилиндр, маслостанцию с гидроаккумуляторами, разгрузочный канат и съемный конусный барабан.

Разгрузочный канат крепится к траверсе упряжи ковша, барабан разгрузочного каната устанавливают на барабан тяговой лебедки, т.е. самостоятельный привод для разгрузочного каната не нужен. В процессе экскавации разгрузочный канат наматывается на барабан синхронно с тяговым канатом.

Для принудительной разгрузки ковш фиксируют над транспортным средством, тяговая и подъемная лебедки останавливаются, а разгружающий канат подтягивается мощным гидроцилиндром. Траверса смещается по направлению к кузову экскаватора, высвобождая тем самым опрокидывающий трос и обеспечивая наклон ковша до момента полного опорожнения.

При работе в отвал гидроцилиндр работает в следящем режиме, выбирая излишнюю слабину разгружающего каната. Система очень проста и относительно надежна, не требует значительных затрат на изготовление и монтаж, может успешно применяться на всех карьерных драглайнах с ковшами вместимостью до 20 м$^3$. Принудительная разгрузка по этой схеме более тяжелых ковшей приводит к многократному увеличению усилий в системе подвески ковша, требует увеличения хода гидроцилиндра, мощности маслостанции.

## Гидравлический экскаватор

Механизмы с гидроцилиндрами обеспечивают снижение металлоемкости по сравнению с механизмами, включающими гидромоторы и механические передачи, но в то же время имеют ряд недостатков, связанных с горизонтальным расположением гидроцилиндров – повышенный износ уплотнений, сложность обслуживания и ремонта. Для устранения этих недостатков предложен механизм поворота с вертикальными гидроцилиндрами [10].

Такое исполнение может обеспечить возможность применения средств механизации при обслуживании и быструю замену вышедших из строя элементов. Одновременно вертикальное расположение на платформе гидроцилиндров позволит уменьшить износ уплотнений. Преобразование усилия от поршня гидроцилиндра в движущий момент осуществляется при помощи опорных роликов и тяг или опорных и направляющих роликов и жестких направляющих, укрепленных на поворотной платформе. Такая конструкция механизмов поворота позволит исключить венцовую пару – один из ненадежных элементов передаточных механизмов экскаватора.

Для механизма поворота с тягами по мере выдвижения штоков меняются углы между тягой, гидроцилиндром и поворотной платформой, что приводит при прямолинейной рабочей поверхности зуба и неизменном усилии со стороны штока к изменению движущего момента, действующего на поворотную платформу. Стабильность окружного усилия на всем ходе штока для этого механизма может быть обеспечена специальным профилем рабочей поверхности зуба, что несколько усложнит процесс изготовления зубчатого венца. Подключение гидроцилиндров к напорной и сливной гидролиниям может осуществляться как через отдельные для каждого гидроцилиндра распределители с управлением по положению штока, так и через один общий с управлением по положению платформы относительно нижней рамы.

Из рассмотренных гидроприводов механизмов поворота наиболее экономичными по энергозатратам являются насосно-аккумуляторные, но они имеют также и указанные недостатки. Для исключения перечисленных недостатков разработаны соответствующие схемы гидроприводов.

Вместимость гидроаккумулятора в этих приводах определяется только из условия обеспечения разгона платформы до заданной скорости, поворот после разгона обеспечивается энергией жидкости, подаваемой насосом. Регулирование скорости поворота обеспечивается применением регулируемых насосов или применением совместно с нерегулируемым насосом переливного клапана, настроенного на давление, пропорциональное статическим сопротивлениям повороту, и подключаемого на выход насоса при достижении требуемой скорости с одновременным отключением гидроаккумулятора [10]. Потери энергии при последнем способе регулирования, ввиду малого момента статических сопротивлений по сравнению с движущими при разгоне будут небольшими.

Затраты энергии в предлагаемых приводах будут минимальны за счет практически полной рекуперации энергии при торможении поворотной платформы через гидроаккумулятор. Обеспечивается также значительное уменьшение мощности приводного двигателя насосов за счет того, что разгон платформы происходит за счет энергии жидкости, запасенной в гидроаккумуляторе при торможении. Привод обеспечивает только восполнение потерь энергии в механизме и опорно-поворотном устройстве.

Применением одного многосекционного или нескольких гидромоторов обеспечивается равенство ускорений разгона и торможения платформы.

Сущность работы приведенных гидроприводов заключается в том, что применение гидроаккумулятора позволяет уменьшить потребление энергии на поворот платформы гидроэкскаватора, а также установить насосы меньшей производительности.

### Конусная дробилка мелкого дробления

Рабочее усилие прижатия дробильной чаши к станине создается штоковыми полостями гидроцилиндров. Каждый гидроцилиндр соединен со своим аккумулятором. Аккумуляторы поддерживают давление в цепи гидроцилиндров после отключения насоса гидроагрегата.

При попадании в камеру дробления недробимого тела толщиной больше ширины разгрузочной щели на закрытой стороне, но меньше ширины разгрузочной щели на открытой стороне дробилка должна пропускать его без остановки – происходит амортизация, т.е. односторонний подъем дробимой чаши. При этом ход всех поршней будет пропорционален проекции расстояния от гидроцилиндра до точки поворота дробильной чаши относительно станины (наибольший ход со стороны недробимого тела) на ось "недробимое тело – точка поворота". При подъеме дробильной чаши часть масла из гидроцилиндров усилием дробящего конуса вытесняется в гидропневмоаккумуляторы, а затем, после окончания амортизации, под воздействием избыточного давления в аккумуляторах возвращается обратно.

При попадании недробимого тела толщиной больше ширины разгрузочной щели на открытой стороне происходит несколько циклов амортизации с зажатым недробимым телом. Главный привод перегружается и после нескольких циклов перегрузки должен остановиться. При остановке привода по причине перегрузки от срабатывания системы амортизации последняя должна быть разгружена путем слива масла в бак гидроагрегата.

В случае утечки масла, т.е. падении давления в цепи гидроцилиндров до заданного реле давления должно включить насос и восстановить давление, после чего насос отключается. Если давление в гидроцилиндрах не будет автоматически восстановлено и упадет ниже заданного, должно сработать реле давления, которое дает сигнал на отключение главного привода.

При остановке дробилки под нагрузкой вследствие попадания крупного недробимого тела из-за отключения электроэнергии или перегрузки по питанию камеру дробления заваливает дробимым материалом. Для очистки камеры дробления от завала или недробимого тела необходимо: снять давление с гидроцилиндров прижатия дробильной чаши; подать давление в поршневую полость гидродомкратов разгрузки от недробимых тел; поднять дробильную чашу на заданную величину; после разгрузки камеры дробления опустить дробильную чашу в рабочее положение за счет подачи давления в штоковую полость гидродомкратов; восстановить усилие прижатия чаши путем создания в штоковых полостях гидроцилиндров прижатия чаши рабочего давления.

Предлагаемая принципиальная гидравлическая схема системы прижатия имеет вид, показанный на рис. 12.

Для доведения давления в гидропневмоаккумуляторе ПГА до рабочего гидрораспределитель Р1

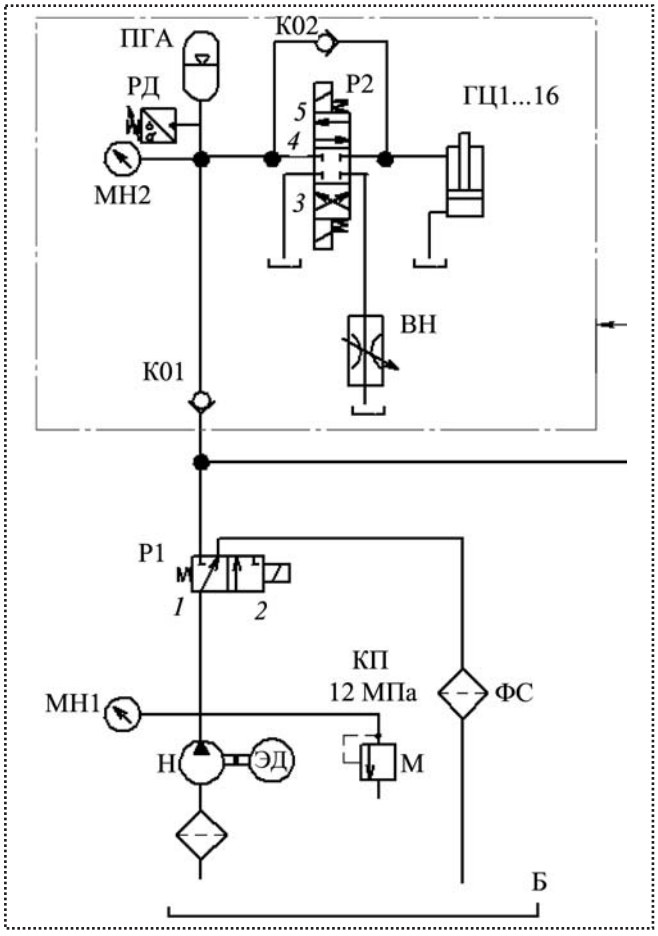


**Рис. 12. Принципиальная гидравлическая схема системы прижатия дробильной чаши к станине**

переключают в положение *2*. Жидкость от насоса Н подается через обратные клапаны КО1 в гидропневмоаккумулятор ПГА и увеличивает в нем давление до рабочего, после чего сработает предохранительный клапан КП, распределитель Р1 переключится в положение *1*, насос Н останавливается.

Поджатие чаши обеспечивают 16 гидроцилиндров ГЦ1–ГЦ16 давлением жидкости, подаваемой в штоковую полость из 16 пневмогидроаккумуляторов ПГА через гидрораспределитель Р2, находящийся в положении *5*.

При попадании недробимого тела подвижный конус начинает отклонять чашу, при повороте чаши начнут перемещаться штоки гидроцилиндров ГЦ, жидкость из штоковой полости вытесняется в гидроаккумуляторы ПГА через гидрораспределитель Р2, находящийся в положении *5*. Для исключения аварийной ситуации параллельно Р2 установлен обратный клапан КО2, через который жидкость, при попадании недробимого тела, будет поступать в ПГА в случае, если по каким-либо причинам Р2 не переключится в положение *5*. Подача жидкости от ГЦ в ПГА приведет к повышению в нем давления.

При повышении давления в ПГА сигналом с реле давления РД гидрораспределитель Р2 переключится в среднее положение *4* и обеспечит паузу для пропуска недробимого тела, когда конус начнет отходить от чаши. После паузы Р2 снова переключится в положение *5* и прижмет чашу, если недробимое тело покинет зону дробления. Формирование паузы и переключение распределителей обеспечивается электронной системой управления.

Если давление в аккумуляторе после заданного интервала времени не снижается до рабочего значения, т.е. недробимое тело не покинуло зону дробления и чаша не опустилась в исходное положение, то система управления вырабатывает сигнал для переключения гидрораспределителя Р2 в положение *3*. При этом жидкость из аккумулятора сливается в бак, штоковая полость гидроцилиндров ГЦ соединяется со сливом. Одновременно переключаются распределители гидродомкратов разгрузки (на схеме не показаны) и происходит подъем чаши. Гидроцилиндры ГЦ не будут препятствовать подъему, так как их штоковые полости соединены со сливом. Установка дросселя ВН уменьшает скорость течения жидкости при разгрузке гидроаккумулятора, это позволит уменьшить удары поршня аккумулятора и вспенивание жидкости в баке.

### Конусная дробилка Parker Plant

Существует четыре типоразмера дробилок фирмы Parker с диаметром конуса 900, 1200, 1350 и 1500 мм и производительностью от 55 до 900 т/ч [12]. Особенностью этих дробилок является наличие трех гидросистем, дополняющих друг друга и взаимодействующих между собой. Гидросистема регулирования рабочего зазора дробилки Parker позволяет изменять под нагрузкой рабочий зазор от минимального до максимального значения за несколько секунд. Автоматическое включение гидросистемы защиты дробилки Parker от перегрузок происходит, когда в дробилку попадает недробимый материал, например, кусок железа. При попадании недробимого предмета, размер которого больше рабочего зазора дробилки, давление жид-

кости в гидроцилиндрах системы защиты от перегрузки превышает давление в камере гидравлического регулятора, заполненной сжатым азотом. Газ сжимается, позволяя подняться верхнему конусу и пропустить недробимый предмет или негабаритный кусок материала.

Применение гидросистем защиты Parker от недробимого материала и регулировки зазора, а также применение определенных типов дробящих накладок позволяет использовать эти дробилки в качестве среднего и мелкого дробления самых различных материалов.

В отличие от дробилок других производителей на дробилках Parker Plant устанавливают три гидропневматических регулятора, каждый из которых связан со своей парой цилиндров. Такая схема позволяет приподнимать только ту часть конуса, в которую попал недробимый элемент, и уменьшить количество недробленного материала, прошедшего через дробилку.

Комбинированная гидросистема (комбинация систем регулировки зазора и защиты от перегрузки) предназначена для очистки рабочей полости дробилки. Дробилку нельзя запустить, если в ее рабочей полости находится материал. Очистка рабочей полости дробилок с пружинной системой защиты от перегрузок связана с необходимостью механического демонтажа узлов дробилки, что приводит к существенным потерям времени и к возникновению жестких ударных нагрузок на конус при возврате машины в рабочее положение. В дробилках Parker Plant этот недостаток устранен. Гидроцилиндры системы защиты от перегрузки поднимают верхнюю часть дробилки вместе с неподвижным корпусом, открывая зев дробилки и позволяя материалу проваливаться вниз. Если хода поршня недостаточно, то, подключив систему регулировки зазора, можно увеличить расстояние между конусами примерно в 2 раза.

## Вывод

*Анализ конструкций горного оборудования как для открытых, так и для подземных горных работ показал, что гидропневмоаккумуляторы широко используют в приводе рабочих органов горных машин. Применение гидропневмоаккумуляторов обеспечивает существенное снижение энергоемкости рабочих процессов и особенно повышение производительности в машинах, рабочие органы которых обладают значительной величиной потенциальной энергии положения – буровые станки, шагающие и гидравлические экскаваторы, погрузчики, дробилки, гидромолоты и др.*

### Библиографический список


6. **Васильев В.** Основные средства Лебединского ГОКа // Основные средства. 2005. № 9. URL: http://www.os1.ru/article/mining/2005_09_A_2005_12_02-15_12_37.

7. **Патент РФ** № 2460850. Скрепер / С.А. Шемякин, В.Е. Белов, Д.Н. Матвеев, А.Ю. Чебан. Опубл. 10.09.2012.

8. **Перелыгин В.** Современный колесный погрузчик // Основные средства. 2007. № 7. URL: http://www.os1.ru/article/road_equipment/2007_07_A_2008_02-20-19_56_07.

9. **Перелыгин В.** Экскаватор шагающий. Перспективы развития // Основные средства. 2009. № 7. URL: http://www.os1.ru/article/mining/2009_07_A_2010_08_05-15_04_23.

10. **Шестаков В.С., Кубачек В.Р., Прахов Л.П., Скобелев Л.С.** Насосно-аккумуляторный гидравлический привод поворота платформы / А.с. СССР 1232759. Опубл 28.02.84. Бюл. № 8. 4 с.

11. **Лагунова Ю.А., Калянов А.Е., Суслина Е.С.** Гидрофикация конусных дробилок // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: сб. докладов X Междунар. конф. Екатеринбург: Изд. УГГУ, 2012. С. 151–154.

12. **Parcer** standart cone. Конусные дробилки и дробильные камеры Parker. URL: http://crushing.parkerplant.su/units/cone/std-cone.html.

# Термообработка–2013

*На территории ЗАО "Экспоцентр" (в павильоне № 5) с 10 по 12 сентября 2013 г. проходила седьмая международная специализированная выставка под таким названием. На выставке было продемонстрировано новейшее оборудование и технологии для термической обработки различных материалов. Процессы термообработки исключительно важны для эффективного производства и функционирования составляющих машиностроения. Приведем краткое описание экспонатов и предложений, вызвавших наибольший интерес у специалистов, посетивших выставку.*

**Гжельский завод "Электроизолятор"** демонстрировал на выставке газогорелочные устройства, трубы из карбида кремния и оборудование для линий горячего цинкования.

*Газовые горелки серии ГКС* с принудительной подачей воздуха с коэффициентом рабочего регулирования 4 предназначены для сжигания природного газа и использования в промышленных печах различного назначения. Встроенная в конструкцию горелки камера сгорания изготовлена из высокоогнеупорного материала на основе самосвязанного карбида кремния, что исключает возможность ее прогара и обеспечивает более длительный срок эксплуатации при более высокой рабочей температуре по сравнению с жаропрочными сталями.

Максимальная тепловая мощность горелки 400 кВт при расходе газа 40 м$^3$/ч, номинальное давление газа перед горелкой 2,5 кПа, диапазон давления (разрежения) в топке агрегата, при котором горелка работает устойчиво, +50...–50 Па. Ресурс эксплуатации не менее 18 тыс. ч. Применение таких горелок позволяет:

• более точно поддерживать технологические режимы печи;

• активно перемешивать печную атмосферу, что выравнивает температуру внутри печи;

• повысить максимально допустимую температуру применения горелки до 1500 °С.

*Защитные чехлы для термопар* обеспечивают эффективную работу последних в условиях воздействия горячих газов, агрессивных сред при температурах эксплуатации до 1350 °С и расплавов цветных металлов. Материал термопарного чехла имеет теплопроводность в пять раз выше по сравнению с жаропрочными сталями и до десяти раз – по сравнению с другими керамическими материалами, применяемыми для изготовления защитных чехлов термопар, что обеспечивает повышенную термостойкость и точность измерения температур. Плотность материала на основе самосвязанного карбида кремния в 2,6 раза меньше плотности жаропрочной стали, поэтому такой защитный чехол намного легче традиционных чехлов для термопар. Его длина 1200 мм, наружный диаметр 18...60 мм.

*Оборудование для линий горячего цинкования* позволяет производить цинкование погружением изделий в ванну с расплавом цинка с предварительной стадией химической подготовки в ваннах обезжиривания, травления, флюсования, промывки и сушки цинкуемых изделий.

**ЗПО "МИУС" (г. Тула)** предложило потребителям электротермическое оборудование.

*Муфельная печь мод. МИПП-75П* с программным управлением предназначена для обжига изделий, плавки и термообработки металлов при температуре до 1150 °С. Внутри печи размещена камера обжига, состоящая из собранных в единый блок муфеля и пластин теплоизоляции.

В задней части печи установлен блок отвода продуктов выгорания, соединенный с камерой обжига. Через заднюю пластину теплоизоляции в рабочее пространство введена термопара. Свободные концы термопары, цепь управления спиральными нагревателями и выход датчика положения дверцы выведены на соединительный кабель. На задней стенке блока управления расположен выключатель питания и разъем для подключения соединительного кабеля. Потребляемая мощность печи 15 кВт. Габаритные размеры рабочей камеры –350×630×320 мм, всей печи – 970 (с блоками управления)×1150× ×1450 мм, ее масса 80 кг.

*Универсальная лабораторная шахтная печь мод. СШОЛ 75/11 с программным управлением* предназначена для обжига изделий, плавки и термообработки металлов при температуре до 1150 °С. Печь состоит из печного блока и выносного (настенного) микропроцессорного блока программного управления, соединенного с печным блоком кабе-

лем. Печной блок выполнен из металлического каркаса с футеровкой из глинистоволокнистых плит и керамической реторты с расположенным на ней нагревателем. Положение крышки печи контролируется конечным выключателем. В камере рабочего пространства смонтирована термопара. Шкаф управления и силовой ввод расположены снизу печного блока. Диаметр рабочей камеры печи 300 мм, длина – 1100.

*Трубчатая электропечь мод. СУОЛ-0,4.4/12* предназначена для градуировки термопар и делатометров, термической обработки и определения температуры плавления металлов, сплавов и других работ при температуре до 1200 °С в стационарных лабораториях. Питающее напряжение электропечи 220 В, потребляемая мощность 2,5 кВт, максимальное отклонение температуры от заданной ±2 °С. Диаметр рабочей камеры 50 мм, длина – 480 мм, габаритные размеры печи 800×520×430 мм, масса 52 кг.

*Промышленные камерные электропечи серии СНО и СНЗ* предназначены для термической обработки различных материалов в условиях окислительной (воздух) или защитной (нейтральный газ) среды при температуре до 1250 °С. Электропечи используют для отпуска, отжига, закалки или нормализации металлических изделий, а также в качестве универсальных камерных печей для плавки металлов, термической обработки изделий из керамики и других материалов.

Рабочая камера печи выполнена из огнеупорных материалов. Вдоль боковых стенок установлены спиральные нагревательные элементы из высокотемпературного сплава. Система управления осуществляет непрерывную диагностику силовых цепей печи, обеспечивая защиту нагревательных элементов от перегрева. Размеры рабочей камеры печей от 200×300×300 мм до 3000×6000×3000 мм. Установленная мощность до 1000 кВт, стабильность поддержания температуры ±2 °С.

*Автоматизированные агрегаты* – механизированные комплексы, оснащенные транспортно-погрузочными механизмами и перемещающие обрабатываемые изделия в соответствии с технологией термообработки: загрузка, нагрев/отпуск, закалка, выгрузка и т.п.

Закалочный агрегат на базе камерной печи мод. СНО-7.12.7/10 предназначен для нагрева деталей и заготовок в окислительной среде, закалки деталей в масле с загрузкой в автоматическом режиме и выгрузкой садки. Агрегат состоит из камерной печи сопротивления, масляного закалочного бака и транспортно-загрузочной системы, представляющей собой механизированную тележку, перемещающуюся по рельсам между загрузочным устройством, печью и закалочным блоком. Установленная мощность агрегата 103 кВт, максимальная температура нагрева 1000 °С, размеры рабочей камеры 700×1200×700 мм, масса закаливаемой садки 300 кг.

Агрегат мод. СГО-11.15.15/6,2 (рис. 1) предназначен для термической обработки алюминия и состоит из камеры нагрева с центробежным вентилятором и подом-тележкой, механизма загрузки-выгрузки, каркаса агрегата, системы управления, вспомогательных площадок и лестниц. Под-тележка установлен в подовой раме, передвигающейся по рельсам, смонтированным под агрегатом. По окончании цикла термообработки под отъезжает из-под камеры нагрева и садка на тросах подъемного механизма и опускается в закалочный блок. После закалки садка извлекается из бака и на транспортной тележке перемещается в зону загрузки-выгрузки. Установленная мощность агрегата 90 кВт, максимальная температура нагрева 620 °С, размеры рабочего пространства 1500×1100×1500 мм, неравномерность температуры по рабочему пространству ±5 °С, масса закаливаемой садки 120кг.

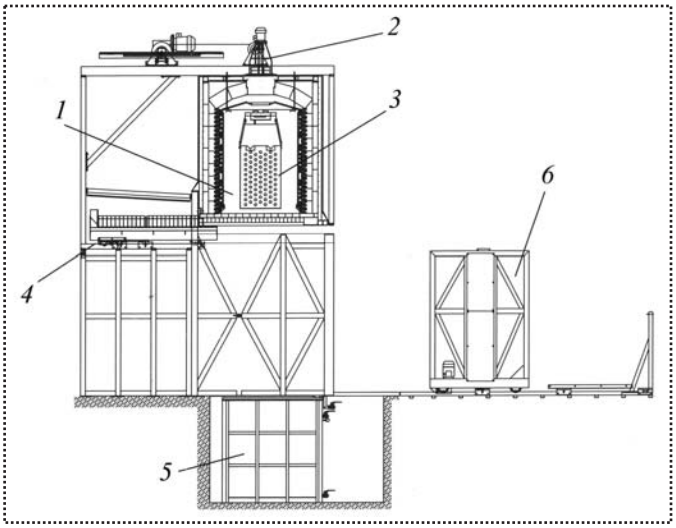


**Рис. 1. Агрегат для термической обработки алюминия мод. СГО-11.15:**
*1* – камера нагрева; *2* – механизм подъема; *3* – садка; *4* – выкатной под; *5* – закалочный бак; *6* – транспортная тележка

**ЗАО "Накал – Промышленные печи" (г. Солнечногорск, Моск. обл.)** – разработчик и производитель оборудования для термической обработки, демонстрировал свое оборудование.

*Промывочная ванна мод.ВШП12.17/0,9* предназначена для предварительной промывки деталей во многих технологических процессах термической обработки, например азотировании и гальванике. С ее помощью принудительно перемешивают промывочную жидкость посредством системы трубопроводов и насосов. Предусмотрено отстойное отделение для удаления масляной пленки и нагрев промывочной жидкости. Рабочая зона ванны имеет диаметр 1200 мм, высоту 1700 мм, массу загрузки 1 т, установленную мощность 44 кВт.

*Низкотемпературная ванна мод. СВС 10.8/6,5* предназначена для проведения различных видов термической обработки, требующих быстрого нагрева и минимизации обезуглероженного слоя (нагрев под закалку, отпуск и т.п.). Ванна имеет:

- высокоэффективную футеровку;
- систему управления температурным режимом;
- тигель, изготовленный из жаропрочной стали;
- электронагревательные элементы спирального типа из сплава суперферхаль;
- термопару контроля температуры расплава и систему сбора и хранения информации на базе ПК и принтера.

Размеры рабочей зоны ванны 1000×800×500 мм, ее габаритные размеры 1900×1930×1420 мм, мощность 72 кВт, масса соли 270 кг, максимальная температура в рабочей камере ванны 650 °С, масса 1,5 т.

*Универсальная автоматизированная камерная печь СНЦ 6.9.6/9,5 с закалочной ванной* предназначена для проведения термической и химико-термической обработки. Печь позволяет проводить безокислительную закалку, цементацию, нитроцементацию, светлый отжиг. Печь состоит из газоплотного корпуса, встроенной закалочной ванны, камер нагрева, перегрузки и ускоренного охлаждения. Благодаря газоплотному корпусу и пламенной завесе садка на протяжении всего процесса закалки, включая операции перегрузки в закалочную ванну или камеру ускоренного охлаждения, материал находится в контролируемой атмосфере, благодаря чему отсутствует окисление обрабатываемых деталей. Лифт, перемещающий садку, имеет две площадки, что позволяет одновременно обрабатывать несколько садок и увеличивает производительность печи.

Ускоренное охлаждение в защитной атмосфере происходит при работе центробежного вентилятора, установленного под сводом и создающим направленный поток, обдуваемый садку. Закалочная ванна оборудована узлами подогрева и охлаждения закалочной жидкости.

Для защиты от механического истирания поверхность пода защищена ребристыми пластинами из карбида кремния. Перемещение деталей из камеры перегрузки в рабочее пространство печи и обратно осуществляется цепным таскателем-толкателем. Его перемещение происходит в специальном пазу в поду печи.

Для создания контролируемой атмосферы в печь встроен генератор печной атмосферы, обеспечивающий за счет применения катализатора атмосферу эндогазового состава. Углеродный потенциал атмосферы печи непрерывно измеряется и регулируется в автоматическом режиме. Размеры нагревательной камеры 910×610×610 мм. Диапазон рабочих температур в печи 750...950 °С, установленная мощность 90 кВт, масса садки 600 кг.

*Автоматизированная система управления процессом азотирования* состоит из газовой панели и шкафа управления со встроенным программируемым логическим контроллером и сенсорной панелью оператора производства компании Siemens. На контроллере выполняется программа управления процессом азотирования, а через интерфейс пользователя на сенсорной панели управления происходит взаимодействие оператора и программы управления.

*Закалочный комплекс мод. ПКМ 4.8.4/11,5ЗК* состоит из жаропрочного пода и системы регулирования температуры, загрузочно-разгрузочного стола, жаропрочного ящика с патрубком для подвода газа, двух газовых баллонов с азотом, регулятора давления и газовой панели. Термообработка деталей происходит при их помещении в жаропрочный ящик, заполненный защитной атмосферой, формируемой в газовой панели и представляющей собой смесь азота и метана в пропорции 95:5. После технологической выдержки ящик вынимают на загрузочно-разгрузочный стол, перемещающийся (на колесах) к закалочной ванне. Размеры рабочей

камеры комплекса 800×400×400 мм. Максимальная рабочая температура 1150 °С, мощность 21 кВт, размеры загрузочного стола 1500×650×1100 мм.

**ООО "Амбит" (г. Томск)** демонстрировало на выставке промышленное оборудование для индукционного нагрева.

*Закалочный станок мод. НМ-3000* предназначен для поверхностного упрочнения изделий с нагревом поверхностного слоя металла выше критических температур в результате образования вихревых токов, индуцируемых высокочастотным электромагнитным полем индуктора с последующим охлаждением. Конструкция закалочного механизма выполнена на несущих колоннах, объединенных в два блока: блок перемещения поста и блок зажима обрабатываемого изделия. Оба блока прикреплены к общей раме и имеют регулирующие приспособления для обеспечения соосности между обрабатываемым изделием и индуктором.

Закалочный механизм позволяет производить закалку изделий в ручном и автоматическом режиме, по заранее отрегулированным зонам закалки. Автоматический режим работы комплекса позволяет получать повторяемость процесса закалки однотипных изделий, имеющих несколько зон закалки, с высокой точностью. Ручной режим работы обеспечивает возможность производить закалку единичных и нестандартных изделий.

Плавность регулирования вращения изделия и перемещения индуктора обеспечивается за счет применения двух частотно-асинхронных приводов. Пульт управления станка имеет светодиодную индикацию технологических режимов и цветной жидкокристаллический монитор с сенсорным экраном. Установленная мощность станка 50...150 кВт, питающее напряжение 380/220 В. Максимальный диаметр обрабатываемых деталей 400 мм, их длина 3000 мм, масса до 2 т. Скорость вертикального перемещения индуктора относительно детали 1...20 мм.

*Установка индукционного нагрева мод. НМ25-8-30F3* (рис. 2) с воздушным охлаждением обеспечивает надежный нагрев и предназначена для технологических операций: посадки и съема деталей с натягом; подогрева перед сваркой; термообработки сварных швов трубопроводов. Интерфейс оператора позволяет программировать режимы нагрева. Такие параметры, как температура нагрева, напряжение питания, наличие или отсутствие фаз, выходное напряжение и ток, время нагрева – выводятся на жидкокристаллическом экране программируемого логического контроллера. К установке можно подключить несколько индукторов, для каждого из которых задается своя программа нагрева. Мощность установки 25 кВт, питающее напряжение 380/220 В, ток преобразователя частоты 50 А, ток индуктора 150 А. Температура эксплуатации –5...+40 °С, КПД преобразователя частоты – до 95 %.

**Рис. 2. Установка индукционного нагрева мод. НМ 25-8-30F-3**

Установки для индукционного нагрева предназначены для нагрева заготовок (в том числе и при сборочных работах) из черных и цветных металлов и их сплавов. Они имеют индуктор, выполненный в виде витков медной трубки, по которой циркулирует вода для охлаждения и генератор для получения тока высокой частоты. В помещенной в индуктор заготовке возникают вихревые токи, и заготовка начинает быстро нагреваться. Индуктируемый в заготовке переменный ток распределяется по ее сечению неравномерно. В наружных слоях заготовки плотность тока всегда наибольшая. Глубина проникновения индуктированного тока в заготовку зависит от частоты тока. Чем меньше частота тока индуктора, тем на большую глубину в заготовку проникает индуктированный в ней ток.

Например, основная задача нагрева перед ковкой – достижение равномерного нагрева заготовки по всему объему с требуемым перепадом температуры.

Поверхностную закалку с использованием индукционного нагрева применяют для того, чтобы увеличить твердость закаленного слоя и одновре-

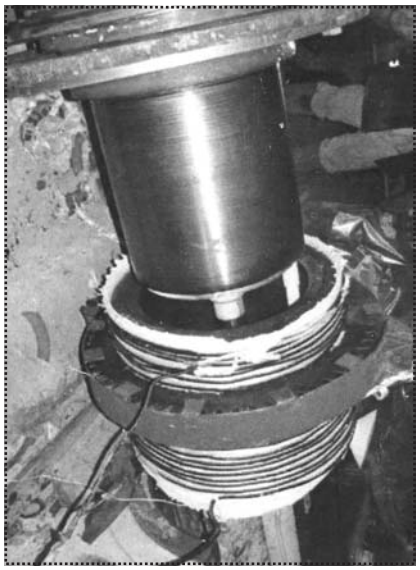

**Рис. 3. Сборка деталей с натягом**

менно повысить вязкость в центре детали. При применении ТВЧ для закалки механические свойства стали выше, чем при обычной закалке.

Сборка деталей с натягом (рис. 3) заключается в том, что одна из сопрягаемых деталей (охватывающая) нагревается до необходимой температуры, после чего ее габариты становятся достаточными для свободной посадки на другую (охватываемую) деталь. После посадки деталь остывает и плотно охватывает внутреннюю. Температура нагрева зависит от размера сопрягаемой детали и заданного значения натяга.

Процесс пайки заключается в том, что детали, подготовленные к пайке, устанавливают на специальное приспособление, на швы укладывают флюс и дозированные порции припоя, а затем эти детали вводят в индуктор высокочастотного генератора ТВЧ. Быстрый и равномерный нагрев деталей до температуры пайки осуществляется за счет тепла, выделяемого индуктированными токами в толще металла. По сравнению с газоплазменной высокочастотная пайка имеет ряд преимуществ:

• высокое качество паяных соединений, которое обеспечивается благодаря быстрому и равномерному нагреву при меньшей степени окисления и коробления деталей;

• повышение производительности труда на 40...50 % благодаря сокращению времени нагрева и возможности концентрировать значительные мощности в малом объеме;

• снижение расхода серебряных припоев при пайке деталей из меди и ее сплавов на 30...50 %;

• возможность вести пайку в вакууме без применения флюсов.

**ООО "ЭЛИСТ" (г. Томск)** предложило установки индукционного нагрева, работающие в различных сочетаниях с автоматизированными линиями, закалочными станками и с различным набором индукторов.

*Автоматизированные закалочные комплексы для закалки тел вращения* позволяют производить в автоматическом режиме закалку вертикально и горизонтально расположенных наружных и внутренних поверхностей закаливаемых изделий, а также позубовую и сплошную закалку шестерен, зубчатых колес и звездочек. При этом можно производить закалку изделий по зонам с различными параметрами нагрева. Число зон определяется конфигурацией изделия. Длина обрабатываемых изделий может составлять 1500, 2000, 2500 мм, диаметр – до 500 мм. Масса обрабатываемых изделий – до 2 т при мощности установки до 300 кВт. Все параметры технологических операций программируются на пульте управления. На дисплее пульта управления отображается текущее состояние технологического процесса и значения параметров нагрева. Имеется возможность создания до 100 программ управления в различном сочетании режимов и значений параметров.

*Автоматизированные линии индукционного нагрева* позволяют производить различные технологические операции, связанные с закалкой и пластической деформацией изделий различной конфигурации по заданной программе. Все параметры технологических операций программируются на пульте управления.

На выставке также было представлено *оборудование для термообработки сварных соединений* рельсов и трубопроводов высокого давления, а также предварительного нагрева перед сваркой в автоматическом режиме. Все параметры технологического процесса (скорость нагрева, температура и время выдержки, конечная температура и скорость охлаждения) программируются на панели управления перед началом работы. Оборудование позволяет производить термообработку сварных соединений трубопроводов диаметром до 1500 мм, с толщиной стенки до 80 мм.

**Волжский завод текстильных материалов (г. Волжский, Волгоградская обл.)** демонстрировал свою продукцию – технические ткани и безасбестовые уплотнительные материалы.

*Сальниковые набивки безасбестовые* предназначены для герметизации подвижных и неподвижных соединений насосов, машин и аппаратов, трубопроводов, эксплуатируемых на предприятиях всех отраслей промышленности. Набивки состоят из фторопластовых волокон со специальным пропитывающим составом: арамидных волокон, пропитанных фторопластовой суспензией из нитей на основе терморасширенного графита; из природных хлопковых или лубяных волокон, пропитанных фторопластовой суспензией и из углеродных нитей.

Данные набивки обладают: хорошей гибкостью и пластичностью; обеспечивают легкий монтаж и идеальное уплотнение; уменьшают трение на валу; способствуют отводу тепла от вала и уменьшают его износ; имеют отличную стойкость к воздействию сред и химически инертны. Рекомендуется применение таких набивок при работе с сильно агрессивными жидкостями (кислотами и щелочами), а также при работе со средами с высокой чистотой. Набивка применима при температурах –200...+280 °С.

**Компания "НОВАТЕСТ" (Москва)** демонстрировала на выставке твердомеры различного назначения, произведенные за рубежом.

*Универсальный твердомер мод. UH930* (рис.4) предназначен для измерения твердости по шкалам Роквелла, Виккерса, Бринеля. Система управления нагрузкой твердомера с помощью тензометрического датчика позволяет избежать перегрузок и совмещает автоматическое управление испытанием с диапазоном нагрузок 9,8...256 кН. Интерфейс и запуск измерения одной клавишей гарантирует надежный процесс испытания на твердость. Твердомер имеет:

- защитный кожух от повреждения при установке образцов;
- цифровой измерительный микрометр;
- подсветку области измерения;
- систему настройки фокусного расстояния.

Рабочее пространство твердомера 300 мм. Его габаритные размеры 1020×250×560 мм, масса 200 кг. Максимальная масса исследуемого образца до 100 кг.

**Рис. 4. Универсальный твердомер мод. UH930**

*Универсальный твердомер мод. UH3000* с нагрузкой до 294 кН имеет массивную конструкцию и пригоден к работе в условиях промышленного производства для измерения твердости на крупных по габаритным размерам и массе изделиях (корпуса двигателей, валы турбин, зубчатые колеса). Он имеет восьмипозиционную поворотную турель для размещения нескольких инденторов и объективов, что позволяет проводить измерения без смены индикаторов и объективов. Имеется возможность предупреждения в автоматическом режиме о воздействии радиальной нагрузки, когда поверхность образца не перпендикулярна оси индентора. Оптимизированные алгоритмы позволяют проводить автоматизированные измерения отпечатков на экране монитора. Рабочее пространство твердомера до 600 мм. Его габаритные размеры 1810×600×1030 мм. Максимальная масса: образца – 500 кг, твердомера – 950 кг. Программное обеспечение позволяет управлять работой твердомера и задавать программы проведения измерений.

**Компания "АМЕТЕК" (Украина)** показала *переносной спектрометр* (рис. 5) для анализа металлов и

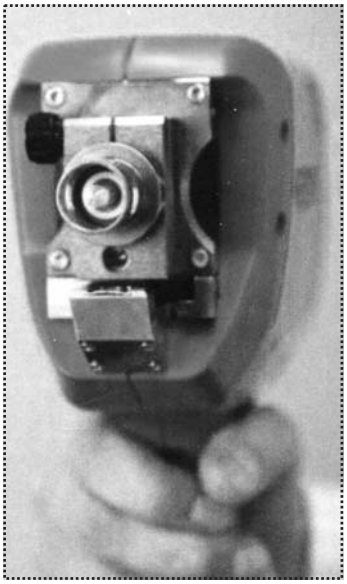

**Рис. 5. Переносной спектрометр для анализа металлов и их сплавов**

их сплавов. Он состоит из испытательного зонда в виде (пистолета) и спектрометра с перезаряжающейся батареей. Для анализа спектрометру не требуется ни аргона, ни радиоактивного источника возбуждения. Встроенный в зонд блок с операционной системой Windows осуществляет управление и полный контроль над спектрометрическими процессами, а также осуществляет обработку данных и результатов анализа. Спектрометр идентифицирует и анализирует Fe, Ni, Ti, Al, Cu, Co без изменения оператором параметров или проведения действий – как это бывает с другими спектрометрами. Программное обеспечение спектрометра непрерывно контролирует его работу. Функция интеллектуальной калибровки устраняет потребность в трудоемкой рекалибровке всякий раз, когда спектрометр включен вновь, или изменились внешние условия. Кабель соединяет испытательный зонд с модулем спектрометра, где размещена оптика, система считывания сигналов, система питания, система очистки атмосферы в адаптере для анализа углерода и перезаряжающаяся батарея.

**Итальянская фирма GH Electroterma** демонстрировала на выставке *закалочный станок мод. EME-114* с подвижными индукторами, позволяющий обрабатывать большую номенклатуру изделий. Во время работы станка деталь вращается вокруг своей оси, в то время как блок "индуктор–спрейер" перемещается вдоль оси детали, осуществляя последовательную закалку. Имеется возможность автоматизировать операцию загрузки/выгрузки деталей. Станок имеет двойную колонну, возможность одновременного позиционирования двух деталей, кулачковый патрон, цементирующие люнеты. Сервоприводы станка управляют движением рабочих органов в различных плоскостях. Имеется несколько закалочных станций и вариаторы частоты вращения. Мощность станка 150 кВт, производительность 82 детали/ч при максимальной длине детали 1500 мм и массе до 50 кг.

**Немецкая компания Vacuubrana** разработала и показала на выставке различное оборудование. Приведем краткое описание лишь некоторых экспонатов.

*Вакуумметр мод. DVR4S* используется в областях со взрывоопасной атмосферой. Встроенный датчик вакуума, изготовленный из алюминиевой керамики, обладает химической стойкостью и стабильно работает в течение длительного срока. Преимуществом вакуумметра является беспроволочная работа с питанием от батарейки. Вакуумметр имеет: большой ЖК дисплей с аналоговым цифровым представлением измеряемых величин; интерфейс для дистанционного считывания измеряемых величин. Точность измерения прибора не превышает ±1 Па. Габаритные размеры вакуумметра 116×116×86 мм, его масса 0,73 кг.

*Вакуумконтроллер мод. VNC2*, регулирующий вакуум открытием/закрытием соленоидного клапана или включением/отключением электропитания вакуумного насоса. Вакуум непрерывно регулируется путем контроля частоты вращения ротора двигателя насоса. Интегрированный химически стойкий датчик вакуума емкостного типа позволяет измерять вакуум независимо от природы газовой среды. Контроллер подходит для выполнения многократно повторяющихся рутинных задач, в которых важна точность и надежность. Контроллер совместим с датчиками уровня жидкости. Точность измерения не превышает ±1 Па. Контроллер работает при температуре до +40 °С, его питающее напряжение 230 В. Габаритные размеры 163×90×68 мм, масса 0,8 кг.

*Напускной клапан мод. VBM-B* предназначен для напуска воздуха (регулируется вручную). Вращением крышки с шероховатой поверхностью отжимается от клапанного седла шток и воздух проходит через отверстие. Шток имеет вращающееся уплотнение, поэтому седло клапана защищено от изнашивания при частом открытии/закрытии. Клапан

имеет соленоидный привод и часто используется для систем дистанционного управления. Входной порт имеет штуцер для подсоединения шланга. Масса клапана 0,25 кг.

**Немецкая компания MESAElectronic GmbH** предложила потребителям оригинальные измерительные устройства.

*Измеритель влажности* для определения температур (точки) росы газа при атмосферном давлении с использованием постепенно охлаждающегося контрастного зеркального принципа. Измеритель влажности состоит из металлокерамического фильтра, замерной камеры, зеркальной пластины, элемента Пельтье, расходомера внутреннего фильтра, насоса, теплоотвода, вентилятора, источника тока и индикатора. Газ измеряется через измерительную камеру с использованием электрического насоса диафрагмы и охлаждается, проходя через охлаждающий аккумулятор.

*Система MGAS* предназначена для наблюдения за составом атмосфер печей или выборочного контроля. Система позволяет измерять до пяти газов одновременно (CO, $CO_2$, $H_2$, $CH_4$). Она приспособлена к условиям термической обработки и для вычисления углеродного потенциала. Температуру можно настраивать вручную или подключить термопары. Все полученные значения отображаются на дисплее. Система дает возможность автоматической калибровки нулевой точки и диапазона измерений для каждого компонента газа.

*Терминал мод. T300* предназначен для фольгового датчика FPG1.0, позволяющего в автоматическом режиме производить измерения углеродного потенциала в атмосфере печи. Каждое измерение отображается на дисплее терминала. Меню прибора поддерживает семь языков и дает возможность производить до пяти измерений одновременно. Все проведенные измерения сохраняются в терминале.

Во время проведения выставки была организована научно-практическая конференция "Инновационные технологии термообработки". Выставку посетили специалисты различных отраслей промышленности.

*Чл.-кор. Академии проблем качества* **А.Н. Иванов**

***ПРОДОЛЖАЕТСЯ ПОДПИСКА***

**ООО "Издательство Машиностроение" продолжает подписку на журнал**

**"СБОРКА В МАШИНОСТРОЕНИИ, ПРИБОРОСТРОЕНИИ"**

☑ *За наличный и безналичный расчет.*
☑ *С любого номера и на любой срок.*
☑ *Без почтовых наценок.*

***Присылайте заказ и обращайтесь за дополнительной информацией в отдел продаж, маркетинга и рекламы:***

107076, г. Москва, Стромынский пер., д. 4,
Тел.: (499) 269-66-00, 269-52-98, факс: (499) 269-48-97
e-mail: realiz@mashin.ru, www. mashin.ru

# ИНФОРМАЦИЯ

## Указатель статей, опубликованных в 2013 году


№

### Экономика и организация сборочного производства

**Бойкачёв В.Н., Хоменко В.В.** Оптимизация планирования технологической подготовки производства высокотехнологичных изделий на основе принципов "бережливого производства" ..... 9

**Горелов А.С., Прейс В.В., Саввина Е.А.** Экономическая оценка планов статистического контроля качества и регулирования автоматизированной сборки многоэлементных изделий ..... 4

**Иванов А.А.** Оптимизация задачи многостаночного обслуживания промышленным роботом ..... 12

**Крынина Т.А.** Разработка программного обеспечения для автоматизированной оценки затрат на изготовление изделий ..... 10

**Полякова М.В., Рабинович Л.А., Плешаков А.А., Горелова А.Ю., Кристаль М.Г.** Минимизация экономических потерь при использовании пригонки для прецизионной сборки партий деталей ..... 11

### Технологичность конструкции

**Ирзаев Г.Х.** Оценка эксплуатационной и ремонтной технологичности электронных средств на этапе проектирования ..... 8

**Коптев И.И., Смоленцев В.П., Смоленцев Е.В., Салтанаева Е.А.** Изготовление и комплектация форсунок для подачи горючих смесей ..... 1

### Сборочное оборудование и его элементы

**Безменов В.С., Игнатов А.В.** Типовые системы автоматизированного дозирования однокомпонентных термореактивных клеевых составов для сборочных производств с клеевыми соединениями ..... 6

**Березин С.Я., Романова Л.С.** Патроны для резьбонарезных и сборочных операций со специальными функциями ..... 12

**Гоцеридзе Р.М., Румянцев С.В.** Устройство для статической балансировки изделий в жидкости ..... 4

**Давыдова Е.В., Прейс В.В.** Теоретические основы проектирования дискового зубчатого бункерного загрузочного устройства с кольцевым ориентатором ..... 7

**Житников Ю.З., Житников Б.Ю., Воркуев Д.С.** Многошпиндельный гайковерт повышенной точности на основе дифференциальных механизмов, механизмов свободного хода, муфт предельного момента с переключением вращений ..... 4

**Иванов А.А.** Бесконтактный захват промышленного робота ..... 7

**Иванов А.А.** Магнитные системы кассетирования и сборки ..... 6

**Иванов А.А.** Применение промышленных роботов в заготовительном производстве ..... 8

**Кочетков А.В., Гнитько В.Б., Челпанов И.Б.** Объемное компьютерное моделирование конструкций технологических роботов для силовых операций гибки с растяжением ..... 6

**Кристаль М.Г., Гольцов А.С., Плешаков А.А., Полякова М.В.** Устройство для контроля размеров сопрягаемых поверхностей при сборке коронок для перфораторного бурения ..... 3

**Микаева С.А., Микаева А.С., Железникова О.Е., Прытков С.В.** Сборка устройства Imagin Sphere™ для измерения пространственных характеристик светодиодов и светодиодных источников света ..... 8

№

**Надеждин И.В., Беберина А.В.** Совершенствование динамических характеристик загрузочных устройств сборочных машин-автоматов ..... 10

**Чижиков В.И.** Управление упругим кинематическим соединением бесшарнирного манипулятора ..... 7

## Современные технологии сборки

**Абрамов А.И., Абрамов И.В., Петров А.В., Романов А.В.** Гидропрессовые соединения с деталями из титановых сплавов ..... 6

**Абрамов А.И., Абрамов И.В., Романов А.В.** Научно-технические аспекты автоматизации гидропрессовой сборки соединения с натягом ..... 1

**Бойкачёв В.Н.** Оптимизация организационно-технологического сопровождения автоматизации электромонтажных работ в производстве радиоэлектронной аппаратуры космических аппаратов ..... 10

**Божкова Л.В., Вартанов М.В., Мартынович Н.А.** Математическая модель динамики сопряжения деталей с применением промышленного робота и вибрационного устройства ..... 1, 4, 10

**Булавин И.А., Груздев А.Ю., Будыкин А.В.** Технология сборки подшипниковых узлов с предварительным натягом в редукторах ведущих мостов автомобилей ..... 6

**Голованчиков А.Б., Воротнева С.Б.** Совершенствование конструкции и повышение ремонтопригодности реакторов и теплообменных аппаратов ..... 6

**Гоцеридзе Р.М., Румянцев С.В.** Определение параметров неуравновешенности поплавкового чувствительного элемента с магниторезонансным подвесом методом измерения угла фазового сдвига ..... 12

**Данилова Л.Н.** Определение осевой силы сверления концевой частью самореза ..... 4

№

**Демин А.А., Титов И.А.** Сборка прессовых соединений с применением промежуточных деформируемых втулок ..... 11

**Житников Б.Ю., Житников Ю.З.** Применение промышленных роботов на основе средств пассивной адаптации для сборки деталей, сопрягаемых по цилиндрическим и резьбовым поверхностям ..... 4

**Заярный С.Л.** Определение параметров гидропрессового способа сборки-разборки соединения с натягом с использованием имитационной модели ..... 10

**Иванов А.А.** Промышленные роботы в сборочном производстве ..... 1

**Кузнецова С.В., Симаков А.Л.** Фазовые портреты относительного и углового совмещения деталей при автоматизированной сборке ..... 2

**Кутин А.А., Туркин М.В.** Организационные принципы построения поточной сборки авиационной техники ..... 5

**Лукинов А.П., Сыромятин А.Н.** Оптимизация и оценка работоспособности силовых замыканий антропоморфной сборочной остастки ..... 12

**Магдиев Р.Р.** Опыт построения моделей технологической системы механосборочного оптико-электронного мелкосерийного производства ..... 1

**Макушин А.А.** Технологические схемы сборки изделий автомобильной техники ..... 2

**Медведев А.М., Мылов Г.В.** Надежность электрических межсоединений в электронных сборках авионики ..... 9

**Медведев А.М., Мылов Г.В.** Эволюция технологий электрических межсоединений в электронном приборостроении ..... 2

**Челпанов И.Б., Кочетков А.В., Янковский Л.В., Кивокурцев О.А.** Метод повышения точности позиционирования и перемещения рабочих органов роботов, основанный на введении поправок в устройство управления ..... 8

№

## Технологическая оснастка для сборки

**Березин С.Я., Романова Л.С.** Конструкции патронов со специальными функциями для резьбонарезных и сборочных операций ..... 6

**Житников Б.Ю., Житников Ю.З.** Многошпиндельное переналаживаемое завинчивающее устройство ..... 7

**Житников Ю.З., Житников Б.Ю., Матросова Ю.Н.** Инерционный гайковерт ..... 10

**Иванов А.А.** Вибрационные сборочные системы ..... 5

**Гоцеридзе Р.М., Румянцев С.В.** Устройство для контроля овальности и погрешностей взаимного расположения поверхностей вращения в изделиях и деталях ..... 5

**Ланщиков А.В., Колганов Е.А.** Исследование затяжки резьбовых соединений пневматическим поршневым гайковертом ..... 11

## Сборочно-сварочные работы. Пайка

**Вытнов Ю.В., Павлин В.Н., Александрин А.Г., Голубев С.В., Герасимов Е.А., Медведев Н.П.** Возможности применения аргонодуговой наплавки уплотнительных поверхностей арматуры из титановых сплавов ..... 5

**Иванов А.А.** Промышленные роботы в сварочном производстве ..... 4

**Карабанов В.В., Бохоров И.О.** Пайка алюминия и его сплавов ..... 7

**Карабанов В.В., Бохоров И.О.** Пайка меди и ее сплавов ..... 3

**Карабанов В.В., Бохоров И.О.** Пайка титана и его сплавов ..... 11

**Орлова М.Д., Лисовский С.М., Бабкова Н.И.** Изготовление спиральных замедляющих систем с применением диффузионной сварки ..... 5

## Сборка с использованием клеев

**Безменов В.С., Игнатов А.В.** Методика проектирования автоматизированных устройств нанесения и дозирования клеевых составов для сборочных производств с клеевыми соединениями ..... 7

## Обеспечение качества. Испытания. Контроль

**Безъязычный В.Ф., Замятин В.Ю., Замятин А.Ю.** Проект мегасистемы качества и конкурентоспособности промышленного предприятия. Концепция и общая структурно-лингвистическая модель ..... 10

**Безъязычный В.Ф., Замятин В.Ю., Замятин А.Ю.** Проект мегасистемы качества и конкурентоспособности промышленного предприятия. Понимание и структурные критерии базовых категорий ..... 9

**Бойкачев В.Н., Хоменко В.В.** Разработка основных принципов интегрированного управления качеством конструкторско-технологических решений на всех стадиях жизненного цикла радиоэлектронной аппаратуры космических аппаратов ..... 3

**Горелова А.Ю., Кристаль М.Г., Карахтинцев Е.А., Ханов Г.В.** Влияние режущих свойств инструментов с многослойным покрытием на качество сборки деталей насосов типа НКВ ..... 4

**Диланян Р.З., Кравченко И.И., Штейнбрехер М.А.** Конструкторско-технологическое обеспечение и управление качеством производственных процессов ..... 9

**Доронина Ю.В., Копп В.Я.** Построение и развитие системы контроля качества изделий сборочного производства ..... 3

**Костюков В.Н., Костюков А.В., Щелканов А.В.** Стендовая система ультразвукового контроля вкладышей подшипников скольжения КОМПАКС-УЗД ..... 1

№

**Сорокин М.Н., Ануров Ю.Н.** Определение вероятности получения бракованных сопряжений при селективной сборке изделий типа "вал–втулка" при выборе селективных интервалов ..... 1

**Фомин А.А.** Пути снижения вибрации шпиндельного узла станка для механической обработки отходов лесопиления..... 5

**Фомин А.А.** Влияние дополнительной опоры заготовки в зоне резания на устойчивость процесса обработки ..... 1

**Холодкова А.Г.** Обеспечение качества сборки ответственных резьбовых соединений..... 10

**Хоменко В.В.** Технологическая реализуемость конструкторско-технологических решений, направленных на повышение качества высокотехнологичной продукции..... 5

**Челпанов И.Б., Кочетков А.В.** Метрологическое обеспечение испытаний промышленных роботов ..... 4

**Челпанов И.Б., Кочетков А.В.** Механические испытания микромеханических приборов и средств измерения ..... 11

**Челпанов И.Б., Кочетков А.В.** Нормирование точностных характеристик промышленных роботов ..... 2

**Челпанов И.Б., Кочетков А.В.** Совершенствование методов виброиспытаний с применением вибростендов..... 1

**Шаломов В.И.** Методика обработки экспериментальных данных и оценки погрешности результатов наблюдений при испытании модели шпиндельного узла с газостатическими опорами ..... 8

## Разборка. Ремонт

**Тымчик Г.С., Пудрий А.А., Подолян С.В.** Экспериментальные исследования эффективности усиления участка трубопровода высокого давления муфтой с внутренним наполнением..... 4

№

## В помощь конструктору, технологу

**Берёзин С.Я., Романова Л.С.** Расчет конструктивных и настроечных параметров сборочных и резьбонарезных патронов ..... 5

**Брылёв А.В., Марецкая В.В., Савельева Л.В.** Обеспечение посадки с гарантированным зазором в соединении в условиях инструментальной ограниченности..... 9

**Бугорков К.Н., Ковалёв В.Г.** Расчет площади пятна контакта провода и вывода при монтаже методом накрутки ..... 4

**Герасин А.А., Исмагилов Ф.Р., Хайруллин И.Х., Вавилов В.Е., Зюков М.М.** Имитационная модель электромеханических преобразователей энергии с учетом процессов в подшипниковых опорах..... 2

**Грязев В.М., Ямников А.С.** Решение размерных цепей с точностью, нормированной по пятну контакта поверхностей ..... 8

**Емельяненко А.А., Бабкин С.Г.** Технологически эффективный подход к конструированию корпусов приборов связи..... 12

**Емельяненко А.А., Бабкин С.Г.** Об опыте использования пластиков в качестве материалов корпусов гидроакустических приборов ..... 11

**Иванов А.А.** Моделирование объектов автоматизированного производства на основе теории массового обслуживания..... 9

**Ионов А.О., Прейс В.В.** Оценка производительности роторного бункерного загрузочного устройства с вращающимися воронками на стадии проектирования..... 8

**Ковалев В.Г.** Бандажирование накруткой..... 8

**Липка В.М., Рапацкий Ю.Л.** Технологическое обеспечение надежности резьбовых соединений при автоматизированной сборке силовых агрегатов автомобилей ..... 4

**Полякова М.В., Рабинович Л.А., Плешаков А.А., Горелова А.Ю., Кристаль М.Г.** Тех-

№

нологические особенности пригонки деталей для прецизионной сборки ..... 9

**Саввина Е.А., Прейс В.В.** Имитационное моделирование процедур статистического регулирования технологического процесса автоматизированной сборки многоэлементных изделий ..... 12

**Сорокин М.Н., Ануров Ю.Н.** Выбор полей допусков сопрягаемых параметров при селективной сборке изделий типа "вал–втулка" ..... 3

**Сорокин М.Н., Ануров Ю.Н.** Селективная сборка отдельной партии деталей ..... 10

**Тимофеев А.В., Шапкин В.И., Душев С.А., Москаленко В.В., Данилов С.Д.** Выполнение опытных работ для обеспечения выгрузки отработанного ядерного топлива из баков хранилища плавучей технологической базы "Лепсе" ..... 6

**Чижиков В.И.** Проектирование упругого кинематического соединения манипулятора с нелинейной характеристикой восстанавливающей силы при неопределенной закономерности внешнего воздействия ..... 3

**Шаломов В.И.** Особенности методики проектировочного расчета шпиндельных узлов шлифовальных станков с газостатическими частично пористыми опорами ..... 7

**Шинаков И.В., Жданов А.В.** Создание предварительного натяга в роликовинтовых механизмах при сборке ..... 5

№

## Подготовка специалистов

**Лагунова Ю.А., Калянов А.Е.** Применение гидропневмоаккумуляторов в горных машинах ..... 12

## В порядке обсуждения

**Григорьев В.С., Миронычев Н.А.** Синергетический подход к описанию процессов механической обработки и сборки ..... 5

## Информация

**Иванов А.Н.** Высокие технологии XXI века – ВТ XXI – 2013 ..... 8

**Иванов А.Н.** MASHEX–2012 ..... 2

**Иванов А.Н.** Металлообработка–2013 ..... 10

**Иванов А.Н.** MITEX–2012 ..... 3

**Иванов А.Н.** Сплавка, резка, наплавка – 2013 ..... 11

**Указатель** статей, опубликованных в 2012 году ..... 1

## Соединение деталей машин

**Куприянов А.В.** Моделирование прочности соединения с натягом при наличии погрешности геометрии формы ..... 5

## Разное

**Смоленцев В.П., Козлов А.А., Клименченков А.А., Коптев И.И.** Технология электрохимического маркирования металлических изделий ..... 5

ООО "Издательство **Машиностроение**", 107076, Москва, Стромынский пер., 4
Учредитель ООО "Издательство **Машиностроение**".
Адрес электронной почты издательства: **mashpubl@mashin.ru**;
редакции журнала: **sborka@mashin.ru, http://www.mashin.ru**
Телефон редакции журнала: (499) 268-38-42; тел./факс (499) 268-85-26; факс 269-48-97.
Технический редактор *Жиркина С.А.* Корректоры *Сажина Л.И., Сонюшкина Л.Е.*
Сдано в набор 11.11.13 г. Подписано в печать 27.12.13 г. Формат 60×88 1/8.
Бумага офсетная. Усл. печ. л. 5,88. Свободная цена.
Оригинал-макет и электронная версия подготовлены в ООО "Издательство Машиностроение".
Отпечатано в ООО "Белый ветер", 115407, г. Москва, Нагатинская наб., д. 54, пом. 4.