

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

8 2013
(157)

СОДЕРЖАНИЕ

Технологичность конструкции

Ирзаев Г.Х. Оценка эксплуатационной и ремонтной технологичности электронных средств на этапе проектирования 3

Сборочное оборудование и его элементы

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

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 13

Обеспечение качества. Испытания. Контроль

Шаломов В.И. Методика обработки экспериментальных данных и оценка погрешности результатов наблюдений при испытании модели шпиндельного узла с газостатическими опорами 18

В помощь конструктору, технологу

Грязев В.М., Ямников А.С. Решение размерных цепей с точностью, нормированной по пятну контакта поверхностей 22

Ионов А.О., Прейс В.В. Оценка производительности роторного бункерного загрузочного устройства с вращающимися воронками на стадии проектирования 26

Ковалев В.Г. Бандажирование накруткой 32

Современные технологии сборки

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 36

Информация

Иванов А.Н. Высокие технологии XXI века – ВТ XXI–2013. 42

Председатель редакционного совета
Ф.М. МИТЕНКОВ, академик РАН

Редакционный совет

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

Региональные редсоветы

БЕЛГОРОД	ОРЕНБУРГ
Н.А. ПЕЛИПЕНКО	А.Н. ПОЛЯКОВ
БРЯНСК	А.И. СЕРДЮК
О.А. ГОРЛЕНКО	А.П. ФОТ

ВЛАДИВОСТОК	РЫБИНСК
Ю.Н. КУЛЬЧИН	В.Ф. БЕЗЪЯЗЫЧНЫЙ
А.А. СУПОНЯ	В.В. НЕПОМИЛУЕВ
В.М. КОРНИЕНКО	А.Н. СЕМЕНОВ

ВОЛГОГРАД	САМАРА
В.Г. КАРАБАНЬ	М.А. ЕВДОКИМОВ
М.Г. КРИСТАЛЬ	Ю.А. ВАШУКОВ
В.И. ЛЫСАК	Г.А. КУЛАКОВ
В.М. ТРУХАНОВ	В.А. НИКОЛАЕВ

ИЖЕВСК	САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
И.В. АБРАМОВ	В.Ф. КУЗЬМИН
Б.А. ЯКИМОВИЧ	Е.В. ШАЛОБАЕВ
В.Г. ОСЕТРОВ	ТОЛЬЯТТИ

КАЗАНЬ	ТУЛА
Р.И. АДГАМОВ	А.И. РЫЖКОВ

КОВРОВ	ХАБАРОВСК
Ю.З. ЖИТНИКОВ	В.В. ПРЕЙС
КОЛОМНА	В.А. ЛАШКО

Ю.Д. АМИРОВ	Украина
КОМСОМОЛЬСКИЙ-НА-АМУРЕ	КИЕВ
Б.Н. МАРЬИН	А.С. ЗЕНКИН
В.И. ШПОРТ	В.А. МАТВИЕНКО
А.М. ШПИЛЕВ	ДОНЕЦК

НАБЕРЕЖНЫЕ ЧЕЛНЫ	СЕВАСТОПОЛЬ
С.В. ДМИТРИЕВ	Е.Л. ПЕРВУХИНА
Р.М. ХИСАМУТДИНОВ	
НИЖНИЙ НОВГОРОД	Беларусь
С.В. ГОЛУБЕВ	МИНСК

ОМСК	ИЗРАИЛЬ
В.Н. КОСТЮКОВ	В.Е. СТАРЖИНСКИЙ
ОРЕЛ	В.М. БЕДРИН
Ю.С. СТЕПАНОВ	ПОЛЬША
Г.А. ХАРЛАМОВ	П. ЛЕБКОВСКИ
	Е. ЛУНАРСКИ

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.

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

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

За содержание рекламных материалов ответственность несет рекламодатель.

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

8 2013
(157)

CONTENTS

Manufacturability of a construction

Irzaev G.Kh. Estimation of operational and repair adaptability to manufacture of electronic means at the design stage 3

Production tools and machinery for assembly

Ivanov A.A. Employment of industrial robots for blanking production 8

Mikaeva S.A., Mikaeva A.S., Zheleznikova O.E., Prytkov S.V. Assembly devices Imagin Sphere™ for measuring the spatial characteristics of LEDs and led light sources. 13

Quality assurance. Testing. Monitoring

Shalomov V.I. Methods of processing of experimental data and evaluate the accuracy of the results of observations during the test model electrically operated spindle unit with gas-static legs 18

Industrial and design engineer's aid

Gryazev V.M., Yamnikov A.S. The solution of dimensional chains with an accuracy, rated on a spot of contact of surfaces 22

Ionov A.O., Prejs V.V. Productivity rating of a rotor hopper feeding device with gyrating funnels at the stage of projection 26

Kovalev V.G. Band visits as cheats 32

Modern technologies in assembly

Chelpanov I.B., Kochetkov A.V., Yankovsky L.V., Kivokurtsev O.A. Method of increase of accuracy of positioning and movement of working bodies of robots, based on introduction of amendments in a control unit 36

Information

Ivanov A.N. High XXI centuries technologies – HT XXI – 2013 42

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

IZNEVSK

I.V. ABRAMOV
B.A. YAKIMOVICH
V.G. OSETRV

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. SHALOBABEV

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

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.

УДК 658.512

Г.Х. Ирзаев, канд. техн. наук

(Дагестанский государственный технический университет, г. Махачкала)

E-mail: irzajev@mail.ru

Оценка эксплуатационной и ремонтной технологичности электронных средств на этапе проектирования

Проведен анализ методов, рекомендуемых действующей нормативно-технической базой для оценки эксплуатационной и ремонтной технологичности современных электронных средств. Выявлено, что их использование на этапах проектирования не позволяет оценить будущие эксплуатационные затраты на изделие и управлять ими на ранних стадиях разработки. В дополнение существующих экономических показателей разработана система конструкторских показателей, позволяющих эффективно оценивать эксплуатационную и ремонтную технологичность изделий.

The analysis of the methods, recommended by the operating normative technical basis for estimation of the operational and repair adaptability to manufacture of modern electronic means was carried out. Their use during the design stages is revealed not to allow to estimate the future operational cost at the product and to control them at the early stages of development. In addition to the existing economic indices, the system of the design indices, allowing effectively to work out the product at the operational and repair adaptability to manufacture is developed.

Ключевые слова: эксплуатационная и ремонтная технологичность, электронное средство, доступность конструкции, легкосъемность конструкции, контролепригодность, взаимозаменяемость составных частей, технологическая преемственность.

Keywords: operational and repair adaptability to manufacture, electronic means, design simplicity, easily removable design, controllability, interchangeability of complex parts, technological continuity.

Введение

Современные электронные средства (ЭС), особенно специального назначения, представляют собой сложные технические комплексы, стоимость владения которыми в несколько раз может превосходить стоимость приобретения. Затратами на экс-

плуатацию изделия, т.е. его эксплуатационной и ремонтной технологичностью (ЭРТ), можно управлять в процессе проектирования, вырабатывая решения, позволяющие существенно снизить стоимость работ на этапах технического обслуживания и ремонта [1, 2].

На сегодняшний день нет эффективной системы оценки ЭРТ конструкций ЭС, которая позволила бы снизить вероятность неудачных проектных конструкторско-технологических решений, влияющих на пригодность изделия к поддержке технического обслуживания и ремонта. Под ЭРТ будем иметь в виду приспособленность ЭС к проведению при хранении, подготовке к использованию, техническом обслуживании, всех видах ремонтов комплекса профилактических и восстановительных операций с наименьшими затратами труда, материалов и времени.

Предлагаемые и используемые на практике экспертные, расчетные и статистические методы оценки ЭРТ базируются на определении временных и стоимостных затрат на выполнение комплекса операций диагностирования и ремонта ЭС [3, 4]. Эти методы могут дать эффект при разработке нормативов на ремонт и техническое обслуживание ЭС, определении экономических затрат при улучшении технологичности модернизированных изделий, накоплении статистики об ЭРТ по классам изделий. Но они оказываются менее эффективными, недостоверными и неполными при оценке ЭРТ конструкций вновь разрабатываемых изделий, так как продолжительность, трудоемкость, стоимость технического обслуживания и ремонта определяются на основе приближенных расчетов, субъективного опыта оценивающих экспертов, данных по аналогам и типовым нормативам.

Необходима оптимизация методов, глубокий анализ и учет факторов или частных конструкторских свойств технологичности, влияющих на затраты и закладываемых в изделие на ранних этапах проектирования.



Известно, что ЭС наблюдения, связи, управления, навигации, измерения часто эксплуатируются в отрыве от ремонтной базы, когда ощущаются дефицит времени, ограниченный объем запасных деталей, электрорадиоэлементов, узлов, невозможность консультаций с опытными специалистами и т.д.

В этих условиях важную роль играют такие оптимально заданные конструктором свойства, как доступность, легкосъемность, контролепригодность конструкции, технологическая преемственность, взаимозаменяемость частей и др. Разработка методов оценки этих свойств и включение их в состав комплексного показателя ЭРТ ЭС позволили бы достоверно прогнозировать предстоящие на этапе эксплуатации затраты на владение ЭС.

Анализ методов оценки ЭРТ ЭС

Проведем обзорный анализ методов оценки ЭРТ ЭС, используемых в практике конструкторскими подразделениями. Экспертный метод предполагает привлечение опытных специалистов для прогнозирования затрат времени, труда и средств на выполнение единичных операций или всего комплекса работ по техническому обслуживанию (ремонту).

При оценке эксперты опираются на собственный опыт, практику, интуицию, а также на информацию о технологичности прототипов и аналогов изделия. Полученные точечные или интегральные оценки подвергаются статистической обработке, оценивают степень согласованности экспертов, определяют среднюю оперативную величину прогнозируемого параметра.

К ряду общеизвестных недостатков экспертного метода (субъективность мнений экспертов, сложность подбора их состава и численности, неполнота информации, погрешности статистических методов обработки экспертной информации и др.) в случае использования его для оценки ЭРТ ЭС прибавляется еще один существенный недостаток. Он заключается в невозможности точной интерпретации полученного результата для доработки конструкции изделия.

Действительно, если, например, оперативная трудоемкость ремонта оказалась больше по значению, чем такой же показатель для аналога или нормативный, то делается вывод о нетехнологичности конструкции в эксплуатации и ремонте без учета факторов, в том числе и конструкторского характера (компоновочные решения, унифицированность со-

ставных частей, эргономика конструкции и т.д.), повлиявших на изменение. Разложение оценок экспертов по конструкторско-технологическим факторам, влияющим на ЭРТ ЭС, позволило бы ускорить процессы отработки изделий по выявленным направлениям совершенствования конструкции.

Другой метод типовых нормативов основан на использовании технически обоснованных нормативов времени на выполнение приемов и переходов операций ремонта. Анализируя конструкторскую документацию или опытный образец изделия, определяют число исполнителей и нормообразующие факторы, согласно которым выбирают продолжительность выполнения элементов операций из справочных таблиц. Рассчитывают фактическую продолжительность i -го элемента операции с учетом отклонений реальных условий выполнения от оптимальных через поправочные коэффициенты. Суммируя трудоемкость элементов операций, а затем самих операций, определяют трудоемкость всего технологического процесса ремонта ЭС.

Аналогичный метод микроэлементных нормативов базируется на представлении всех операций в виде суммы простейших движений исполнителей (микроэлементов работы), на которые имеются типовые нормы времени в относительных единицах. Для перехода к абсолютным значениям используют коэффициент, определяемый в виде отношения наблюдаемой при хронометраже длительности операции к длительности в относительных единицах.

Методы применимы лишь на последних стадиях проектирования ЭС, они довольно трудоемкие. Типовые нормативы времени разработаны не на все виды работ, а существующие требуют корректировки. Полученные результаты не позволяют судить о факторах, влияющих на изменение трудоемкости операций ремонта.

Еще один используемый на практике для оценки ЭРТ ЭС метод статистических зависимостей предполагает построение модели. Через нее трудоемкость обслуживания и ремонта связывают с основными техническими характеристиками или конструкторско-техническими факторами. Метод требует обширного статистического материала по большому числу объектов, которое увеличивается на порядок при включении в модель еще одного дополнительного фактора.

Проведенный анализ позволяет сформулировать следующие принципиально важные выводы:



1) существующие методы оценки ЭРТ ЭС не позволяют комплексно оценить этот показатель, а дают лишь оценку основных составляющих – трудоемкости, стоимости, продолжительности обслуживания и ремонта;

2) ЭРТ, выраженная в конкретных конструкторских решениях, закладывается в изделие еще на ранних этапах проектирования и зависит в большей мере от таких свойств, как доступность и легкосъемность конструкции, взаимозаменяемость составных частей, контролепригодность, технологическая преемственность;

3) возникает задача достоверного выражения названных свойств, разработки системы показателей количественной оценки ЭРТ ЭС, отражающих влияние на временные и стоимостные эксплуатационно-ремонтные затраты конструкторско-технологических факторов.

Разработка системы показателей количественной оценки ЭРТ ЭС

Доступность, как частное свойство конструкции ЭС, характеризует приспособленность ее к выполнению отдельных ремонтных операций. Это свойство обеспечивается открытостью, доступностью мест ремонта и обслуживания изделия, возможностью беспрепятственного визуального осмотра, проведения необходимых манипуляций, применения инструмента, контрольно-измерительной аппаратуры (КИА), автоматизированных диагностических систем в рабочей зоне. Конструкция изделия должна позволять параллельно обслуживать или ремонтировать ЭС нескольким исполнителям в удобной рабочей позе.

Доступность закладывается при выборе оптимальных компоновочных и эргономических решений. Высокую доступность обеспечивает блочный принцип компоновки ЭС в виде разъемных, касетных и книжных конструкций блоков, так как при этом достигается высокая степень технологичности и ремонтпригодности за счет доступности осмотра и замене всех входящих в конструкцию частей без предварительного удаления других частей. Обеспечивается раскрытие по шарнирным сочленениям в ребрах блоков либо выдвижение частей конструкции по направляющим. В таком случае возможен быстрый доступ к рабочей точке без отключения схемы или с применением переходных кабелей для подключения к схеме.

В дополнение существующих показателей доступности, оценивающих трудоемкость обслуживающих и ремонтных операций, предлагается ввести **коэффициент доступности конструкции**, учитывающий конструкторско-технологические особенности ЭС, который удобно представить в виде:

$$K_d = \frac{\sum_{i=1}^n (S_{di} K_1 K_2 K_3)}{\sum_{i=1}^n S_i},$$

где S_{di} – площадь открытых, доступных для обслуживания и ремонта поверхностей i -й ($i=1, 2, \dots, n$) составной части изделия (функционального узла, блока) после поворота, выдвижения;

K_1 – поправочный коэффициент, учитывающий степень свободы манипуляций при выполнении работ (для свободных условий проведения работ с применением инструмента, КИА, диагностических средств рекомендуется $K_1 = 1,0$; для условий, препятствующих использованию названных средств, но позволяющих свободно выполнять некоторые виды манипуляций $K_1 = 0,75$; для стесненных условий, когда требуется применение специнструмента и дополнительных манипуляций, демонтаж самого узла или других составных частей изделия $K_1 = 0,5$);

K_2 – поправочный коэффициент, учитывающий возможности параллельного выполнения работ (если ремонт и обслуживание может проводить лишь один исполнитель, следует принять $K_2 = 0,75$; при возможности проведения работ одновременно двумя и более исполнителями $K_2 = 1,0$);

K_3 – поправочный коэффициент, учитывающий удобство позы исполнителя для выполнения работ и осмотра (при удобной позе выполнения работ сидя, без утомления и открытости зоны для визуального контроля исполнителем, принимаем $K_3 = 1,0$; при малоудобной позе с наклоном, стоя на коленях, сидя на корточках и частичной открытостью зоны визуального осмотра $K_3 = 0,75$; при неудобной, сильно утомляющей позе лежа, нагнувшись и полностью закрытой руками исполнителя или другими элементами конструкции зоны $K_3 = 0,5$);

S_i – общая площадь поверхностей i -й составной части изделия.

В случаях когда доступность конструкции к ремонтным операциям низкая, возрастает значение такого свойства, как легкосъемность конструкции ЭС. Легкосъемность характеризует приспособлен-



ность конструкции и ее элементов к частичной или полной сборке/разборке с минимальными затратами средств, труда, времени.

Обеспечить высокую легкоосъемность конструкции можно, прежде всего, рациональным построением структуры изделия, оптимальным расчленением его на составные части по блочно-модульному принципу. В конструкции изделия должны использоваться рациональные способы крепления, соединения составных частей, подлежащих демонтажу при обслуживании и ремонте.

Рациональность здесь означает селективный подход к выбору соединений изделия в зависимости от условий эксплуатации, массогабаритных характеристик, надежности креплений и т.п. Но во всех случаях крепления (соединения) не должны требовать при демонтаже местного нагрева, применения химических средств, смазок, больших усилий, сложной оснастки и инструмента. Повышает легкоосъемность применение откидных болтов, затворов с перекидными рычагами, фасок на отверстиях для быстрого заворачивания винтов.

Детали, подвергаемые разборке, должны быть обеспечены посадками с гарантированным натягом и демонтажными базами, а установочные, присоединительные и рабочие размеры изделия и составных частей должны быть выдержаны по допустимым отклонениям. Следует учитывать и косвенные факторы, влияющие на легкоосъемность конструкции ЭС. Имеется в виду исключение возможности неправильного соединения разъемных частей, обеспечение установки в удобных положениях на рабочем столе извлекаемых во время ремонта частей изделия, исключение возможности утери крепежа (применение невыпадающих винтов, отсеки для раскладки крепежа на крышке изделия и т.п.).

Коэффициент легкоосъемности конструкции предлагается рассчитывать по формуле

$$K_{лс} = \frac{N_p}{N},$$

где N_p – число составных частей изделия, в которых применяются рациональные способы крепления (откидные болты, защелки, затворы с перекидными рычагами, лапки и др.);

N – общее число составных частей изделия, подлежащих демонтажу при обслуживании и ремонте.

Свойства конструкции изделия обеспечивать возможность, удобство и надежность ее контроля

при техническом обслуживании и ремонте ЭС характеризует такой показатель, как контролепригодность. Для всех классов ЭС важно при конструировании составных частей и всего изделия обеспечить их приспособленность к использованию рациональных методов и средств диагностирования, возможность проведения контрольно-измерительных операций без демонтажа составных частей.

Число выбранных конструктором контрольных точек и контролируемых параметров должно быть необходимым и достаточным с точки зрения полноты, точности и достоверности оценок состояния ЭС.

Предлагается оценивать контролепригодность ЭС на этапах проектирования двумя показателями:

1) **коэффициентом полноты контроля**

$$K_{п.к} = 1 - \frac{H_{к.т}}{H_{к.п}},$$

где $H_{к.т}$ – число точек контроля в изделии;

$H_{к.п}$ – число контролируемых параметров изделия;

2) **коэффициентом контроледоступности**

$$K_{к.д} = \frac{H_{к.п}^{д.п}}{H_{к.п}},$$

где $H_{к.п}^{д.п}$ – число контролируемых параметров в изделии без демонтажа составных частей;

$H_{к.п}$ – общее число контролируемых параметров изделия.

Взаимозаменяемость составных частей ЭС определяется возможностью применения составной части изделия одного назначения и с одинаковыми характеристиками без дополнительных подгоночных и регулировочных операций вместо другой составной части.

На взаимозаменяемость и в целом на процессы эксплуатации ЭС существенное влияние оказывают стандартизация и унификация элементов и составных частей конструкции, ограничение типоразмеров. В результате применения методов стандартизации и унификации упрощается техническое обслуживание и улучшается ремонтпригодность, уменьшается количество используемых КИА, диагностического оборудования и инструмента, снижаются время технического обслуживания, затраты на материалы, стоимость и трудоемкость процессов эксплуатации ЭС.

Оценку заимствованных составных частей ЭС при экспертизе на ЭРТ следует производить с помощью **коэффициента унификации по типоразмерам**



$$K_{\text{ун}} = \frac{N_3^{\text{и.п}} + N_3^{\text{д.к}}}{N_{\text{ор}} + N_3^{\text{и.п}} + N_3^{\text{д.к}}},$$

где $N_3^{\text{и.п}}$ и $N_3^{\text{д.к}}$ – число типоразмеров составных частей, заимствованных с изделий-предшественников и заимствованных в рамках данной конструкции и из других одновременно разрабатываемых изделий;

$N_{\text{ор}}$ – число типоразмеров составных частей оригинального исполнения.

В качестве частной оценки взаимозаменяемости можно рекомендовать конструкторам ЭС при комплексной оценке ЭРТ использовать **коэффициент повторяемости составных частей изделия** (сборочных единиц, деталей, электрорадиоэлементов, микросборок и микросхем, материалов):

$$K_{\text{пов}} = 1 - \frac{N}{M},$$

где N – общее число типоразмеров составных частей в изделии;

M – общее число составных частей в изделии.

Технологическая преемственность в отношении процессов технического обслуживания и ремонта также должна обеспечиваться на этапах проектирования ЭС в виде регламентации ремонтных, контрольно-измерительных, наладочных и регулировочно-подборочных работ, а также используемых при этом оборудования, КИА, инструмента. Этот показатель рекомендуется оценивать с помощью:

1) **коэффициента применения типовых технологических процессов** технического обслуживания и ремонта ЭС:

$$K_{\text{тип}} = \frac{T_{\text{тип}}}{T},$$

где $T_{\text{тип}}$ – число типовых технологических процессов технического обслуживания и ремонта изделия;

T – общее число технологических процессов технического обслуживания и ремонта изделия;

2) **коэффициента преемственности оснастки** для выполнения технического обслуживания и ремонта:

$$K_{\text{пр}} = 1 - \frac{O_{\text{тр}}}{N},$$

где $O_{\text{тр}}$ – число типоразмеров оснастки (оборудования, стендов, контрольно-измерительных комплексов и др.), используемой в процессах технического обслуживания и ремонта изделия;

N – общее число типоразмеров составных частей в изделии.

Предлагаемая система показателей количественной оценки ЭРТ была реализована на этапах разработки устройства оперативного контроля технического состояния систем и бортового оборудования самолетов на ОАО "Концерне КЭМЗ". В результате более полной и достоверной оценки ЭРТ на этапах эскизного и технического проектирования с использованием конструкторских показателей легкосъемности, доступности, контролепригодности, взаимозаменяемости и технологической преемственности, удалось снизить стоимость эксплуатационных затрат различных видов ресурсов при техническом обслуживании и ремонте этого изделия на 7 % по сравнению с изделием-аналогом, оценка и отработка которого проводились с использованием традиционных методик.

Заключение

Предложенная система количественных показателей оценки ЭРТ ЭС дополняет предлагаемые действующей нормативной базой рекомендации. Применяемая в практике приборостроительных предприятий система оценки ЭРТ в основном базируется на использовании качественных либо количественных технико-экономических показателей трудоемкости, стоимости и длительности процессов технического обслуживания и ремонта. Внедрение в эту систему конструкторских показателей в виде разработанных коэффициентов позволяет оценить эффект от использования принципов технологичности, получаемый на этапе эксплуатации, еще на ранних стадиях конструкторской подготовки производства при формировании рациональных вариантов технических решений.

Отработка ЭС на ЭРТ по приведенной методике позволит не только снизить затраты на действующем предприятии, но и будет способствовать поддержке эксплуатации, повышению надежности, ремонтнопригодности и конкурентоспособности изделий.

Библиографический список

1. **Dhillon B.S.** Maintainability, maintenance and reliability for engineers. Taylor & Francis. 2006. 240 p.
2. **Nodem F.D., Kenne J.P., Gharbi A.** Simultaneous control of production, repair/replacement and preventive maintenance of deteriorating manufacturing systems // International journal of production economics. 2011. Vol. 134. Issue 1. P. 271–282.
3. **Надежность** в технике. Расчет показателей ремонтнопригодности при разработке изделий. Методические рекомендации. МР 252–87. М.: ВНИИНМаш, 1987. 33 с.
4. **ГОСТ Р 51901.3–2007.** Менеджмент риска. Руководство по менеджменту надежности. М.: Стандартинформ, 2008. 54 с.

СБОРОЧНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ЕГО ЭЛЕМЕНТЫ

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.ru

Применение промышленных роботов в заготовительном производстве

На основе сравнительного анализа планировок робототехнических комплексов показана техническая и экономическая целесообразность использования промышленных роботов в заготовительном производстве, структура которого определяется организационной формой технологического процесса и характеристикой объекта обработки.

Применен метод системного анализа для выбора конструктивного варианта промышленных роботов (напольный или подвесной, одно- или двухзахватный) и других средств автоматизации в составе робототехнических комплексов. Приведены оптимальные варианты компоновок робототехнических комплексов для производства заготовок методом литья под давлением, разделения сортового проката и холодной листовой штамповки с использованием многоруких роботов со сдвоенными захватами.

Technical and economic expediency of the employment of industrial robots for blanking production was shown. Moreover, the investigation is accomplished on the basis of the comparative analysis of robotic complexes layouts. Consequently, the structure of this production is determined by the organizational form of the technological process and some machining object characteristics.

A theoretical framework is proposed to describe the method of the system analysis for selecting some constructive variant of industrial robots (floor mounted or overhead, single-arm or double-armed) and other means of automation including robotic complexes.

It is possible, for example, to apply some optimum variants of robotic complexes layouts for blanking production. As a result the die casting method as well as the method of dividing the rolling process of some definite sort and cold sheet stamping process employing multiarm robots with twin grippers.

Ключевые слова: промышленный робот, производство заготовок, литье под давлением, сортовой прокат, холодная штамповка.

Keywords: industrial robot, blanking production, die casting, rolling of some definite sort, cold sheet stamping.

В производстве заготовок методом литья под давлением применяют робототехнические комплексы (РТК), в состав которых входят (рис. 1): машина литья под давлением 1 (МЛД), электро-

печь с расплавом, ванна для охлаждения отливок, разгрузочный промышленный робот (ПР) 5, обрубной пресс 4, отводящий транспортер 3 и система управления.

В представленной схеме РТК используется напольный ПР, который выгружает отливки после раскрытия литейной камеры 2 и переносит их в ванну для охлаждения отливок (на рис. 1 она не показана), затем под обрубной пресс 4. После обрубки летников отлитые заготовки попадают на отводящий транспортер 3, а летники по наклонному лотку-склизу сбрасываются в тару. В двухпозиционном захватном устройстве робота 5 кроме клещевого захвата имеется форсунка для смазывания литейной формы.

Любая литейная машина снабжена манипулятором-дозатором 2 (рис. 2, а и б), который в цикле загружает необходимую дозу расплава из печи 1 в МЛД 3. В некоторых компоновочных схемах РТК для выполнения функции смазки применяют специальный манипулятор 4 (рис. 2, в). Варианты компоновок РТК с подвесным и напольным ПР представлены на рис. 3.

Разновидностью производства заготовок методом литья под давлением является пресс-литейное производство деталей из пластмасс.

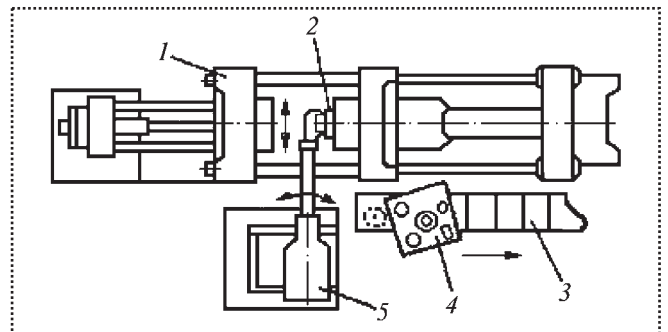


Рис. 1. Робототехнический комплекс для производства заготовок методом литья под давлением:

1 – МЛД; 2 – литейная камера; 3 – отводящий транспортер; 4 – обрубной пресс; 5 – ПР

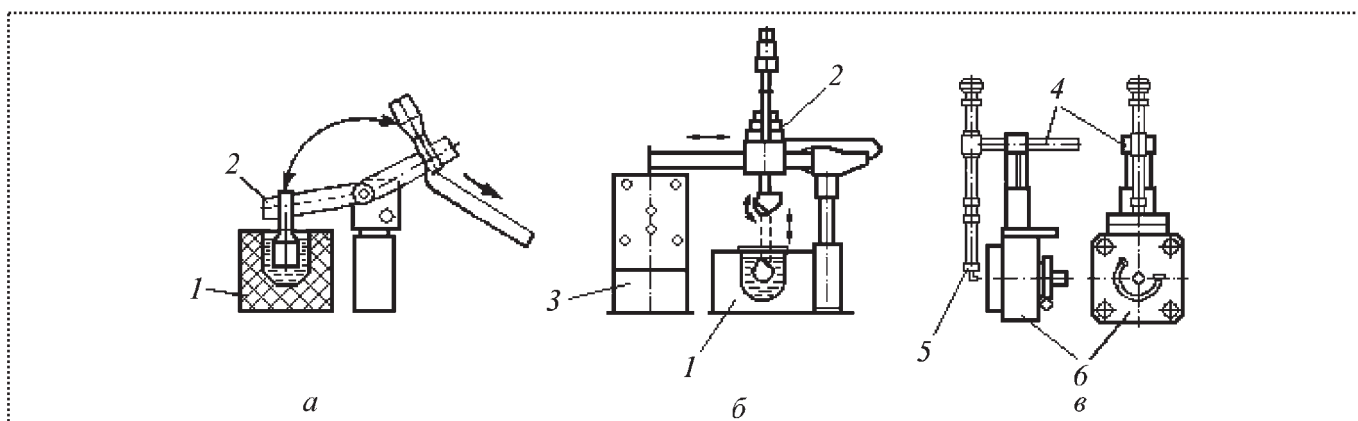


Рис. 2. Дозатор-опрокидыватель (а), дозатор портального типа (б) и манипулятор для смазки литейной формы (в): 1 – печь с расплавом; 2 – манипулятор-дозатор; 3 – МЛД; 4 – смазочный манипулятор; 5 – форсунка; 6 – литейная форма

Обычно РТК для такого производства включает две пресс-литьевые машины 1 (рис. 4), обслуживающий их робот 2, устройство снятия облоя и заусенцев 3 и накопитель 4 готовых изделий.

В бункер пресс-литьевой машины (термопластавтомата) загружают гранулы исходного материала (например, поликарбоната или ударопрочного полистирола), которые при нагреве расплавляются, после чего доза расплава подается в литейную форму, где происходит прессование деталей. Функции робота по обслуживанию здесь те же, что и в РТК на рис. 3.

Автоматизация кузнечно-прессового оборудования с помощью ПР осуществляется путем создания РТК для разделения исходных мате-

риалов, листовой штамповки, холодной и горячей объемной штамповки,ковки, прессования изделий из пластмасс и порошков.

Вариант компоновки РТК для разделения шестиметровых прутков включает: накопитель каскадного типа 2 (рис. 5), элеваторное загрузочное устройство 3, ПР 1 для подачи прутков из накопителя в загрузочное устройство, однорядный гравитационный накопитель 5, роликовый транспортер 4 для шаговой подачи прутка, разделительный пресс 6, транспортер штучных заготовок 7, два робота-укладчика 8 штучных заготовок в тару 9.

Конструкция робота для длинномерных прутков должна иметь двухзахватное устройство: одна рука со сдвоенным клещевым захватом или

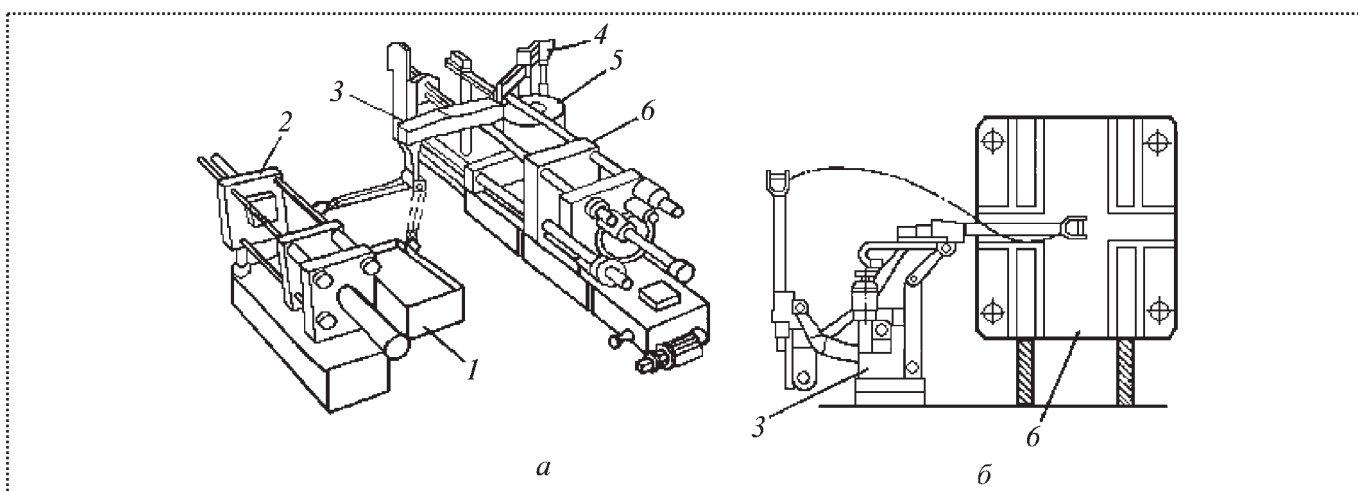


Рис. 3. Варианты РТК для производства заготовок методом литья под давлением с подвесным (а) и напольным (б) ПР: 1 – ванна для охлаждения отливок; 2 – горизонтальный обрубной пресс; 3 – разгрузочный ПР; 4 – дозатор; 5 – печь с расплавом; 6 – МЛД

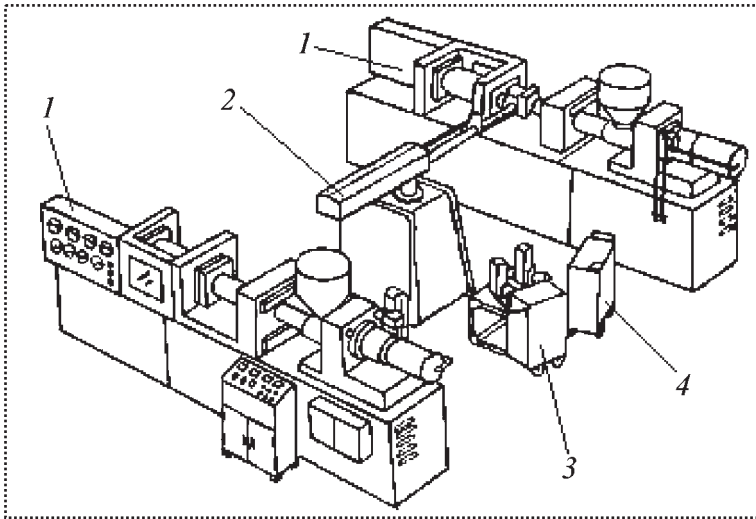


Рис. 4. Робототехнический комплекс в составе двух пресс-литьевых машин для производства деталей из пластмасс:

1 – пресс-литьевая машина; 2 – ПР; 3 – устройство снятия облоя; 4 – накопитель

две синхронно работающие руки с клещевыми захватами. Расстояние между захватами должно быть 1,5...2,0 м (рис. 6). Кроме того, захватные устройства обоих роботов должны быть универсальными с учетом деления в РТК прутков

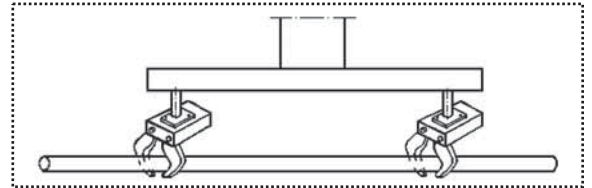


Рис. 6. Сдвоенный клещевой захват для длинномерных прутков

различного профиля (круглых, квадратных, шестигранных и т.п.).

Наличие в РТК двух роботов-укладчиков вызвано высокой производительностью разделительного пресса. В подобных РТК обязательно предусматривают специальное устройство для автоматического удаления немерного остатка исходного прутка.

Роботы, обслуживающие прессовое оборудование, обычно имеют несколько рук, что позволяет повысить производительность штамповочных РТК. Например, робот 4 (рис. 7, а), обслуживающий в составе РТК два консольных (одностоечных) пресса 1, имеет три руки, захваты которых одновременно взаимодействуют с заготовками в матрицах прессов и в магазине заготовок 2 (или в магазине деталей 3).

Поскольку консольный пресс позволяет вносить заготовку в рабочую зону поворотом руки, последняя имеет постоянный вылет, что упрощает конструкцию робота. Промежуточное положение рук ПР под углом 45° (см. штриховой контур на рис. 7, а) соответствует по циклограмме рабочему ходу пуансона пресса.

Робот, обслуживающий один двухстоечный пресс, имеет две руки с радиальным ходом захватов, поскольку конструкция пресса не позволяет вносить заготовку в рабочую зону простым поворотом руки (рис. 7, б).

При обслуживании трех прессов 1 (рис. 8) используют четырехрукий робот 2 с одной откидной рукой 6 (с целью облегчения входа в зону РТК наладчика) и одной втяжной рукой 8 с целью обработки заготовок в двухпозиционных штам-

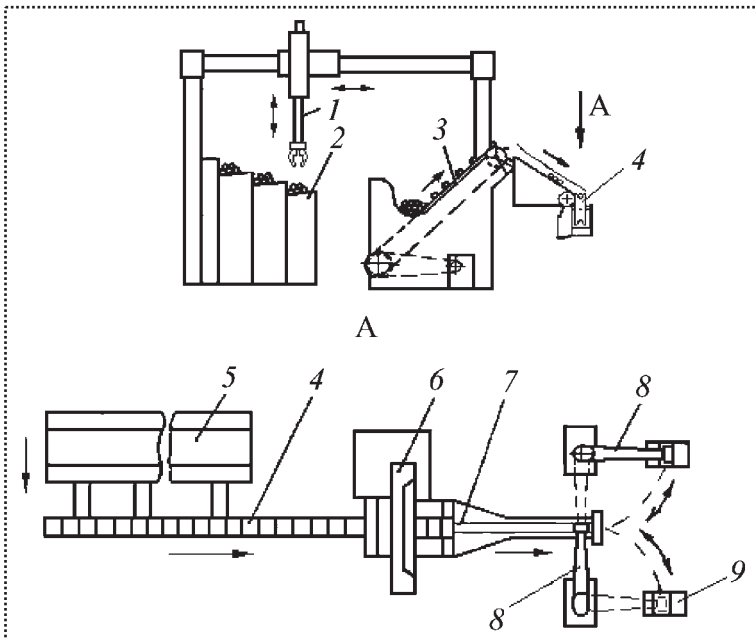


Рис. 5. Робототехнический комплекс для деления сортового проката (прутков) на мерные заготовки:

1 – ПР; 2 – накопитель; 3 – элеваторное загрузочное устройство; 4 – транспортер прутков; 5 – гравитационный накопитель; 6 – разделительный пресс; 7 – транспортер штучных заготовок; 8 – робот-укладчик; 9 – тара

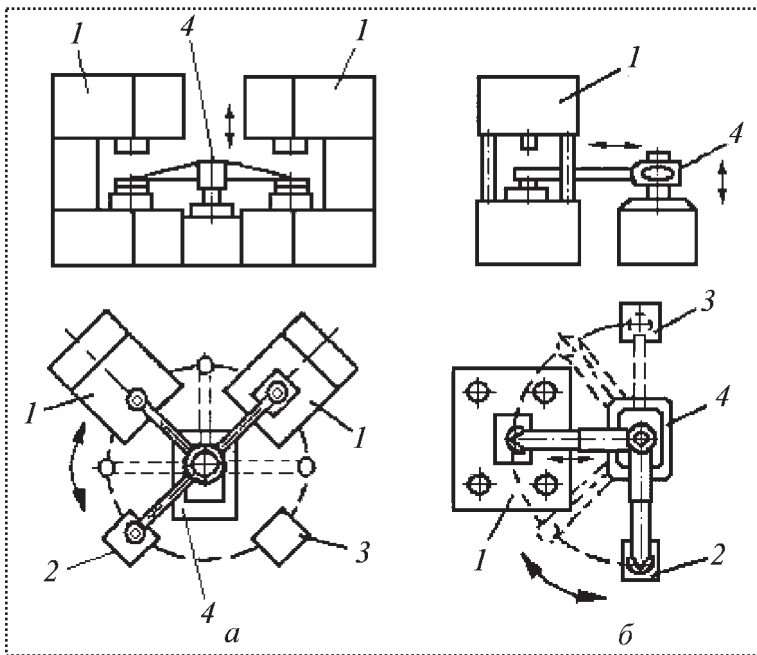


Рис. 7. Робототехнические комплексы для холодной листовой штамповки:

a – с двумя консольными прессами и трехруким ПР; *б* – с одним двухстоечным прессом и двухруким ПР

пах. Радиальный ход захвата на руке позволяет переключать заготовку с наружного технологического круга на внутренний (рис. 9).

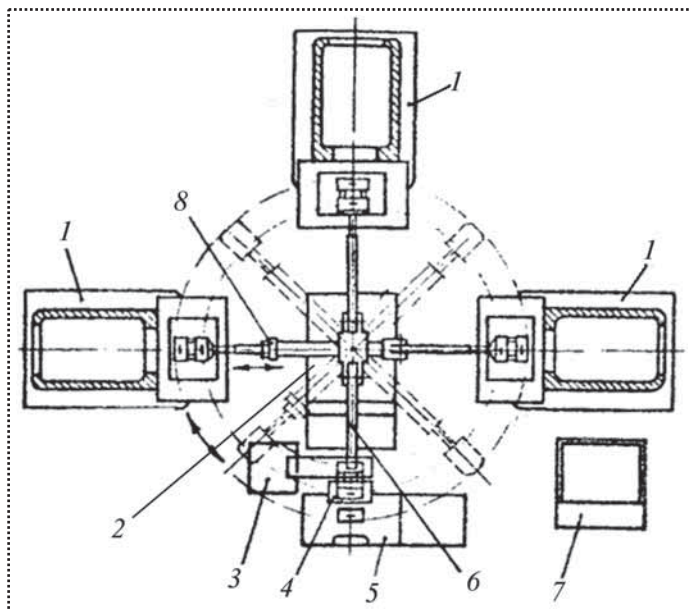


Рис. 8. Схема обслуживания ПР трех прессов:

1 – пресс с двухпозиционным штампом; *2* – четырехрукий робот; *3* – накопитель готовых деталей; *4* – промежуточный столик; *5* – накопитель заготовок; *6* – откидная рука; *7* – система управления; *8* – рука с втяжным захватом

В позиции III' втяжная рука ПР переключает заготовку, прошедшую по наружному кругу, на промежуточный столик 4 (см. рис. 8) с целью дальнейшей обработки ее по внутреннему технологическому кругу (циклу). Так же как и в предыдущей схеме этот РТК оборудован накопителями деталей 3, заготовок 5 и системой управления 7.

Во время поворота руки 8 и радиального хода захвата происходит сброс готовой детали в накопитель 3, укладка полуфабриката на промежуточный столик 4, затем одновременный захват новой заготовки из накопителя 5 и полуфабриката с промежуточного столика (сдвоенной присоской).

Внешний вид двух РТК холодной штамповки с обслуживающим роботом показан на рис. 10. Робототехнический комплекс с одним прессом предназначен для вырубки отверстий в круглом стальном листе (рис. 10, *a*). Обслуживающий робот 2 снабжен двумя вакуумными захватами (на рис. 10, *a* они не показаны). Одним захватом ПР берет заготовку из магазина 4, а другим – готовую деталь из матрицы пресса 3 и укладывает их соответственно в матрицу и магазин 1. Пред-

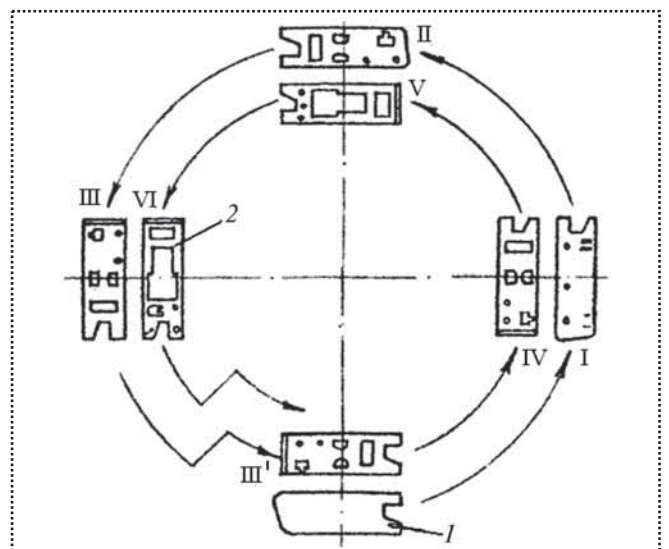


Рис. 9. Технологическая схема обработки заготовок в двухпозиционных штампах:

1 – заготовка; *2* – готовая деталь; I–VI – позиции штамповки по наружному и внутреннему кругу

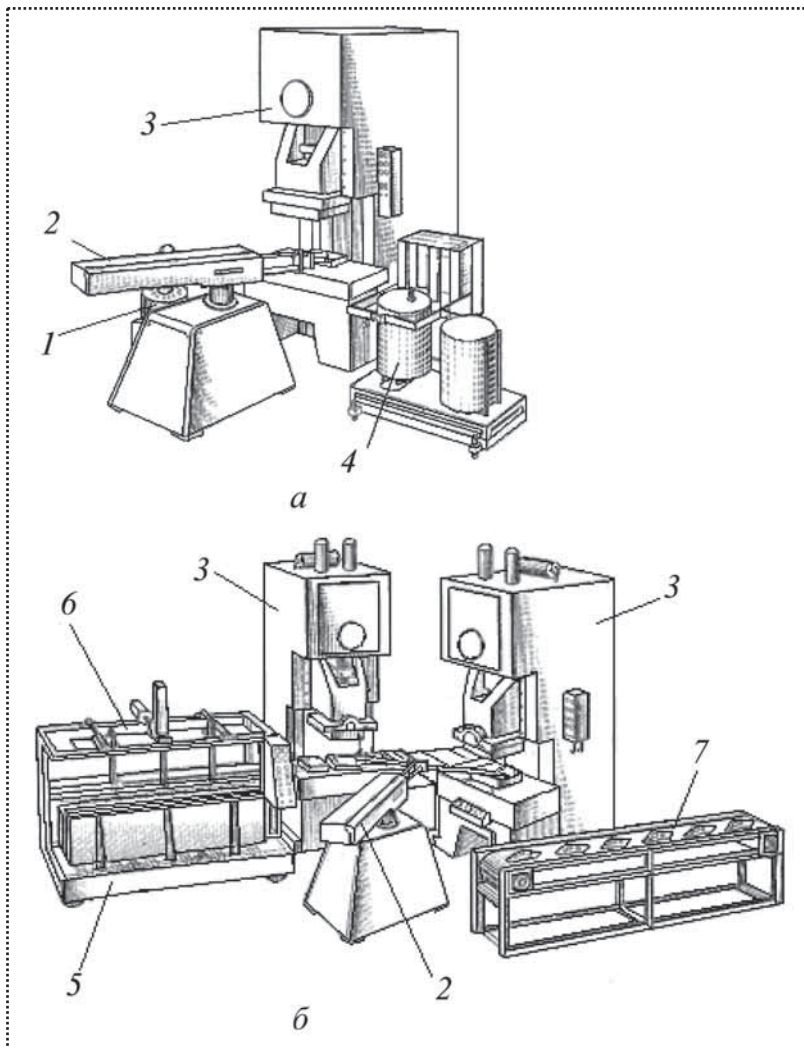


Рис. 10. Робототехнический комплекс холодной штамповки:

а – с одним прессом; *б* – с двумя прессами; 1 – магазин; 2 – ПР; 3 – пресс; 4 – магазин; 5 – штабель; 6 – загрузочное устройство; 7 – отводящий конвейер

зочным устройством 6 под левый захват робота 2, который устанавливает лист на первый штамп 3. После рабочего хода пресса ПР переносит полуфабрикат на второй пресс и одновременно правым захватом укладывает готовую деталь на отводящий конвейер 7. Далее цикл повторяется.

Вывод

Проведенный анализ показал техническую и экономическую целесообразность использования в РТК заготовительного производства многоруких промышленных роботов со сдвоенными захватами, способных обслуживать до трех единиц технологического оборудования и обеспечивающих его программную и структурную переналадку.

Библиографический список

1. **Иванов А.А.** Основы робототехники. М.: Форум, 2011. 224 с.
2. **Козырев Ю.Г.** Промышленные роботы: справочник. М.: Машиностроение, 1988. 376 с.
3. **Попов Е.П., Письменный Г.В.** Основы робототехники. Введение в специальность. М.: Высш. шк., 1990. 224 с.

ставленный в данном РТК робот является альтернативой двухрукому ПР.

Робототехнический комплекс с двумя прессами выполняет штамповку деталей из листовой стали (рис. 10, б). Длинные стальные листы, уложенные в штабель 5, подаются по одному загруз-



УДК 621.744.37

С.А. Микаева, д-р техн. наук, **А.С. Микаева**, инженер
(Московский государственный университет приборостроения и информатики),
О.Е. Железникова, канд. техн. наук, **С.В. Прытков**, инженер
(Мордовский государственный университет – МГУ им. Н.П. Огарёва, г. Саранск)
E-mail: mikaeva@pechkin.npo.lit.ru

Сборка устройства **Imagin Sphere™** для измерения пространственных характеристик светодиодов и светодиодных источников света

Описан новый метрологический комплекс *Imaging Sphere™*, который позволяет измерить угловое распределение силы света I_{α} , координат цветности X, Y , цветовой температуры $T_{\text{цв}}$ в диапазоне $0...180^{\circ}$. Предел допускаемой основной погрешности измеряемых величин менее 10 %.

The new metrological complex *Imaging Sphere™*, which allows you to measure the angular distribution of the intensity of the light I_{α} , chromaticity coordinates X, Y , color temperature $T_{\text{цв}}$ in the range $0...180^{\circ}$ is describes. Limit of an admitted basic error of measured values not more than 10 %.

Ключевые слова: сборка устройства, метод, характеристика, светодиод, метрологический комплекс.

Keywords: assembly devices, method, characteristic, led, metrological complex.

Для проведения широких светотехнических исследований на высоком научном уровне и на современном оборудовании был создан Центр коллективного пользования (ЦКП) "Светотехническая метрология". В его составе имеется высокоскоростной мультиканальный спектрометрический комплекс, предназначенный для измерений светодиодных источников света в диапазонах длин волн 380...1100 и 200...780 нм и спектрометр OL 770 в комплекте с интегрирующей сферой диаметром 2000 мм производства Gooch & Housego (США) [1, 2].

Одной из составляющих указанного комплекса является *Imagin Sphere™* – устройство для измерения пространственных характеристик излучения светодиодов. *Imagin Sphere™* позволяет измерить угловое распределение силы света I_{α} , координат цветности X, Y , цветовой температуры

$T_{\text{цв}}$ в диапазоне $0...180^{\circ}$. Предел допускаемой основной погрешности измеряемых величин менее 10 %.

Принцип работы *Imagin Sphere™* был разработан фирмами Radiant Imaging и Royal Philips Electronics. Сборка устройства состоит из полусферы, выпуклого сферического зеркала и колориметра.

Полусфера крепится к основанию плоской формы, поверхность которой поглощает практически все падающее излучение. В основании есть отверстие для монтажа светодиода.

Основные элементы конструкции *Imagin Sphere™* изображены на рис. 1. Внутренняя поверхность полусферы покрыта высококачественным светорассеивающим материалом на основе сульфата бария и графита с низким коэффициентом отражения – 18...20 %. Свет, отразившись от данного покрытия, равномерно рассеивается по поверхности полусферы, создавая при этом одинаковую освещенность на всех ее участках.

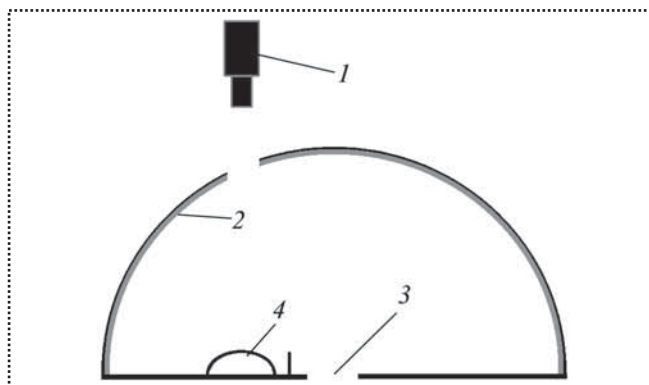
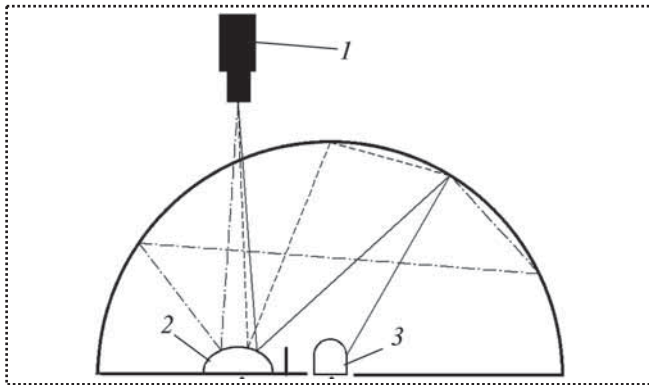


Рис. 1. Основные элементы конструкции *Imagin Sphere™*:
1 – колориметр; 2 – диффузное покрытие; 3 – центральное отверстие; 4 – зеркало


Рис. 2. Ход лучей в полусфере:

1 – колориметр; 2 – сферическое зеркало; 3 – светодиод

Коэффициент отражения покрытия основания полусферы стремится к нулю.

Суммарная освещенность $E_{\text{сум}}$ каждого участка поверхности полусферы определяется по формуле

$$E_{\text{сум}} = E_{\text{пр}} + \frac{\rho}{1-\rho} \frac{\Phi}{2\pi r^2}, \quad (1)$$

где $E_{\text{пр}}$ – освещенность, которую создает светодиод в данной точке при непосредственном падении света на внутреннюю поверхность;

ρ – коэффициент отражения;

Φ – световой поток.

Освещенность E от рассеянного света пропорциональна световому потоку светодиода:

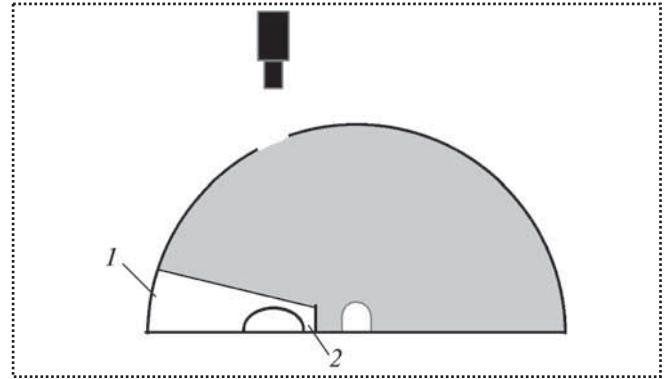
$$E = \frac{\rho}{1-\rho} \frac{\Phi}{2\pi r^2}. \quad (2)$$

Ее значение обычно не превышает 1 % от освещенности $E_{\text{пр}}$ (за счет введения в состав покрытия внутренней поверхности полусферы графита).

Процесс измерений происходит следующим образом. Свет, излучаемый светодиодом в заданном направлении (обозначен сплошной линией на рис. 2), падает на внутреннюю поверхность полусферы. Затем он диффузно отражается.

Часть отраженных лучей (штриховая линия) сразу попадает на зеркало и проецируется на поверхность светочувствительной ПЗС-матрицы*.

* ПЗС – прибор с зарядной связью (прим. ред.)


Рис. 3. Экран 2 и образованная им затененная область 1

Так оценивается значение первичной освещенности в данной точке.

Другая часть отраженных лучей (обозначены штрихпунктирной линией) многократно переотражается всеми участками полусферы, а затем также попадает на зеркало и проецируется на поверхность светочувствительной ПЗС-матрицы.

Для того чтобы оценить эффект, создаваемый рассеянным светом, между светодиодом и зеркалом ставится экран 2 (рис. 3). Размер экрана подобран таким образом, чтобы предотвратить попадание на зеркало прямых лучей от светодиода.

В результате на поверхности полусферы образуется область, в которой освещенность участков определяется только действием рассеянного света. Изображение этой области содержит информацию, необходимую для оценки действия рассеянного света с последующим введением поправки при расчете светораспределения.

Необходимо отметить, что центральное расположение светодиода обеспечивает равноудаленность участков поверхности полусферы, благодаря чему их освещенность точно характеризует распределение силы света источника в пространстве. Сила света I_{α} в данном направлении равна произведению освещенности E участка поверхности на квадрат радиуса r полусферы:

$$I_{\alpha} = Er^2. \quad (3)$$

Вследствие того, что зеркало располагается не в центре полусферы, изображение ее внутренней поверхности несколько искажено. Искажение изображения оценивается с помощью трасси-



ровки лазерного луча и программно исправляется (рис. 4, на стр. 2 обложки).

Пучок света, идущий от зеркала, последовательно перекрывается светофильтрами, спектральные коэффициенты пропускания которых подобраны таким образом, чтобы выполнялись следующие условия:

$$\begin{aligned} \tau_1(\lambda) S(\lambda) &= a \bar{x}(\lambda); \\ \tau_2(\lambda) S(\lambda) &= a \bar{y}(\lambda); \\ \tau_3(\lambda) S(\lambda) &= a \bar{z}(\lambda), \end{aligned} \quad (4)$$

где $\tau_1(\lambda)$, $\tau_2(\lambda)$, $\tau_3(\lambda)$ – спектральные коэффициенты пропускания светофильтров;

$S(\lambda)$ – спектральная чувствительность кремния;

a – коэффициент пропорциональности;

$\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$ – функции удельных координат цвета (кривые сложения) в системе XYZ.

Фотоны, падающие на поверхность ПЗС-матрицы, генерируют свободные носители заряда. По времени накопления заряда (времени экспозиции) можно судить об интенсивности падающего излучения. Время экспозиции пучка света, прошедшего через разные светофильтры, будет разным и будет пропорционально координатам цвета.

Данный факт позволяет определить угловое распределение коррелированной цветовой температуры и координат цветности в системе координат XYZ. Для определения распределения силы света используется только зеленый светофильтр, для которого

$$\tau(\lambda) S(\lambda) = aV(\lambda), \quad (5)$$

где $V(\lambda)$ – относительная спектральная световая эффективность.

В колориметре помимо трех цветных светофильтров установлены два нейтральных. Они задействуются в случае высокой интенсивности излучения.

Использование в качестве приемника излучения ПЗС-матрицы обусловлено возможностью дискретного получения и передачи сигнала с ее помощью. В результате за один тот же момент времени можно получать информацию

о силе света по разным направлениям пространства.

Необходимо отметить, что чувствительности каждого пикселя отличаются друг от друга. На рис. 5, на стр. 2 обложки приведена усредненная спектральная чувствительность кремния – материала, из которого изготавливается светочувствительная ПЗС-матрица.

По своей сути каждый пиксель представляет самостоятельный фотоэлемент с индивидуальными характеристиками, для которого необходима индивидуальная калибровка. Для этого на каждый пиксель должен падать свет с известной силой, причем одновременно. В противном случае процесс калибровки может затянуться из-за большого числа (262 144) ячеек. Эти условия выполняются при использовании эталона, разработанного производителем.

Основными элементами конструкции эталона являются источник света со стабильными параметрами (галогенная лампа накаливания – ГЛН), небольшая интегрирующая сфера, молочное стекло. Свет ГЛН входит в сферу с диффузным покрытием и после многократного переотражения равномерно распределяется по поверхности молочного стекла, закрепленного на сфере.

При прохождении сквозь молочное стекло зависимость силы света от направления принимает косинусный характер. Зная осевую силу света эталона, остальные можно вычислить по формуле

$$I_\alpha = I_0 \cos \alpha, \quad (6)$$

где I_α – сила света в направлении угла α ;

I_0 – осевая сила света.

При проведении калибровки эталон монтируют в центре полусферы. Спектральная чувствительность каждого пикселя записывается в ПЗУ компьютера и затем извлекается при обработке поступающего сигнала.

Угловое разрешение *Imagin Sphere*TM определяется числом ячеек (пикселей) матрицы и составляет 0,5°. При этом сигнал с каждой ячейки обрабатывается отдельно. Однако во многих случаях бывает достаточно разрешения 1° или более. В этом случае нет необходимости обрабатывать сигнал, поступающий от каждого пикселя. Как

самостоятельный фотоэлемент можно рассматривать группу ячеек (например, 2×2) и обрабатывать сигнал, поступающий от группы в целом. Это существенно экономит время на проведение измерения. Всего предусмотрено 3 группы: 1×1 (1 пиксель), 2×2 (4 пикселя), 4×4 (16 пикселей).

В *Imagin Sphere*TM используется полнокадровая ПЗС-матрица, которая имеет архитектуру, изображенную на рис. 6, на стр. 2 обложки. Для экспозиции, накопления и переноса заряда в ней используются все ячейки.

Во время работы полнокадровой ПЗС-матрицы необходим механический затвор (рис. 7, на стр. 2 обложки). Он используется для управления экспозицией и блокирует свет с тем, чтобы ПЗС-матрица не освещалась в процессе считывания.

Однако даже если полностью убрать свет, то в светочувствительном слое все равно присутствуют заряды, вызванные термогенерацией. Поэтому пока носителей заряда, обусловленных внутренним фотоэффектом будет меньше носителей, полученных в результате термогенерации, полезный сигнал не может быть получен.

Именно по этой причине перед началом измерений температура матрицы с помощью системы жидкостного охлаждения снижается до -10 °С. Блок-схема алгоритма измерения и его краткое описание представлены на рис. 8. Все измерения должны сохраняться в базе данных, поэтому первым шагом перед началом испытаний является либо создание новой базы данных, либо открытие существующей.

Однотипные измерения удобно сохранять в отдельную базу. Далее необходимо использовать существующие настройки или установить новые. По умолчанию пользователю предлагается две предустановленные настройки. Если он хочет определить новые настройки, то может установить скорость и число считываний сигнала, установить режимы использования све-

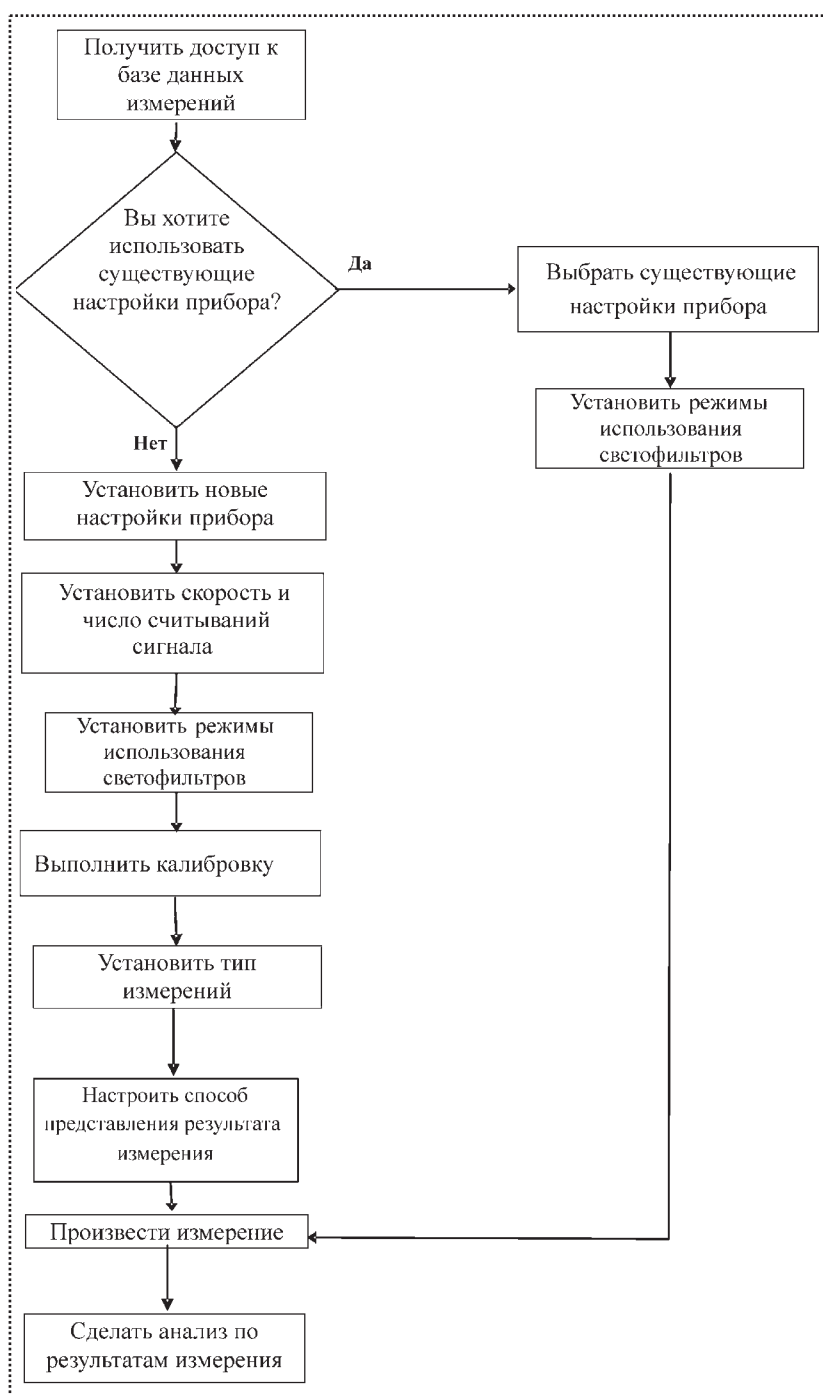


Рис. 8. Блок-схема алгоритма измерения

тофильтров, выполнить калибровку, установить тип измерений, настроить способ представления результата.

Увеличение скорости считывания сигнала уменьшает время измерения, однако побочным эффектом является увеличение соотношения сигнал/шум. Установка числа считываний необходи-



ма для того, чтобы можно было усреднять значения.

При установке режима использования светофильтров, можно определить, какие светофильтры необходимо задействовать для данного измерения, и какое при этом должно быть время экспозиции. Калибровку следует выполнять при необходимости. Производитель рекомендует интервал в один месяц.

Далее необходимо определить тип производимого измерения: распределение силы излучения, силы света или распределение координат цветности и цветовой температуры.

Затем можно определить представление результатов испытаний. Кривая силы света может быть представлена в полярной или прямоугольной системах координат. Кроме того, есть возможность просмотра фотометрического тела светодиода. После окончательной настройки прибора производится измерение. Полученные результаты о светораспределении светодиода можно сохранять в форматы: IESNA:LM-63-1995, IESNA:LM-63-2002, IESNA:LM-74-05 в новой версии программного обеспечения.

Преимуществом использования *Imagin Sphere*TM при измерении пространственных характеристик излучения является то, что в данном устройстве отсутствуют недостатки, присущие гониофотометрам – наличие погрешности при определении угла поворота и длительность процесса измерения. Метрологические возможности оборудования позволяют выполнять измерения световых, энергетических, спектральных, колориметрических характеристик, как источников оптического излучения, так и световых приборов на их основе, в том числе светодиодных.

Библиографический список

1. Микаева С.А., Железникова О.Е., Сеницына Л.В. Оборудование для световых измерений // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2012. № 9. С. 7–10.

2. Микаева С.А., Железникова О.Е., Сеницына Л.В. Комплекс современного исследовательского оборудования для световых измерений // Вестник МГУПИ. 2013. № 44. С. 5–11.

ОТ РЕДАКЦИИ

В статье "**Экспериментальные исследования эффективности усиления участка трубопровода высокого давления муфтой с внутренним наполнением**" в № 4 за 2013 год была допущена опечатка в указании инициалов авторов и места их работы. Следует читать: **Г.С. Тымчик**, д-р техн. наук, профессор, **А.А. Подолян**, аспирант (Национальный технический университет Украины, "Киевский политехнический институт"), **С.В. Пудрий**, канд. техн. наук (ООО "НПИП КиАТОН", Киев, Украина)

Редакция приносит извинения Александру Александровичу и Сергею Владимировичу.

УДК 621.822.57-229.331

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

Методика обработки экспериментальных данных и оценка погрешности результатов наблюдений при испытании модели шпиндельного узла с газостатическими опорами

Приведена методика обработки экспериментальных данных, полученных в ходе испытаний модели шпиндельного узла с газостатическими частично пористыми опорами, рассмотрена особенность методического подхода к оценке погрешностей результатов наблюдений. Приведены расчетные значения ошибки выполненных экспериментов.

Provides a method of processing the experimental data obtained during the test model of spindle assembly with gas-static partially porous supports, is considered a feature of the methodical approach to evaluating the errors of observations. The calculated value of the error of the experiments.

Ключевые слова: методика, шпиндельный узел, экспериментальное исследование, газостатическая опора, пористая вставка, выходная характеристика.

Keywords: methodology, spindle unit, experimental study, gas-static support, porous insert, output characteristic.

Исследование выходных характеристик модели шпиндельного узла с газостатическими частично пористыми опорами выполнено на экспериментальном стенде, устройство которого подробно описано в статье [1]. Конструкция стенда отличается возможностями решения универсальных задач, в частности, проведения экспериментов для сравнения эксплуатационных характеристик шпиндельных узлов (ШУ) на газостатических подшипниках с различными геометрическими, динамическими и физическими параметрами.

Методика обработки экспериментальных данных ориентирована на построение опытных характери-

стик нагрузки и жесткости на консоли вала, представляемых в относительном выражении, в зависимости от различных величин.

На рисунке показана схема замеров геометрических параметров модели шпинделя, выполняемых в период проведения большой серии экспериментов.

Эксперименты проведены при работе модели ШУ в статическом и гибридном (комбинированном) режимах [2].

Методика обработки экспериментальных данных представлена в форме алгоритма.

1. Средний радиальный зазор c_1 в переднем подшипнике, м,

$$c_1 = \frac{D - D_1}{2},$$

где D – внутренний диаметр подшипника, м;

D_1 – диаметр вала, м.

2. Текущее значение зазора между валом и вкладышем переднего подшипника, м

$$h_1 = M_1 - \frac{B}{S} (M_2 - M_1),$$

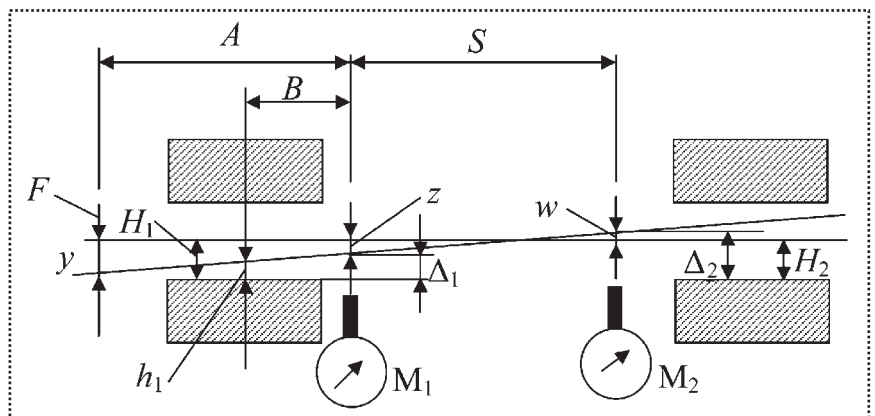


Схема замеров параметров шпинделя



где M_1 и M_2 – показания переднего и заднего микрометров соответственно, м;

B – расстояние от оси переднего подшипника до точки установки переднего микрометра (либо до оси переднего емкостного датчика при вращении вала), м;

S – расстояние между точками установки микрометров (либо между осями емкостных датчиков при вращении вала), м.

3. Относительный эксцентриситет в передней опоре вала определяется по формуле

$$\varepsilon_1 = 1 - \frac{h_1}{c_1}.$$

4. Относительное давление наддува

$$\bar{p}_s = \frac{p_a}{p_s},$$

где p_a – барометрическое давление, Па;

p_s – абсолютное давление наддува, Па.

5. Нагрузка на консоли вала, Н,

$$F = (m_{н.п} + m_{п}) g + p (S_{п} - S_{шт}),$$

где $m_{н.п}$ и $m_{п}$ – масса нагрузочного подшипника и поршня соответственно, кг;

$S_{п}$ и $S_{шт}$ – площади поршня и штока поршня, м²;

p – избыточное давление сжатого воздуха в нагрузочном подшипнике, Па.

6. Относительная нагрузка на консоли вала

$$\bar{F} = \frac{F}{(p_s - p_a) L_1 D},$$

где L_1 и D – длина и внутренний диаметр переднего подшипника, м.

7. Смещение консоли вала на линии действия радиальной нагрузки, м,

$$y = \frac{S + A}{S} (z + w) - w,$$

где A – расстояние от точки приложения нагрузки F до точки установки переднего микрометра;

z и w – угловое смещение вала у переднего и заднего подшипников, м.

Смещение вала у переднего подшипника находится по формуле

$$z = H_1 - \Delta_1,$$

где H_1 – смещение вала у переднего подшипника без нагрузки на консоли, м;

Δ_1 – смещение вала у переднего подшипника при нагрузке на консоли, м.

Смещение вала у заднего подшипника

$$w = \Delta_2 - H_2,$$

где Δ_2 – смещение вала у заднего подшипника без нагрузки на консоли, м;

H_2 – смещение вала у заднего подшипника при консольной нагрузке, м.

8. Относительное смещение консоли вала на линии действия нагрузки

$$\bar{y} = \frac{y}{c_1}.$$

9. Коэффициент жесткости на линии действия нагрузки

$$k_{\bar{F}} = \frac{d\bar{F}}{d\bar{y}}.$$

Для определения коэффициента жесткости $k_{\bar{F}}$ опытные зависимости $\bar{F} = f(\bar{y})$ аппроксимировали полиномом 3-й степени:

$$\bar{F} = a_1 \bar{y} + a_2 \bar{y}^2 + a_3 \bar{y}^3, \quad (1)$$

и коэффициент жесткости находили по формуле

$$k_{\bar{F}} = a_1 + 2 a_2 \bar{y} + 3 a_3 \bar{y}^2. \quad (2)$$



10. Число сжимаемости Λ , пропорциональное частоте вращения шпинделя,

$$\Lambda = \frac{3 \mu \omega}{2 p_s} \left(\frac{D}{c_1} \right)^2,$$

где μ – коэффициент динамической вязкости, Па·с;

$\omega = \pi n / 30$ – угловая скорость вала, рад/с;

n – частота вращения вала, мин⁻¹.

Экспериментальные значения выходных характеристик ШУ определяют косвенным путем с помощью различных измерительных инструментов и приборов, которые имеют определенную степень точности. Поэтому для корректного анализа опытных данных необходимо найти суммарное влияние этих погрешностей на результаты экспериментов.

Как уже отмечалось, с целью определения коэффициента жесткости на консоли вала зависимости $\bar{F} = f(\bar{y})$ аппроксимировали методом наименьших квадратичных отклонений полиномом (1), а коэффициент жесткости на консоли вала рассчитывали по формуле (2).

Необходимость определения сглаженных значений \tilde{F} для нахождения сглаженных значений \tilde{k}_F требует иного подхода в определении погрешности эксперимента, как это изложено, например, в работе [3]. Такой метод анализа погрешностей корректно может быть выполнен на основе математической корреляции, который и используется в настоящей методике.

Согласно этой теории значение доверительного интервала некоторой случайной величины Ψ_i с доверительной вероятностью $(1 - q)$ определяют по формуле

$$J^{(i)} = [\tilde{\Psi}_i - t_{q, N-n} \sqrt{D(\tilde{\Psi}_i)}, \\ \tilde{\Psi}_i + t_{q, N-n} \sqrt{D(\tilde{\Psi}_i)}],$$

где $\tilde{\Psi}_i$ – сглаженное значение случайной величины Ψ_i ;

$t_{q, N-n}$ – q -%-ный предел для распределения Стьюдента;

N – число наблюдений;

n – число неизвестных коэффициентов полинома;

$D(\tilde{\Psi}_i)$ – оценка дисперсии случайной величины Ψ_i .

Оценку дисперсии рассчитывают по формуле:

$$D(\tilde{\Psi}_i) = \bar{x}_i^T (B^T B)^{-1} \bar{x}_i \tilde{D}(\eta),$$

где \bar{x}_i^T – транспонированный вектор-столбец известных параметров полинома;

$B = \| x_{ij} \|$ – матрица размером $N \times n$ значений вектора \bar{x} при различных наблюдениях (x_{ij} – значение j -й составляющей вектора \bar{x} при i -м наблюдении);

$\tilde{D}(\eta)$ – оценка дисперсии случайной погрешности η .

Оценку дисперсии $\tilde{D}(\eta)$ определяют по формуле:

$$\tilde{D}(\eta) = \frac{[\tilde{v} \tilde{v}]}{N - n} = \frac{1}{N - n} \sum_{i=1}^N (\Psi_i - \tilde{a}^T \bar{x}_i)^2,$$

где $[\tilde{v} \tilde{v}] = \sum_{i=1}^N (\Psi_i - \tilde{a}^T \bar{x}_i)^2$ – сумма квадратов невязок, т.е. разностей между экспериментальными и сглаженными результатами.

Так, при расчете дисперсии $D(\tilde{F}_i)$ случайной величины \bar{F} вектор $\bar{x}^T = (\bar{y}; \bar{y}^2; \bar{y}^3)$, а матрица B имеет вид:

$$B = \begin{bmatrix} \bar{y}_1 & \bar{y}_1^2 & \bar{y}_1^3 \\ \bar{y}_2 & \bar{y}_2^2 & \bar{y}_2^3 \\ \dots & \dots & \dots \\ \bar{y}_N & \bar{y}_N^2 & \bar{y}_N^3 \end{bmatrix}.$$

Для коэффициента жесткости \tilde{k}_F вектор $\bar{x}^T = (1; 2\bar{y}; 3\bar{y}^2)$ и, следовательно, матрица B имеет следующий вид:

$$B = \begin{bmatrix} 1 & 2\bar{y}_1 & 3\bar{y}_1^2 \\ 1 & \bar{y}_2 & 3\bar{y}_2^2 \\ \dots & \dots & \dots \\ 1 & 2\bar{y}_N & 3\bar{y}_N^2 \end{bmatrix}.$$



Помеха η для \tilde{k}_F имеет то же значение, что и для \tilde{F} , так как параметр \tilde{k}_F при помощи соответствующего оператора получается на основе измеренных значений \tilde{F} . Следовательно, величина дисперсии случайной помехи $\tilde{D}(\eta)$ для коэффициентов \tilde{k}_F и \tilde{F} будет одинаковой.

Найденные на основе представленных формул доверительные интервалы относительной нагрузки \tilde{F} и коэффициента жесткости ШУ $k_{\tilde{F}}$ при доверительной вероятности 0,95 позволили найти максимальные относительные погрешности этих величин. Ошибки результатов выполненных экспериментов шпиндельного узла составляют: для относительной нагрузки — $\varepsilon_{\tilde{F}} = 1,83\%$, для коэффициента жесткости — $\varepsilon_{k_{\tilde{F}}} = 2,62\%$.

Таким образом, применяемая методика обработки опытных данных и оценки погрешности эксперимента с достаточной для практики точностью позволяет определить нагрузку и жесткость на консоли вала ШУ с газостатическими частично пористыми опорами.

Библиографический список

1. Шаломов В.И. Экспериментальный стенд для исследования выходных характеристик высокоскоростных шпиндельных узлов // Матер. междунар. научно-практ. конф. "Повышение эффективности инвестиционной и инновационной деятельности в Дальневосточном регионе и странах АТР". Комсомольск-на-Амуре. 2005. С. 52–56.
2. Шаломов В.И. Итоги опытной проверки теоретического расчета выходных характеристик шпиндельного узла на газостатических опорах // Ученые записки КнАГТУ. 2011. № IV–1. С. 51–57.
3. Кассандрова О.Н., Лебедев В.В. Обработка результатов наблюдений. М.: Наука, 1970. 104 с.



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

УДК 621.713.1, 621.88.07

В.М. Грязев, бакалавр, А.С. Ямников, д-р техн. наук
(Тулский государственный университет)
E-mail: tmf@tsu.tula.ru

Решение размерных цепей с точностью, нормированной по пятну контакта поверхностей

Описан методический подход к решению задачи обеспечения точности выходного звена размерной цепи собираемого объекта, заданной в виде нормированного по площади отпечатка закопченной поверхности на ответной детали собираемого узла.

The methodical approach to the decision is described the problem of ensuring accuracy of an output link of a dimensional chain of the collected object which has been set in the form of a rated print on the areas of the smoked surface on a reciprocal detail of the collected knot.

Ключевые слова: слой копоти, отпечаток, пятно контакта, точность, сборка.

Keywords: black coating, print, contact spot, accuracy, assembly.

Контроль пятна контакта по копоти является специфичным способом контроля точности сборки рабочих механизмов автоматических машин. Копоть как промежуточный красящий слой имеет собственную толщину почти на порядок выше, чем другие виды материалов аналогичного назначения. Это обстоятельство говорит о необходимости учета толщины слоя копоти как размерного фактора. Действительно, о достигнутой при сборке точности механизма (сборочной единицы) судят при наличии слоя копоти, являющегося в этот момент элементом размерного контура. В последующем состоянии механизма или изделия слой копоти как элемент размерного контура исчезает, и в сборочном соединении можно ожидать возникновения новых точностных характеристик.

Насколько значительными окажутся такие изменения, можно судить по результатам дополнительного контроля, если таковой окажется возможным. Иных способов контроля для оценки полноты контактного сопряжения деталей не предусмотрено, а проверка по другим параметрам данного

размерного контура не гарантирует получение достоверной картины точностного состояния взаимодействующих деталей. По этой причине изучение разрешающей возможности контроля по копоти предусматривает определение ее фактических параметров, приемов и режимов выполнения контрольных операций.

Толщина промежуточного красящего слоя (краски или копоти) определяет в то же время и точность, которая может быть достигнута в результате пригонки. Авторами был поставлен специальный эксперимент [1].

В опытах применяли горючую смесь из технического керосина и масла, составленную в соотношении 1:15...1:20. В этом случае получался слой копоти с максимальной толщиной 0,018...0,027 мм. Несколько меньшую толщину слоя копоти, равную 0,014...0,020 мм, можно было получить при использовании уайтспирита.

Результаты эксперимента подтвердили известную из практики определенную связь между цветом копоти и ее толщиной. Толщина копоти в зависимости от ее цвета имеет следующие значения, мкм:

- серый – 1...3;
- светло-коричневый – 4...5;
- коричневый – 6...8;
- темно-коричневый – 9...10;
- черный, с коричневым отливом – 11...13;
- черный – 14 и более.

При проведении экспериментов установлено, что контролируемая поверхность просвечивается через слой копоти, если его толщина не превышает 0,010 мм. Производственные наблюдения показали, что нанесение тонких слоев копоти (0,001...0,010 мм) представляет определенные трудности и требует соответствующего навыка. Практически контроль пятна контакта производится по черной копоти. Естественно, точность контроля в этом случае снижается.

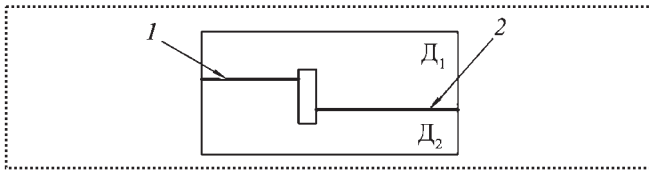


Рис. 1. Сопряжение двух ступенчатых деталей с равными высотами уступов

Проверка и достижение контакта по копоту обязательно должны сопровождаться соударением сопрягаемых поверхностей. При соударении контактирующих поверхностей копот облетает с выступающих участков и остается в глубоких впадинах. Таким образом, соотношение светлых и темных пятен на испытуемых поверхностях свидетельствует о полноте контакта.

Опытным путем установлено, что во всех случаях, когда расстояние между противоположно удаленными точками на контактирующих поверхностях равно или меньше толщины слоя копоты, последняя при соударении облетает с поверхности. Следовательно, при полном облетании слоя копоты максимальная (для обеих сопрягаемых поверхностей) погрешность геометрической формы не превосходит толщины этого слоя.

Соударение, как это уже отмечалось, приводит к образованию отпечатка. Однако при соударении происходит первичная приработка поверхностей в виде смятия микронеровностей, т.е. контрольное действие изменяет состояние контактирующих поверхностей. Следовательно, динамические параметры соударения не могут не влиять на последующий характер контактного процесса и, в частности, на контактное сближение взаимодействующих деталей. В данном случае допуск замыкающего звена – это максимально возможный слой копоты, который облетает при сопряжении поверхностей, удостоверяя тем самым удовлетворительное качество их контакта.

На основании изложенного можно сделать вывод, что сама по себе задача достижения контакта между двумя поверхностями как точностная задача может быть интерпретирована схемой размерной цепи, в которой замыкающим звеном является расстояние между точками двух сопряженных поверхностей, измеренное по нормали к номинальной линии (поверхности) сопряжения. Составляющими

же звеньями являются расстояния точек сопрягаемых реальных поверхностей от номинальной поверхности (линии) сопряжения. Следует заметить, что в частном случае номинальная поверхность (линия) сопряжения может быть в то же время и прилегающей.

В точностных задачах совокупность двух контактирующих поверхностей целесообразно представить в виде схемы размерной цепи, откуда могут быть выявлены требования к параметрам этих поверхностей.

С этой целью размерные цепи, которые характеризуются наличием соединений деталей с нормированным контактом поверхностей, можно условно разделить [2] на две группы:

- А – размерные цепи, у которых замыкающим звеном является нормированная полнота контакта;
- Б – размерные цепи, у которых нормированная полнота контакта входит как составляющее звено в другую размерную цепь.

В размерных цепях, где замыкающим (или составляющим) звеном является нормированный контакт между сопрягаемыми поверхностями, целесообразно это звено обозначать буквой со знаком " Δ_{Σ} ", например, $A_{\Delta_{\Sigma}}$ [3].

Рассмотрим, как должна решаться задача обеспечения полного контакта в стыке 1 при сопряжении двух деталей D_1 и D_2 по ступенчатой плоской поверхности (рис. 1).

Заранее условимся, что одна из поверхностей, например, плоскость 2, имеет большие габариты и, по сути дела, является основной базой. Допустим далее, что высота уступа в детали D_1 больше, чем в детали D_2 .

Тогда схема сопряжения деталей будет иметь вид, показанный на рис. 2, а.

В соответствии с соображениями, изложенными ранее, полный контакт по двум сопрягаемым по-

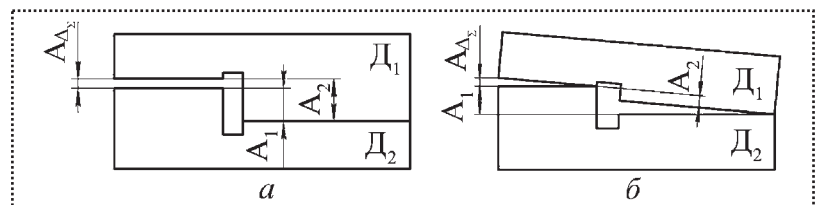


Рис. 2. Сопряжение двух ступенчатых деталей с неодинаковыми высотами уступов:

а – при замыкающем размере $A_{\Delta_{\Sigma}}$ в виде зазора; б – при замыкающем размере $A_{\Delta_{\Sigma}}$ в виде углового раскрытия стыка

верхностям будет иметь место в случае, если зазор $A_{\Delta\Sigma}$ не будет больше толщины слоя копоти. Если при этом ставится задача достижения необходимого качества контакта без пригонки, то допуски размера уступа в обеих сопряженных деталях могут быть найдены из уравнения:

$$TA_{\Delta\Sigma} = TA_1 + TA_2. \quad (1)$$

Если в детали D_1 высота уступа меньше, чем в детали D_2 , то характер сопряжения будет иметь вид, показанный на рис. 2, б. В данном случае, если ставится задача достижения необходимого качества контакта без пригонки, допуски размеров уступа находят при условии, что размер замыкающего звена не должен превосходить толщину слоя копоти.

При достижении требуемых норм контакта ручной пригонкой форма сопрягаемых поверхностей может иметь существенные отклонения от номинальных геометрических прообразов, с которыми она отождествляется.

В особенности это относится к случаю, когда контроль качества прилегания сопрягаемых поверхностей осуществляется по копоти. Как уже отмечалось ранее, в производстве автоматических машин рассматриваемого вида это преобладающий вид контроля полноты контакта сопрягаемых поверхностей. Так, в рассматриваемом примере вполне удовлетворительные по качеству контакта результаты могут быть получены, если сопрягаемые поверхности будут выпукло-вогнутые (рис. 3, а), волнистые с большим шагом (рис. 3, б) и т.п.

Если же достижение необходимого качества контакта в соединении должно быть обеспечено при использовании метода взаимозаменяемости, т.е. при отказе от ручной пригонки, необходимо в уравнение соответствующих размерных цепей включить в качестве одного или нескольких звеньев погрешности формы сопрягаемых поверхностей.

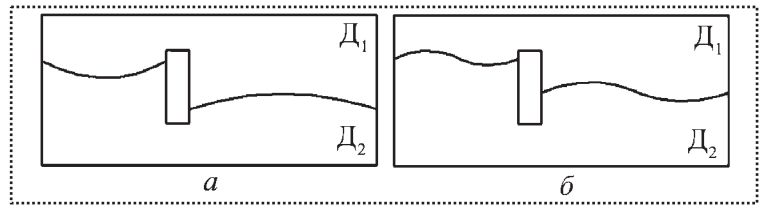


Рис. 3. Сопряжение зеркально отраженных поверхностей после ручной пригонки:

а – выпукло-вогнутых; б – волнистых

Так, в рассматриваемом примере допустим, что одна из сопрягаемых поверхностей в детали D_1 имеет выпуклость (рис. 4, а), либо вогнутость (рис. 4, б), либо обе сопряженные поверхности имеют выпуклость (рис. 4, в).

Удовлетворительное качество контакта здесь будет достигнуто, если отклонения размеров уступов и погрешности формы не превысят толщину слоя копоти. Согласно рис. 4, а, б, допуск замыкающего звена описывается уравнением

$$TA_{\Delta\Sigma} = TA_1 + TA_2 + TA_3, \quad (2)$$

где TA_1 , TA_2 и TA_3 – допускаемые отклонения формы сопрягаемых поверхностей.

По тому же уравнению (2) описывается размерная цепь на рис. 4, в. К аналогичному решению приходим, если сопрягаемые ступенчатые поверхности плоские, но имеет место непараллельность их друг относительно друга (рис. 5).

В этом случае полный контакт также будет достигнут при отклонении размеров и расположений уступов, не превышающих толщину слоя копоти. Цепь на рис. 5, а описывается по тому же уравнению (2), а цепь на рис. 5, б по уравнению

$$TA_{\Delta\Sigma} = TA_1 + TA_2 + TA_3 + TA_4, \quad (3)$$

где TA_4 – допускаемое отклонение расположения поверхности, заданное размером A_4 .

Допустим, что в детали D_1 обе сопрягаемые поверхности имеют погрешностью формы выпук-

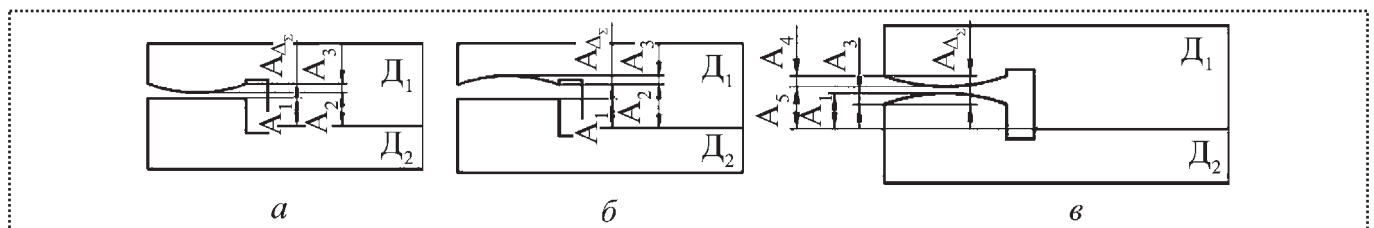


Рис. 4. Сопряжение неплоских поверхностей:

а – выпуклой и плоской; б – вогнутой и плоской; в – выпуклых



Рис. 5. Сопряжение плоских непараллельных поверхностей:

a – при непараллельности поверхности одного уступа; *б* – при непараллельности поверхностей двух уступов

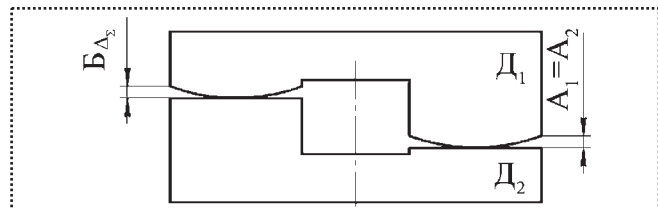
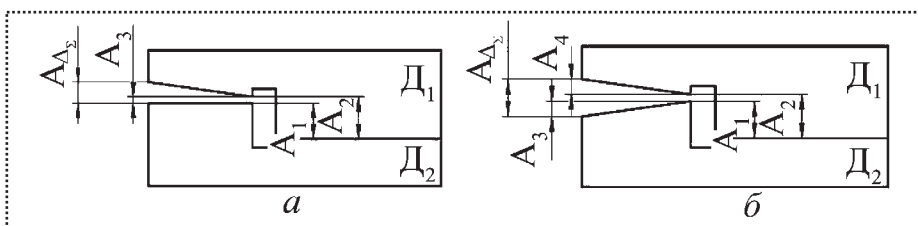


Рис. 6. Схема сопряжения деталей D_1 и D_2 при $A_1 = A_2$

лость и что отсутствуют какие-либо внешние связи, ориентирующие эту деталь относительно детали D_1 . Если при этом расстояние A_1 (рис. 6) между двумя наивысшими точками сопрягаемых поверхностей детали D_1 равно расстоянию A_2 в детали D_2 , то полный контакт возможен, если максимальная погрешность формы каждой из сопрягаемых поверхностей, как это следует из всего ранее изложенного, не превысит толщину слоя копоти.

Неравенство размеров A_1 и A_2 в сопряженных деталях вызовет перекося детали друг относительно друга на угол γ , что приведет к увеличению раскрытия стыка (рис. 7, *a*). Угол γ , ввиду его малости, можно принять

$$\gamma \cong \sin \gamma = \frac{A_1 - A_2}{L}, \quad (4)$$

а его допуск:

$$\Gamma_\gamma = \frac{\Gamma A_1 + \Gamma A_2}{L}. \quad (5)$$

Из рис. 7, *б* следует, что раскрытие стыка

$$\begin{aligned} B_{\Delta\Sigma} &= B_2 - B_2 \cos(\varphi + \gamma) = \\ &= B_2 [1 - \cos(\varphi + \gamma)] = 2B_2 \left(\sin \frac{\varphi + \gamma}{2} \right)^2. \end{aligned} \quad (6)$$

Вследствие малости углов φ и γ можно принять

$$\sin \frac{\varphi + \gamma}{2} = \frac{\varphi + \gamma}{2}, \quad (7)$$

тогда

$$B_{\Delta\Sigma} = \frac{B_2(\varphi + \gamma)}{2}. \quad (8)$$

Для поверхности с постоянным радиусом кривизны:

$$B_2 = \frac{l^2 + (2B')^2}{8B'}. \quad (9)$$

Вследствие малости B' ($B' \ll 1$ мм) можно принять $2B' = 0$, и тогда уравнение (9) придет к виду:

$$B_2 = \frac{l^2}{8B'}. \quad (10)$$

Согласно рис. 7, *б*

$$\varphi \cong \sin \varphi = \frac{l}{2B_2} = \frac{4B'}{l}. \quad (11)$$

После подстановки формул (10) и (11) в выражение (8) и некоторых преобразований получим:

$$B_{\Delta\Sigma} = B' + \frac{\gamma l (8B' + \gamma l)}{16B'}. \quad (12)$$

В свою очередь

$$\Gamma B_{\Delta\Sigma} = \Gamma B' + \frac{\Gamma \gamma l (8\Gamma B' + \Gamma \gamma l)}{16\Gamma B'}. \quad (13)$$

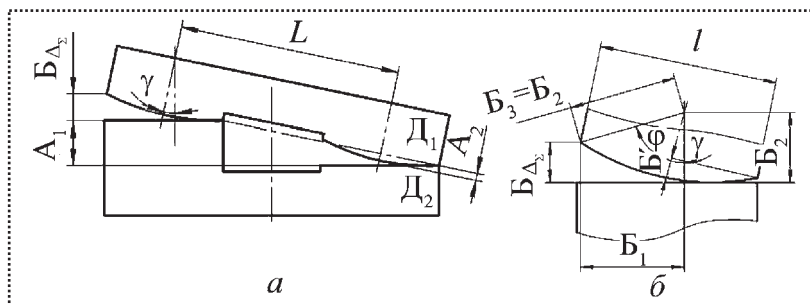


Рис. 7. Сопряжение деталей D_1 и D_2 при $A_1 \neq A_2$



Выражение (13) позволяет, задавшись допускаемой величиной раскрытия стыка $TБ_{\Delta\Sigma}$ по условиям приемки качества контакта, определить допустимые значения погрешностей формы $TБ'$ и угла поворота $T\gamma$.

Показанный в статье методический подход позволяет разрешить нечеткость задания норм точности и перевести некоторые типовые случаи в числовой допуск погрешности формы и расположения сопрягаемых поверхностей.

В свою очередь перевод требований точности в числовые значения позволяет перейти на станочную обработку сопрягаемых поверхностей деталей, а это способствует повышению производительности

сти и повышению стабилизации качества поверхностного слоя деталей [4].

Библиографический список

1. Васильев А.С., Грязев В.М., Ямников А.С. Функционально связанные сборочные размерные цепи, обеспечивающие нормированный контакт поверхностей // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2012. № 5. С. 36–40.
2. МР 32–82. Цепи размерные: Расчет допусков с учетом условий контакта сопряженных деталей / И.А. Коганов и др. М.: ВНИИНМаш, 1982. 61 с.
3. Кильчевский Н.А. Динамическое контактное сжатие твердых тел. Удар. Киев: Наукова думка, 1976. 319 с.
4. Грязев В.М., Ямников А.С. Методические основы решения размерных цепей с нормированным по кривоте контактом поверхностей. European science and technology: 3rd International scientific conference. Bildungszentrum Rdk e.V. Wiesbaden, 2012. P. 161–167.

УДК 658.562:621.9

А.О. Ионов, канд. техн. наук (ООО "Солид", г. Тула),
В.В. Прейс, д-р техн. наук (Тульский государственный университет)
E-mail: preys@klax.tula.ru

Оценка производительности роторного бункерного загрузочного устройства с вращающимися воронками на стадии проектирования

Рассмотрена математическая модель, позволяющая оценить на стадии проектирования фактическую производительность роторного бункерного загрузочного устройства с вращающейся воронкой, используемого в составе роторной системы автоматической загрузки стержневых осесимметричных деталей – тел вращения в роторные и роторно-конвейерные линии для сборки многоэлементных изделий.

The mathematical model which one allows to estimate at the stage of projection effective productivity of a rotor hopper feeding device with the gyrating funnel, used as a part of a rotor automatic feeding system of beam axisymmetrical component parts – bodies of twirl in rotor and rotary-conveyor lines for assemblage of multiple-unit products is considered.

Ключевые слова: бункерное загрузочное устройство, роторная система автоматической загрузки, автоматическая роторная линия, сборка многоэлементных изделий.

Keywords: hopper feeding device, rotor automatic feeding system, rotor automatic line, assemblage of multiple-unit products.

Автоматические роторные и роторно-конвейерные линии (АРЛ и АРКЛ) эффективны для сборки малогабаритных многоэлементных изделий массо-

вого выпуска, собираемые элементы которых представляют собой осесимметричные стержневые детали – тела вращения [1].

Для автоматической загрузки подобных элементов в сборочные АРЛ и АРКЛ применяют роторные системы автоматической загрузки (САЗ), в структуре которых используют бункерные загрузочные устройства (БЗУ) с захватывающими органами в виде вращающихся воронок [2]. Эти БЗУ обладают универсальностью, высокой производительностью, структурной и кинематической простотой, а также удобством обслуживания и ремонта, что позволяет создавать роторные САЗ, обеспечивающие требуемую производительность в рациональных габаритах системы. Надежность функционирования роторной САЗ во многом определяет надежность работы всей сборочной линии [3, 4].

Типовая схема роторной САЗ однороторной компоновки для загрузки осесимметричных стержневых деталей – тел вращения представлена на рис. 1.

Бункерное загрузочное устройство содержит цилиндрический бункер, образованный обечайкой 2

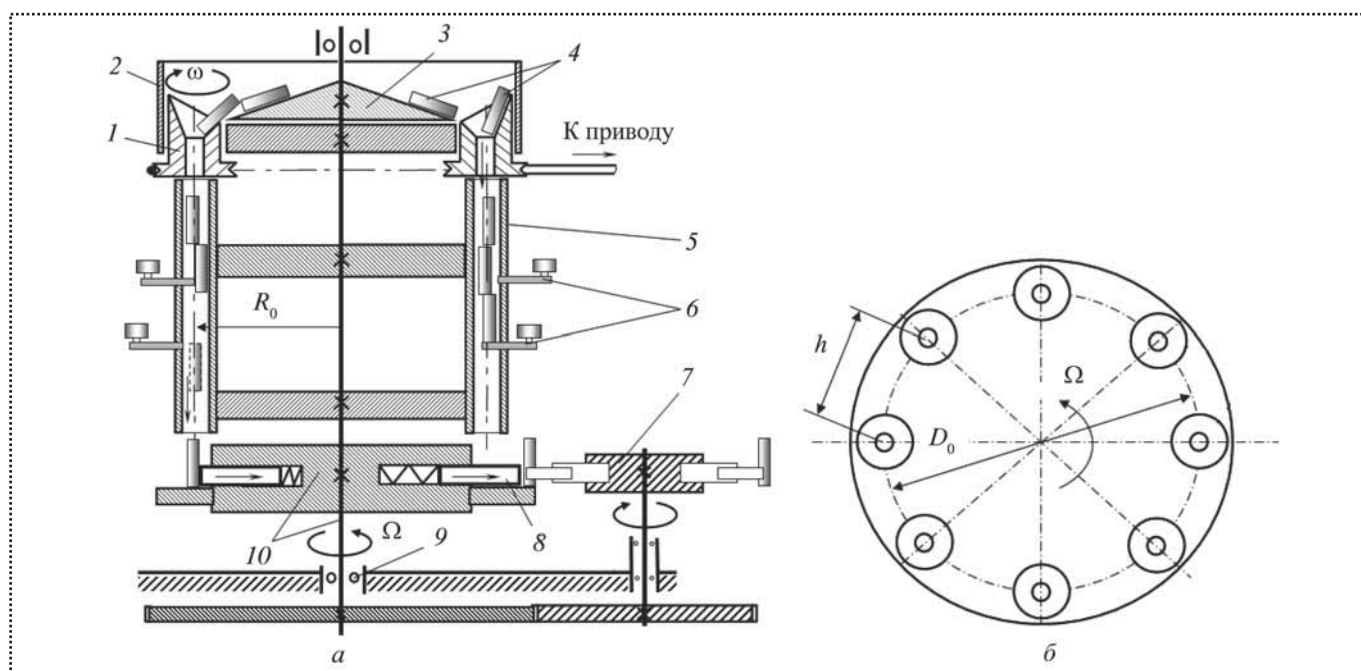


Рис. 1. Типовая схема роторной САЗ однороторной компоновки: а – продольное сечение; б – вид сверху

и коническим дном 3 (рис. 1, а). В бункере БЗУ равномерно по окружности с начальным диаметром $D_0 = 2R_0$ размещены с шагом h вращающиеся воронки 1 для поштучного захвата деталей 4, находящихся в бункере. Соосно вращающимся с угловой скоростью ω воронкам 1 установлены трубчатые накопители 5 с механизмами поштучной выдачи б, а ниже – шибберные питатели 8. Все элементы функциональных устройств роторной САЗ смонтированы на транспортно-несущем устройстве 10, вертикальный вал которого установлен в опорах качения 9 на станине линии.

При вращении роторной САЗ детали попадают с конического дна в приемные части вращающихся воронок БЗУ. Детали, захваченные вращающимися воронками, поступают в накопители, откуда механизмами поштучной выдачи направляются к шибберным питателям, осуществляющим их выдачу из роторной САЗ во вращающийся транспортный ротор 7 сборочной линии.

Цикловая производительность, шт./мин, роторной САЗ и БЗУ, как технологических машин роторного типа, определяется известными выражениями

$$P_{\text{ц}} = 60 \frac{\Omega R_0}{h} = 30 \frac{\Omega D_0}{h} = n_p u, \quad (1)$$

где Ω – угловая скорость роторной САЗ (БЗУ), рад./с;

h – шаг захватывающих органов БЗУ на рабочих позициях САЗ, м (рис. 1, б);

u – число рабочих позиций роторной САЗ, равное числу захватывающих органов (вращающихся воронок) БЗУ;

n_p – частота вращения роторной САЗ (БЗУ), мин^{-1} .

Условие компоновки БЗУ в роторной САЗ имеет вид:

$$\bar{P}_{\text{ФБЗУ}} u \geq m_0 P_{\text{ц}}, \quad (2)$$

где $\bar{P}_{\text{ФБЗУ}}$ – производительность одной позиции роторного БЗУ (одной вращающейся воронки);

m_0 – коэффициент запаса по производительности, $m_0 > 1$.

Для роторных БЗУ с вращающимися воронками коэффициент запаса по производительности рекомендуется назначать в пределах $1,1 \leq m_0 \leq 1,2$ [5].

Тогда число u вращающихся воронок роторного БЗУ, обеспечивающих требуемую производительность и определяющих габариты роторной САЗ в поперечном сечении, в соответствии с выражениями (1)–(2) должно удовлетворять неравенству

$$u \geq 30 \frac{\Omega D_0 m_0}{h \bar{\Pi}_{\Phi \text{БЗУ}}}. \quad (3)$$

Из выражения (3) следует, что чем выше производительность одной вращающейся воронки БЗУ при меньших значениях угловой скорости ротора, тем меньше число рабочих позиций роторной САЗ, а следовательно, и ее габариты.

Фактическая производительность одной позиции роторного БЗУ с захватывающими органами в виде вращающихся воронок

$$\bar{\Pi}_{\Phi} = c_{\max} n_{\text{в}} \eta, \quad (4)$$

где c_{\max} – максимальное число деталей, которое может быть захвачено за один оборот воронки, $1 < c_{\max} < 2$;

$n_{\text{в}}$ – частота вращения воронки, мин^{-1} ;

η – коэффициент выдачи БЗУ, $\eta < 1$.

Коэффициент выдачи определяют как произведение пяти вероятностей:

$$\eta = p_1 p_2 p_3 p_4 p_5, \quad (5)$$

где p_1 – вероятность того, что деталь не ляжет поперек приемной части воронки;

p_2 – вероятность западания в выходное отверстие воронки детали, находящейся в благоприятном положении вдоль образующей приемной конической части воронки;

p_3 – вероятность того, что захвату деталей не мешает их взаимная сцепляемость;

p_4 – вероятность того, что процесс захвата детали произойдет в течение одного оборота захватывающей воронки;

p_5 – вероятность того, что процессу выдачи детали из вращающейся воронки не мешает совместное действие центробежных сил инерции, возникающих от вращения воронки и транспортного вращения роторного БЗУ.

В работе [6] показано, что в формуле (5) вероятность нахождения детали поперек выходного цилиндрического отверстия воронки для стержневых деталей – тел вращения с соотношением габаритных размеров $z_1 = l/d \geq 2$ (l – длина, d – диаметр детали) равна единице, т.е. $p_1 = 1$.

Найдем аналитические выражения для условных вероятностей p_2 – p_5 , используя теоретические зависимости, предложенные в работе [7], что позволит построить математическую модель для

оценки фактической производительности роторного БЗУ на стадии его проектирования.

Вероятность p_2 . Для получения адекватного и корректного математического описания вероятности p_2 используем функцию Гомперца

$$y = e^{-b e^{-kt}}. \quad (6)$$

В качестве аргумента t используем отношение плеча опрокидывающего момента (рис. 2), создаваемого относительно края выходного цилиндрического отверстия 2 воронки 1 силой тяжести детали 4, лежащего вдоль образующей конуса приемной части воронки, к радиусу выходного цилиндрического отверстия 2.

Наличие опрокидывающего момента относительно края выходного цилиндрического отверстия воронки является достаточным условием западания детали в выходное цилиндрическое отверстие [5]. Однако это условие для стержневой детали может выполняться только в случае ее нахождения вдоль образующей конуса воронки, имеющей максимальный угол наклона α_{\max} к горизонтали. Тогда из расчетной схемы рис. 2 после преобразований получим

$$t = 2 - \frac{\sin \alpha_{\max} + z_1 \cos \alpha_{\max}}{z_2}, \quad (7)$$

где $z_2 = D/d$; D – диаметр выходного цилиндрического отверстия воронки.

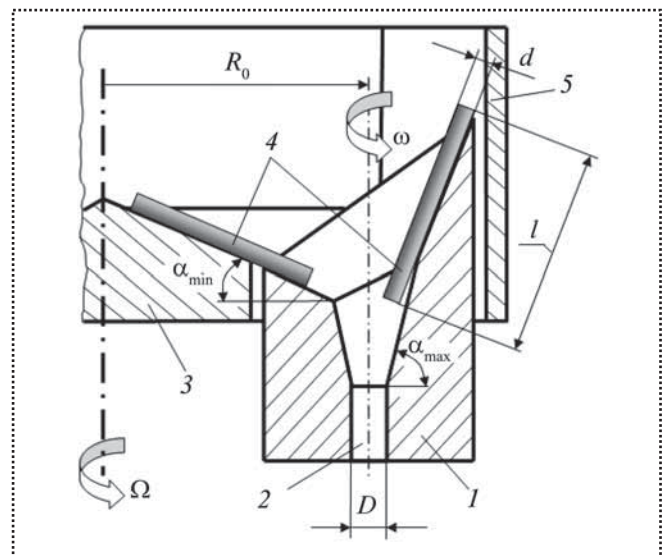


Рис. 2. Расчетная схема роторного БЗУ с вращающимися воронками (продольный разрез по оси вращения воронки)



Для определения постоянных коэффициентов b и k в уравнении (6) достаточно задать две характерные точки $y_1(t_1)$ и $y_2(t_2)$. Дважды логарифмируя выражение (6) и решая систему алгебраических уравнений, найдем

$$b = -\ln y_1 \left(\frac{\ln y_1}{\ln y_2} \right)^{\frac{t_1}{t_2 - t_1}}; \quad k = \frac{1}{t_2 - t_1} \ln \left(\frac{\ln y_1}{\ln y_2} \right). \quad (8)$$

Определим коэффициенты b и k функции Гомперца (6) для описания вероятностей p_2 , используя следующие логические постулаты:

1) при отсутствии опрокидывающего момента, создаваемого относительно края выходного цилиндрического отверстия воронки силой тяжести детали ($x=0$), когда $t_1=0$, события, заключающиеся в возможности западания или не западания детали в воронку равновероятны, следовательно, вероятность западания детали, лежащей вдоль образующей нижнего конуса приемной части воронки, будет равна 0,5. Тогда $y_1(t_1=0)=0,5$;

2) при максимально возможном значении меры вероятности $t_2=1$, когда плечо опрокидывающего момента, создаваемого относительно края выходного цилиндрического отверстия воронки силой тяжести детали, будет равно $x=0,5D$, вероятность западания детали, лежащей вдоль образующей нижнего конуса приемной части воронки, будет стремиться к единице. Тогда $y_2(t_2=1) \rightarrow 1$.

Для принятых значений $y_1(t_1)$ и $y_2(t_2)$ из уравнений (8) получим следующие значения коэффициентов: $b=0,7$; $k=5$ (при $p_2 > 0,99$). В качестве рабочей гипотезы выражение для вероятности западания p_2 стержневых деталей – тел вращения представим в виде

$$p_2 = e^{-0,7 e^{-5t}}, \quad (9)$$

где аргумент t определяется выражением (7).

Вероятность p_3 . Для вероятности p_3 отсутствия взаимного сцепления стержневых деталей используем известное выражение [6]:

$$p_3 = 1 - \frac{\rho}{\pi} \frac{0,9 + 1,4 z_1}{1 + 2 z_1},$$

где ρ – угол трения скольжения детали о направляющие поверхности БЗУ и воронки, $\rho = \arctg \mu$.

Вероятность p_4 . Сравнительный анализ известных результатов теоретических и экспериментальных исследований производительности роторных БЗУ [6, 7] показал, что функция Гомперца (6) неадекватно описывает зависимость вероятности p_4 от входных параметров. Поэтому для описания вероятности p_4 используем показательную функцию с одной асимптотой ($y=0$)

$$y = e^{-bt}. \quad (11)$$

В качестве аргумента t примем отношение времени подхода детали к воронке t_n в направлении от оси вращения роторного БЗУ к длительности одного оборота воронки T_B :

$$t = \frac{t_n}{T_B} = \frac{\omega t_n}{2\pi}, \quad (12)$$

где ω – угловая скорость воронки БЗУ, $\omega = \frac{\pi n_B}{30}$, рад/с (см. рис. 2).

Время подхода детали к захватывающей воронке в направлении от оси вращения роторного БЗУ определим, используя известную приближенную модель [7], рассматривающую скольжение детали 2 по поверхности конического дна 3 бункера роторного БЗУ под действием силы тяжести $G = mg$ и центробежной силы инерции $F_{цб} = m\Omega^2 R_0$, возникающей вследствие транспортного вращения роторного БЗУ

$$t = \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{z_1 z_4}{(\sin \alpha_{\min} - \mu \cos \alpha_{\min}) + z_5 (\cos \alpha_{\min} + \mu \sin \alpha_{\min})}}, \quad (13)$$

где z_4 и z_5 – безразмерные динамические параметры, $z_4 = \frac{\omega^2 d}{2g}$ и $z_5 = \frac{\Omega^2 R_0}{g}$;

α_{\min} – минимальный угол наклона к горизонтали образующей верхнего конуса приемной части воронки.

Определим коэффициент b функции (7) для описания вероятности p_4 , используя следующие логические постулаты:

1) при отсутствии вращения воронки ($\omega=0$), когда $t_1=0$, вероятность западания детали, лежащей вдоль образующей нижнего конуса приемной части воронки, будет стремиться к единице,



т.е. $y_1(t_1=0) \rightarrow 1$, что справедливо для выражения (11);

2) при равенстве времени подхода t_n детали к воронке в направлении от оси вращения роторного БЗУ и длительности одного оборота воронки T_B ($t_1=1$), события, заключающиеся в возможности западания или незападания детали в воронку равновероятны, вероятность западания детали, лежащей вдоль образующей нижнего конуса приемной части воронки, будет равна 0,5. Из этого постулата имеем $y_2(t_2=1) = 0,5$.

Тогда из выражения (11) получим $b=0,69$ и в качестве рабочей гипотезы выражение для вероятности p_4 представим в виде

$$p_4 = e^{-0,69t}, \quad (14)$$

где аргумент t определяется выражением (13).

Вероятность p_5 . Вероятность p_5 определим функцией Гомперца (6), приняв в качестве аргумента t отношение максимально возможной скорости потока деталей на выходе БЗУ при одновременном негативном действии центробежных сил инерции от вращения воронки и транспортного вращения роторного БЗУ $(v_{\max})_{\omega, \Omega}$ и максимальной скорости идеального потока предметов обработки на выходе БЗУ v_{\max}

$$t = \frac{(v_{\max})_{\omega, \Omega}}{v_{\max}}. \quad (15)$$

В отличие от предыдущих работ [6], в которых движение предмета обработки рассматривалось по вертикальной поверхности выходного цилиндрического отверстия вращающейся воронки, для определения максимально возможной скорости $(v_{\max})_{\omega, \Omega}$ потока предметов обработки на выходе БЗУ используем приближенную модель. В данной модели (см. рис. 2) рассматривается условие скольжения предмета обработки 4 по поверхности приемной части захватывающей воронки 1 под действием силы тяжести $G = mg$ и суммарной центробежной силы инерции $F_{цб} = m \left(\omega^2 \frac{D-d}{2} + \Omega^2 R_0 \right)$.

Тогда

$$(v_{\max})_{\omega, \Omega} = \sqrt{2l \left[g(\sin \alpha_{\max} - \mu \cos \alpha_{\max}) - \left(\omega^2 \frac{D-d}{2} + \Omega^2 R_0 \right) (\cos \alpha_{\max} + \mu \sin \alpha_{\max}) \right]}. \quad (16)$$

Максимальную скорость идеального потока предметов обработки на выходе БЗУ принимают равной [6]

$$v_{\max} = \sqrt{2gl}. \quad (17)$$

Подставляя выражения (16), (17) в формулу (15), после перехода к безразмерным параметрам получим выражение для аргумента t в виде

$$t = \sqrt{(\sin \alpha_{\max} - \mu \cos \alpha_{\max}) - [z_4(z_2 - 1) + z_5]} (\cos \alpha_{\max} + \mu \sin \alpha_{\max}). \quad (18)$$

Предварительный анализ формулы (18) показал, что при определенных значениях входящих в нее параметров подкоренное выражение может принимать отрицательные значения, поэтому окончательно в качестве аргумента примем квадрат выражения (18), т.е.

$$t = (\sin \alpha_{\max} - \mu \cos \alpha_{\max}) - [z_4(z_2 - 1) + z_5] (\cos \alpha_{\max} + \mu \sin \alpha_{\max}). \quad (19)$$

Определим коэффициенты b и k функции Гомперца (6) для описания вероятности p_5 , используя следующие логические постулаты:

1) при невозможности выдачи деталей из БЗУ вследствие действия на них значительных центробежных сил инерции, т.е. когда максимально возможная скорость потока деталей на выходе БЗУ $(v_{\max})_{\omega, \Omega} \rightarrow 0$ и как следствие мера вероятности $t \rightarrow 0$, вероятность выдачи p_5 также будет стремиться к нулю. Тогда $y_1(t_1=0) \rightarrow 0$;

2) при отсутствии вращения воронки и транспортного вращения роторного БЗУ, т.е. когда $(v_{\max})_{\omega, \Omega} = v_{\max}$, $t \rightarrow 1$, и вероятность выдачи детали p_5 также будет стремиться к единице. Тогда $y_2(t_2=1) \rightarrow 1$.

Для принятых значений $y_1(t_1)$ и $y_2(t_2)$ из уравнений (8) получим: $b=7$; $k=6,5$ (при $p_5 > 0,99$). В качестве рабочей гипотезы выражение для вероятности p_5 представим в виде

$$p_5 = e^{-7e^{-6,5t}}, \quad (20)$$

где аргумент t определяется выражением (20).



Подставляя полученные выражения (7), (9), (10), (13), (14), (19), (20) в формулу (5), а затем в формулу (4), получим после преобразований математическую модель фактической производительности одной позиции роторного БЗУ с вращающейся воронкой в компактном виде:

$$\bar{P}_{\text{ФБЗУ}} = c_{\text{max}} \frac{30}{\pi} \sqrt{2g \frac{z_1 z_4}{l}} \left(1 - \frac{\rho}{\pi} \frac{0,9 + 1,4 z_1}{1 + 2 z_1} \right) e^A, \quad (21)$$

где

$$A = -0,7 e^{-\frac{10}{z_2} (\sin \alpha_{\text{max}} - z_3 \cos \alpha_{\text{max}})} - 0,69 \sqrt{\frac{z_1 z_4}{(\sin \alpha_{\text{min}} - \mu \cos \alpha_{\text{min}}) + z_5 (\cos \alpha_{\text{min}} + \mu \sin \alpha_{\text{min}})}} - 7 e^{-6,5 \{ (\sin \alpha_{\text{max}} - \mu \cos \alpha_{\text{max}}) - [z_4 (z_2 - 1) + z_5] (\cos \alpha_{\text{max}} + \mu \sin \alpha_{\text{max}}) \}}$$

Математическая модель фактической производительности одной позиции роторного БЗУ с вращающейся воронкой (21) реализована в стандартной программной среде MathCadPro15.

В качестве примера на рис. 3 представлены результаты компьютерного моделирования в виде зависимости фактической производительности $\bar{P}_{\text{Ф}}$ одной позиции роторного БЗУ от значений динамических параметров z_4 и z_5 для стержневой детали диаметром $d = 0,008$ м, длиной $l = 0,08$ м (соотношение габаритных размеров $z_1 = 10$), коэффициент трения $\mu = 0,45$.

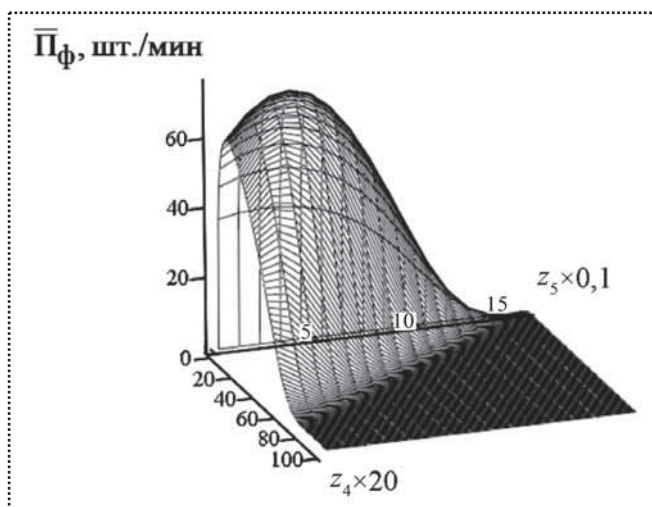


Рис. 3. Зависимость фактической производительности одной позиции роторного БЗУ с вращающейся воронкой от динамических параметров z_4 и z_5

Двойственное влияние центробежной силы инерции от транспортного вращения роторного БЗУ хорошо видно на рис. 3. Вначале при увеличении динамических параметров z_5 и z_4 (угловой скорости ω_0 воронки) фактическая производительность роторного БЗУ по сравнению со стационарным БЗУ ($z_5 = 0$) увеличивается, достигая максимальных значений (на 20...25 % выше, чем для стационарного БЗУ) при некотором предельном значении z_5 , а затем начинает снижаться. При этом с увеличением динамического параметра z_4 такое увеличение производительности идет интенсивнее.

Разработанная математическая модель позволяет оценить на стадии проектирования фактическую производительность роторного БЗУ с вращающейся воронкой в зависимости от его геометрических и кинематических параметров и обосновать выбор расчетных параметров роторной САЗ на заданную производительность.

Библиографический список

1. Роторные технологии, машины и линии на современном этапе промышленного развития / В.В. Прейс и др. // Вестник машиностроения. 2003. № 10. С. 43–47.
2. Прейс В.В. Роторные системы автоматической загрузки штучных предметов обработки // Автоматизация и современные технологии. 2002. № 9. С. 3–8.
3. Прейс В.В. Надежность автоматических роторно-конвейерных линий для сборки многоэлементных изделий // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2003. № 10. С. 17–22.
4. Прейс В.В. Модели и оценка надежности роторных систем автоматической загрузки с функциональными отказами // Автоматизация и современные технологии. 2002. № 10. С. 3–8.
5. Прейс В.В. Модели и оценка надежности роторных систем автоматической загрузки с параметрическими отказами // Автоматизация и современные технологии. 2003. № 1. С. 9–15.
6. Ионов А.О., Прейс В.В. Аналитическая модель производительности роторного бункерного загрузочного устройства для стержневых предметов обработки // Известия ТулГУ. Технические науки. Вып. 2. Ч. 1. Тула: Изд-во ТулГУ, 2010. С. 79–85.
7. Ионов А.О., Прейс В.В. Совершенствование аналитической модели производительности роторного бункерного загрузочного устройства с вращающейся воронкой // Известия ТулГУ. Технические науки. Вып. 5. Ч. 3. Тула: Изд-во ТулГУ, 2011. С. 27–40.

УДК 621.396.6.002.72

В.Г. Ковалев, д-р техн. наук

(Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана)

Тел. сл. (499) 263-61-45

Бандажирование накруткой

Впервые приведена методика определения основного параметра электромонтажного процесса бандажирования способом накрутки, обеспечивающего более высокие показатели надежности и долговечности по сравнению с паяными монтажными соединениями. Методика основана на использовании физических процессов, протекающих при выполнении этого способа монтажа. Результатом анализа процесса явилась возможность определения основного параметра – радиуса рабочей кромки накручиваемого валика. При оценке результата исследования использованы опытные данные по величине степени деформации реального накручиваемого провода. При этом получилась хорошая сходимость расчетных и известных практических данных. Полученные результаты могут быть использованы для расчета накручиваемого инструмента.

For the first time is a basic parameter determination method of wiring way tie wrap to ensure higher reliability and durability compared to the soldering's mounting connections. The method is based on the use of physical processes occurring during the process of installation. The result of the analysis process to determine the basic options – wrapping's working radius edge roller. When evaluating the results of the study used data on the largest experienced deformation degree of real wrapping's wires. This is a good settlement and the convergence of the known data. The results obtained can be used to calculate the wrapping's tool.

Ключевые слова: электромонтаж, соединение, бандажирование, накрутка, физическая основа, результат, оценка, сходимость, расчетные данные, фактический результат.

Keywords: electrical installation, connection, wrapping, physical basis, result, score, convergence, estimate, actual result.

Бандажное соединение накруткой (рис. 1) используют для образования контактного электрического соединения с выводами навесных эле-

ментов, шинами электропитания и другими элементами электронной аппаратуры. Это соединение не уступает по показателям качества паяным соединениям. Для него не требуются припой, флюс и нагрев. Здесь при пластическом деформировании врезанием в накручиваемый проводник обеспечивается прочноплотное соединение, надежно работающее около двух десятков лет.

Бандажное соединение состоит из нескольких витков (обычно 7–8) бандажного провода. Провод при накручивании охватывает и обжимает при упругом и пластическом деформировании выводы навесного и монтажного элементов. До настоящего времени это электрическое бандажное соединение накруткой не обеспечено расчетной методикой определения основных параметров технологического процесса.

Основные технологические параметры этого процесса – усилие натяжения накручиваемого провода и радиус рабочей кромки накручиваемого валика. Обычно эти и другие параметры определяют опытным путем, при котором затрачивают много рабочего времени и средств. Здесь приведена приближенная методика определения указанных технологических параметров расчетным путем с учетом накопленного практического опыта.

Для последующего анализа примем допущение. Как и ранее в процессах накрутки принимаем контактное напряжение в зоне контакта вывода навесного элемента и штыря-вывода и на-

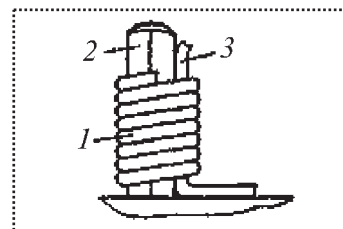


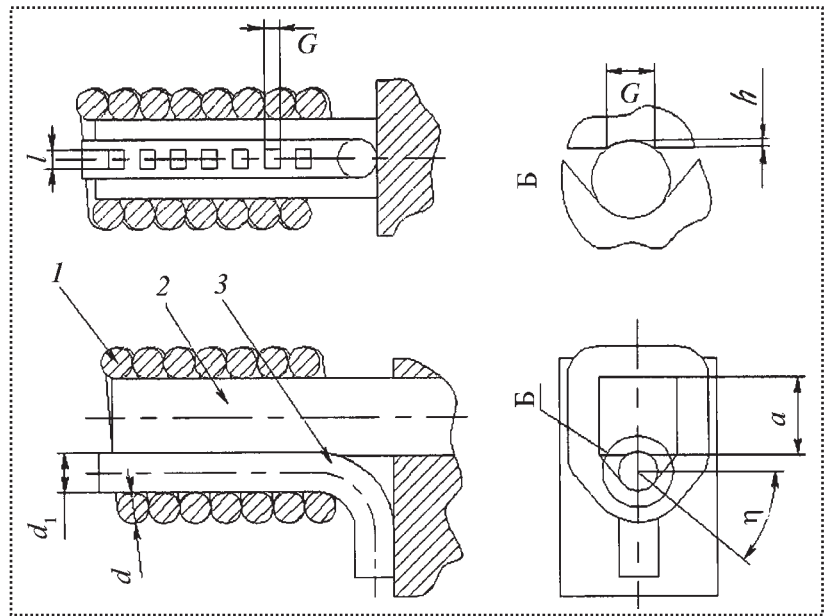
Рис. 1. Бандажное соединение накруткой:

1 – накручиваемый проводник; 2 – монтажный штырь-вывод; 3 – вывод навесного элемента



Рис. 2. Бандажное соединение накруткой:

1 – накручиваемый провод; 2 – монтажный вывод; 3 – вывод навесного элемента; d – диаметр накручиваемого проводника; d_1 – диаметр вывода навесного элемента; η – угол наклона накручиваемого провода; a – длина меньшей стороны монтажного штыря-вывода; b – ширина контакта



кручиваемого провода равным напряжению течения σ_T материала вывода навесного элемента и накручиваемого провода.

На основе графических представлений этого соединения, показанных на рис. 1 и 2, определим угол η между направлением усилия натяжения провода и усилием прижима вывода навесного элемента к монтажному штырю-выводу. Этот угол необходим для определения основного параметра процесса – усилия натяжения провода и взаимосвязи между усилием натяжения накручиваемого провода с усилием прижима вывода навесного элемента к монтажному штырю-выводу.

Геометрические параметры (ширина стороны прямоугольного сечения монтажного вывода a , диаметр бандажного проводника d , диаметр вывода навесного элемента d_1) позволяют получить (в неявном виде) зависимость угла наклона накручиваемого провода η от параметров процесса бандажирования:

$$\frac{a}{d_1} - \frac{1 + \sin \eta}{\cos \eta} = 0. \quad (1)$$

Угол η определяем из этого уравнения путем подбора, расчета на ПЭВМ или по рис. 3, на котором показана зависимость угла η от парамет-

ров процесса бандажирования накруткой, построенная на основе расчета на ПЭВМ с помощью системы Mathcad.

Далее примем допущение, существенно не противоречащее, но необходимое для решения поставленной задачи. Считаем, что вдоль линии контакта всех витков имеет место контакт вывода бандажируемого навесного элемента по площади, равной произведению длины контактной площадки на ее ширину. Считаем также напряжение равномерно распределенным по всей кажущейся поверхности контакта поверхностей.

Ширина контактной площадки каждого витка накручиваемого провода с выводом навесного элемента определяется на основе геометрических данных рис. 2, а именно, через диаметр вы-

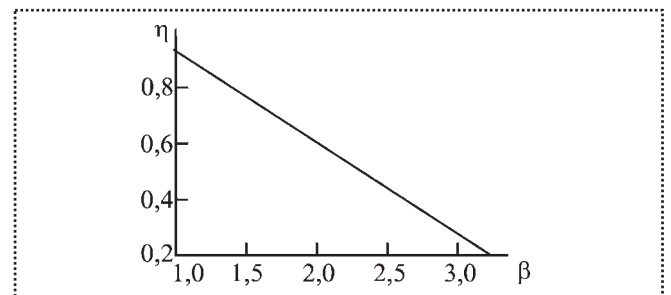


Рис. 3. Зависимость угла η от параметра $\beta = a/d$ (a – меньшая сторона поперечного сечения штыря-вывода; d – диаметр накручиваемого проводника)



вода навесного элемента и величину внедрения в него накручиваемого провода:

$$b = 2\sqrt{h(d-h)}, \quad (2)$$

где h – величина внедрения накручиваемого проводника в вывод навесного элемента.

Площадь контакта накручиваемого провода со штырем-выводом

$$f = bl, \quad (3)$$

где l – длина контактной площадки одного витка провода с выводом навесного элемента, определяемая величиной угла 2η :

$$l = \frac{d_1 \pi \eta}{180}. \quad (4)$$

Площадь контакта витка провода с выводом навесного элемента с учетом выражений (2), (3) и (4) равна:

$$f = \sqrt{h(d-h)} \frac{2\pi \eta d_1}{180}. \quad (5)$$

Рассмотрим *силовые параметры* соединения. Принимая усилие прижима вывода навесного элемента равным P , можно определить с учетом угла η усилие натяжения P_H провода в правой и левой ветвях соединения:

$$P_H = \frac{P}{2 \cos \eta}. \quad (6)$$

Усилие прижима накручиваемого провода к выводу навесного элемента равно произведению напряжения течения материала провода на поверхность контакта:

$$P = f \sigma_T \sqrt{h(d-h)} \frac{2\pi \eta d_1}{180}. \quad (7)$$

Для определения ширины контактной площадки b мы использовали физическое условие – рекомендуемую величину переходного электро-

монтажного сопротивления, представляемую в настоящее время в периодической печати [1]. У некоторых авторов, например работы [2], приведены сведения о величине переходного электрического сопротивления для нажимных контактов, в которых действуют значительно меньшие контактные механические напряжения. Поэтому использование в нашем случае этих данных совершенно не приемлемо; здесь требуются специальные экспериментальные исследования для конкретных контактных материалов, в которых контактные напряжения будут значительно больше.

Наибольший интерес в этих исследованиях представляет определение радиуса рабочей кромки накручиваемого валика. С этой целью определим усилие натяжения накручиваемого провода двумя способами.

Первым способом усилие натяжения накручиваемого провода мы уже определили – см. выражение (7).

Во втором способе на основе анализа процесса деформирования гибкой в листовой штамповке [3] на границе зоны гибки с плоской зоной возникает напряжение, равное:

$$\sigma = \frac{\sigma_T d}{4 r_{cp}}, \quad (8)$$

где d – диаметр накручиваемого провода;

r_{cp} – радиус изгиба рабочей кромки накручиваемого валика;

Усилие натяжения при этом равно произведению полученного напряжения на площадь поперечного сечения провода:

$$P_H = \frac{\pi \sigma_T d^3}{16 r_{cp}}. \quad (9)$$

Из соотношений (6), (7) и (9) определим радиус рабочей кромки накручиваемого валика:

$$r_{cp} = \frac{180 d^3 \cos \eta}{16 \eta d_1 \sqrt{h(d-h)}}. \quad (10)$$



Ориентировочные расчеты показывают, что значение этого радиуса находится в допустимых границах. Сравнение значений радиусов для бандажирования и накрутки также показывает, что радиус рабочей кромки накручивающего валика при бандажировании меньше радиуса накрутки. Этот вывод не противоречит действительному соотношению этих величин и условиям выполнения процесса бандажирования.

Число витков n , необходимых для обеспечения качественного соединения, должно создавать кажущуюся поверхность контакта накручиваемого проводника с выводом навесного элемента не меньшую, чем поверхность поперечного сечения проводника, а именно:

$$n = \frac{\pi d^2}{4f} = \frac{22,5 d^2}{\eta d_1 \sqrt{h(d-h)}}. \quad (11)$$

Ориентировочный расчет числа витков, которые должны обеспечивать нужную поверхность контакта, по этому выражению дает величину, укладываемую в известные в технической литературе данные. Причем эти величины учитывают и контактно не эффективные числа витков [1].

Библиографический список

1. Ковалев В.Г., Ковалев С.В., Коновалов В.А. Основные расчетные параметры электро монтажа методом накрутки // Технологии в электронной промышленности. 2008. № 8. С. 14–18.
2. Хольм Р. Электрические контакты. М.: Изд-во иностр. лит., 1961. 464 с.
3. Попов Е.А. Основы теории листовой штамповки. М.: Машиностроение, 1977. 278 с.



ИЗДАТЕЛЬСТВО МАШИНОСТРОЕНИЕ

ГУММИРОВАННЫЕ ДЕТАЛИ МАШИН

Н.С. Пенкин, В.Г. Копченков, В.М. Сербин, А.Н. Пенкин

2013 г. Объем 245 с. Формат 60x88 1/16 Обложка ISBN 978-5-94275-583-6 Цена 500 р.



Освещены вопросы исследования, конструирования, производства, испытания и эффективности применения гуммированных деталей машин и оборудования в различных отраслях промышленности. С учетом основных критериев работоспособности разработана структурная классификация гуммированных деталей, а на основе полученного энергетического критерия – плотность поглощенной энергии при динамическом воздействии на резину абразивных частиц.

Рассмотрены вопросы износостойкости эластомеров в различных абразивных средах (гидро- и газоабразивной, абразивной массе, абразивной прослойке, при кавитации и др.) и возможные механизмы изнашивания. Приведены конкретные рекомендации по проектированию наиболее распространенных гуммированных деталей. Предложенные рекомендации по применению энергетического критерия для оценки износостойкости эластомеров подтверждены экспериментально и длительной промышленной эксплуатацией. Показана высокая эффективность гуммированных деталей по сравнению с металлическими при работе в абразивных средах (в 3...10 раз выше по износостойкости).

Второе издание (1-е изд. 1977 г.) переработано и дополнено новыми материалами по работоспособности широкого круга гуммированных деталей с учетом новых данных исследований, большого опыта по конструированию и технологии изготовления и длительной эксплуатации оригинальных крупногабаритных со сложной конфигурацией и большой резинеемкостью деталей. Особое внимание уделено конструкционной износостойкости гуммированных деталей, повышению их работоспособности при сложном напряженном состоянии, т.е. тем вопросам, с которыми чаще встречаются специалисты на производстве.

Для инженерно-технических работников, конструкторов, технологов машиностроительных отраслей, а также для специалистов, занимающихся эксплуатацией и ремонтом машин с гуммированными деталями в различных отраслях, может быть использована преподавателями и студентами технических вузов и техникумов.

Приобрести книгу в издательстве можно, прислав заявку:

по почте: 107076, г. Москва, Стромьинский пер., 4; по факсу: (499) 269-48-97; по e-mail: realiz@mashin.ru
Дополнительная информация по телефонам: (499) 269-52-98, 269-66-00 и на сайте WWW.MASHIN.RU

УДК 621.9.06

И.Б. Челпанов, д-р техн. наук, Заслуженный деятель науки РФ
(Санкт-Петербургский государственный политехнический университет),
А.В. Кочетков, д-р техн. наук, **Л.В. Янковский**, канд. техн. наук,
О.А. Кивокурцев, студент (Пермский национальный исследовательский
политехнический университет)
E-mail: soni.81@mail.ru

Метод повышения точности позиционирования и перемещения рабочих органов роботов, основанный на введении поправок в устройство управления*

Предлагаемый подход к повышению точности манипуляторов промышленных роботов заключается в том, что требования к точности формулируются по заданию конечного положения переносимого объекта.

Offered approach to increase of accuracy of manipulators of industrial robots is that requirements to accuracy are formulated on the instructions of the final provision of transferable object.

Ключевые слова: метрология, испытания, робот, схема измерения, точность, качество.

Keywords: metrology, test, robot, measurement scheme, accuracy, quality.

Введение

В машиностроении накоплен большой опыт в проектировании, опытно и серийном производстве, эксплуатации, обслуживании и ремонте промышленных роботов (ПР) различного назначения. В течение длительного периода основная тенденция в роботостроении проявлялась в быстром росте числа выпускаемых моделей роботов, в увеличении разнообразия их типажа, что в основном было связано с динамичным поиском наилучших решений.

При переходе к крупносерийному производству промышленных роботов особо важными становятся

ся задачи окончательной доработки и закрепления найденных оптимальных вариантов решений при возможном сокращении типажа.

В настоящее время (даже с учетом неопределенности переходного периода в политике и экономике) важно заложить гарантии правильности технической политики в роботостроении, гарантии выполнения требований, превосходящих мировой уровень или соответствующих ему [1, 2].

Постановка задачи

Все измеряемые величины при испытаниях ПР целесообразно разделить на три группы.

Для измерения величин *первой группы* достаточно простейших средств измерений, требования к точности практически не регламентируются, не требуется разработка специальных методик. К этой группе относят многие геометрические параметры: габаритные размеры, значения ходов по степеням подвижности, предельных углов поворота, размеры рабочей зоны и рабочего пространства и т.п.

Ко *второй группе* относят величины, которые измеряют обычными приборами при испытаниях другого оборудования, причем по отношению к измерениям этих величин ПР не имеют специфики. Соответствующие измерения могут быть названы *общетехническими*. К ним относят измерения напряжений в силовых и сигнальных цепях, силы тока, давления рабочего тела, расхода, мощности, виброперемещений и виброускорений, сопротивления изоляции, уровня радиопомех и пр. По отношению к основным критериям правильности функционирования ПР измерения величин первой и второй групп являются вспомогательными, тре-

* Исследование проведено при финансовой поддержке государства в лице Минобрнауки России из федерального бюджета в рамках реализации федеральной целевой программы "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России" на 2009–2013 гг., соглашение № 14.В37.21.1222.



бования к точности этих измерений невысоки, обычно по ним осуществляется только контроль.

К *третьей группе* относят величины, нормируемыми характеристиками которых определяется "профессиональная пригодность" ПР и измерение которых требует применения специфических средств измерений и разработки специальных методик. К этой группе величин относят погрешности позиционирования и ориентирования, линейные и угловые скорости и ускорения, силы и моменты сил.

Выделим сначала общеметодологические вопросы измерений.

1. Величины третьей группы являются механическими. При выборе методов и средств измерений следует использовать опыт, накопленный в машиностроении, в частности в станкостроении [1] и ориентироваться на максимальную автоматизацию измерений с использованием цифровой измерительной техники.

Для измерений должны быть спроектированы и изготовлены стенды, в конструкциях которых должны быть предусмотрены базы для установки манипуляторов, средства закрепления оснований манипуляторов, рамы и стойки для установки измерительных преобразователей в различных положениях и сочетаниях. Желательно, чтобы было автоматизировано задание режимов (в частности, задание нагрузок), проведение многократных измерений, регистрация результатов однократных измерений, их статистическая обработка. Желательно, чтобы автоматизированное испытание заканчивалось автоматической выдачей протокола.

2. Желательно, чтобы полная совокупность измерительных и функциональных преобразователей, регистрирующих устройств и других средств образовывала единый комплекс со взаимно согласованными входами и выходами. Предпочтительно, чтобы датчики были цифровыми, в противном случае они должны быть согласованы с аналого-цифровыми преобразователями.

Подобная система могла бы быть построена на базе выпускаемого промышленностью измерительно-вычислительного комплекса.

Подобный комплекс имеет единый интерфейс, все датчики и прочие устройства связаны через общие шины. Допускаются различные, в том числе весьма сложные способы обработки сигналов, предусматривается возможность расширения состава аппаратуры (в первую очередь, увеличения числа датчиков). Режимы работы датчиков, спосо-

бы обработки их сигналов, порядок проведения экспериментальных исследований задают единой программой.

3. Требования к средствам измерений и методам проведения измерений величин третьей группы целесообразно дифференцировать по типам ПР в зависимости от их назначения. Нужно иметь в виду, что допустимые погрешности позиционирования ПР в зависимости от типа могут изменяться в очень широких пределах (от 0,1 мм и менее для сборочных ПР до 10 мм и более для транспортных и окрасочных ПР), поэтому также в широких пределах должны изменяться требования к точности используемых средств измерений. Существенно различными могут быть режимы измерений и требований к проведению измерений.

Для ПР с цикловым управлением погрешности позиционирования и ориентирования могут измеряться только вблизи задаваемых конечных положений. Для ПР с контурным управлением необходимо измерять погрешности непрерывно по траектории. В первом случае измерения можно производить как в статических режимах, после полной остановки в конечных положениях, так и в динамических, когда измеряют колебания вблизи конечных положений, а во втором случае — только в динамических положениях. При работе в динамических режимах должны формулироваться требования к динамическим характеристикам используемых измерительных преобразователей.

Требования к средствам измерений для испытаний ПР сегодня задают как универсальные. Однако, если учитывать большую ширину диапазонов изменения параметров, такие данные приводят к большой неопределенности требований (в частности, к показателям точности и частотным характеристикам) или к неоправданно большим запасам, если ориентироваться на одну из границ диапазона, соответствующую более жестким требованиям. Представляется целесообразной разработка специальной классификации ПР применительно к задачам измерений при испытаниях, такой, чтобы в пределах каждой из классификационных групп ПР требования к характеристикам средств измерений и контроля были бы близкими и их можно было бы унифицировать. Такая классификация может существенно отличаться от традиционной классификации ПР по назначению [2].

4. Требования к средствам измерений, их размещению и установке существенно зависят от того, что является объектом испытаний: манипулятор в



целом или его отдельные модули (в частности, механизмы перемещения по каждой из координат). При испытаниях одного модуля, когда конец звена совершает прямолинейные перемещения или повороты вокруг оси, сохраняющей неизменную ориентацию, измерения намного проще и точнее. Поэтому, когда это возможно, стремятся заменить измерения на произвольных траекториях измерениями на прямолинейных или круговых перемещениях.

В номенклатуру показателей качества ПР входят перемещения (линейные или угловые) по степеням подвижности. Необходимость измерения этих перемещений (точнее, ходов или значений ширины диапазонов перемещений) неочевидна, поскольку эти величины могут быть проверены по технической документации, а допускаемые погрешности не являются малыми и обычно могут иметь порядок нескольких процентов. Однако, если все же считается, что перемещения необходимо измерять, то возможности проведения таких измерений зависят от вида устройства управления. Если управление контурное и привод следящий, то для определения перемещения может быть использован штатный датчик обратной связи, выходной сигнал которого пропорционален линейному или угловому перемещению; ход определяется по разности сигналов в двух крайних положениях. Во всех других случаях необходимы самостоятельные средства измерений.

Так, для измерения вертикального хода может быть использован штангенрейсмус, для измерения хода при выдвигании руки – штангенциркуль. Для измерения углов поворота необходимы угломерные устройства. Часто бывает достаточным контроль хода, т.е. проверка того, что ход не меньше заданного. Отметим, что при измерении ходов не требуется привязки средств измерений к базам ПР.

Более сложной является задача определения параметров рабочей зоны. В первую очередь необходимо уточнить, по положению какой именно точки последнего звена механизма манипулятора следует определять границы рабочей зоны. Эту точку можно назвать контрольной. Обычно целесообразно заменить рабочий орган жесткой деталью, на конце которой закрепляется специальное контрольное тело, предпочтительно в виде сферы, центр которой и будет представлять собой контрольную точку. Координаты контрольной точки следует определять путем измерения расстояния от баз. Желательно, чтобы базы были заданы в виде трех взаимно перпендикулярных плоскостей, расстояния контрольного тела до них можно было бы измерять

с помощью штангенрейсмуса. К этим базам должно быть привязано основание ПР.

Параметры рабочей зоны обычно определяют по координатам некоторых заранее выбранных положений контрольной точки. Эти положения обязательно должны соответствовать всем угловым точкам рабочей зоны (они получаются при различных сочетаниях крайних положений по всем степеням подвижности), но может дополнительно потребоваться задание некоторого числа дополнительных точек на границах рабочей зоны.

Если рабочая зона имеет симметрию вращения, то считается достаточным определять параметры рабочей зоны только в одном сечении – в плоскости, проходящей через ось симметрии. Обычно достаточно убедиться в том, что размеры рабочей зоны не меньше заданных.

При сплошном контроле серийно выпускаемых ПР могут быть использованы и специально изготовленные шаблоны – концевые меры, размеры которых выбирают по номинальным размерам рабочей зоны с учетом допусков на эти размеры.

При необходимости автоматизации измерений параметров используют бесконтактные датчики приближения. Такой датчик имеет релейную характеристику, он выдает сигнал, когда контрольное тело приблизится к нему на расстояние, меньшее предельного. Чтобы контролировать три координаты, в каждой точке должно быть установлено три датчика приближения; при контроле положения в одном сечении (в плоскости) достаточно двух датчиков. Приход контрольного тела в заданную точку контролируется по появлению сигналов обоих датчиков.

Как отмечалось ранее, задача измерения составляющих малых линейных перемещений или малых углов поворота ставится и решается практически множеством различных способов при определении погрешностей позиционирования и ориентирования вблизи заданных конечных положений. Отметим, что для определения разброса точек при приходе в заданное положение использовали и иногда используют самые примитивные способы, например, разброс оценивают по следам от иглы, закрепленной в схвате ПР и протыкающей неподвижно установленную мишень (лист бумаги). В дальнейшем подобные способы не рассматриваются.

Методы решения

Предположим, что составляющие перемещений и углов поворота определяются с помощью измери-



тельных преобразователей, принцип действия которых пока не уточняется. Измерительные преобразователи – датчики – устанавливают вблизи заданного конечного положения зажатого в схвате объекта, положение которого определяется. Диапазон измерения должен несколько превышать возможный размах погрешностей позиционирования. Поскольку приведенная погрешность измерения погрешности позиционирования может быть не слишком малой (порядка 10...20 %), то допускаемая точность датчиков может быть невысокой (приведенные погрешности порядка 5 %). В этом преимущества измерений в малой зоне вблизи заданного положения. Объект, положение которого определяют при измерении, должен входить в зону измерения непосредственно перед позиционированием. Поскольку элементы датчиков представляют собой препятствия для перемещений, вход в зону измерений обычно возможен из узких секторов; это является существенным ограничением при измерениях.

При определении погрешностей позиционирования и ориентирования могут быть использованы только датчики линейных перемещений или эти датчики вместе с датчиками углов поворота. Обычно применение только датчиков линейных перемещений дает возможность получить большую точность, кроме того, определенные преимущества дает унификация датчиков. Поэтому вариант с датчиками линейных перемещений считается основным. Типовой датчик линейных перемещений (безразлично, контактный или бесконтактный) измеряет составляющую перемещений подвижной поверхности, взаимодействующей с датчиком по измерительной оси. Обычно измерительная ось датчика ориентируется по нормали к поверхности.

Будем считать, что погрешности позиционирования и ориентирования определяют для контрольного тела, находящегося в захватном устройстве ПР. Датчики линейных перемещений устанавливают рядом с контрольным телом так, чтобы измерительные оси были бы направлены по нормальям в соответствующих точках.

Центр контрольного тела примем за начало подвижной системы координат, связанной с контрольным телом. Векторы, соответственно, малого линейного перемещения центра тела (вектора погрешности позиционирования) и малого угла поворота (вектора погрешности ориентирования) определяются однозначно, если имеются материально реализованные базы манипулятора, и определяются с точностью до постоянных в серии измерений постоянных векторов, если такие базы отсутствуют.

Смещения выделенных точек поверхности контрольного тела по нормальям определяется по измерительным осям датчиков. Можно рассмотреть систему уравнений относительно шести неизвестных: трех составляющих вектора погрешности позиционирования и трех составляющих вектора погрешности ориентирования. Выбор осей системы координат, в которой производится разложение этих векторов, должен определяться с учетом требований к нормированию.

Может оказаться целесообразным разлагать векторы на составляющие по различным осям. Для определения всех шести неизвестных достаточно шести уравнений, т.е. шести датчиков. При этом все уравнения должны быть линейно независимыми.

При меньшем числе датчиков, если наложены некоторые дополнительные условия, можно определить лишь некоторые из искомых величин (или их линейных комбинаций). Наоборот, если датчиков больше шести, совокупность измерений является избыточной, избыточность может быть использована для повышения точности и (или) надежности определения искомых величин.

Конкретный вид и особенности системы уравнений определяются расположением и ориентацией площадок, с которыми взаимодействуют датчики. Часто контрольное тело выбирают простой геометрической формы (шар, цилиндр, куб); именно такие формы, а также измененные (например, со скосами) и комбинированные будут рассмотрены в дальнейшем. Возможными, а иногда и более удобными являются тела, составленные соединением полос или уголков. Если измерительные оси взаимно перпендикулярны и пересекаются в одной точке, то по сигналам трех датчиков определяются независимо три составляющие вектора погрешности позиционирования, а погрешности ориентирования в первом приближении не влияют на сигналы датчиков независимо от того, являются ли участки поверхностей плоскими или криволинейными (например, цилиндрическими или сферическими). При такой установке трех датчиков допускается подвод контрольного тела с трех направлений или с любого направления в пределах ограниченного ими октанта.

Если необходимо определять погрешности позиционирования в различных точках рабочей зоны, то датчики следует переставлять. Для надежности и стабильности работы датчиков их целесообразно крепить не на отдельных штативах, а объединять в один блок на специальных металлоконструкциях. Обычно основой конструкции является



клетка, в которую устанавливают испытуемый ПР, а блок датчиков можно перезакреплять на штанге, которую, в свою очередь, можно устанавливать в различных положениях в клетке.

Возможно также и совершенно иное конструктивное решение: блок с датчиками крепится на последнем звене механизма типа манипулятора, у которого отсутствуют приводы, а звенья могут перемещаться друг относительно друга вручную и перезакрепляться в различных положениях. Конструкция такого механизма должна быть достаточно жесткой.

При приходе контрольного тела в конечное положение возможны его соударения с датчиками, особенно если последние являются контактными. Чтобы исключить удары, целесообразно перед позиционированием отводить в сторону блок датчиков, а затем возвращать его на место. Так нужно делать перед каждым измерением. Возвращение в прежнее положение должно осуществляться с достаточно высокой точностью. Отведение датчиков в сторону позволяет проводить измерение погрешностей позиционирования при подходе к конечной точке (одной и той же) с разных сторон, а не из определенного октанта (это может существенно сказаться на результатах).

При определении погрешностей позиционирования и ориентирования необходимо минимум шесть датчиков. Если имеет место избыточность, т.е. датчиков больше шести, то при обработке их выходных сигналов, например, по методу наименьших квадратов может быть получено некоторое повышение точности. При наличии одного "лишнего" датчика совместная обработка сигналов всех датчиков позволяет обнаружить факт отказа любого (но только одного) датчика. При наличии двух "лишних" датчиков не только обнаруживается факт одиночного отказа, но и устанавливается, какой именно из датчиков отказал.

Разработаны способы обработки данных (метод наименьших модулей, метод избыточных переменных), которые автоматически исключают выходные сигналы отказавших датчиков. При наличии избыточности также оказывается возможным по остаточным невязкам оценивать погрешности измерений при отсутствии надежных сведений о точности датчиков.

При измерении малых линейных перемещений могут быть использованы датчики различных типов. Для автоматической обработки и регистрации датчики должны иметь электрический выход. Чаще всего используют контактные датчики с рези-

сторными (со скользящими контактами), тензорезисторными и индуктивными преобразователями.

Щупы датчиков, которые упираются в поверхность контрольного тела, могут совершать или линейные перемещения или повороты вокруг оси. Щуп тензорезисторного преобразователя обычно представляет собой упругую балочку, на которую наклеены тензометры сопротивления, соединенные по мостовой схеме. В бесконтактных датчиках чаще всего используют индуктивные преобразователи (обычно трансформаторные).

Бесконтактные датчики не имеют подвижных частей и поэтому более надежны. Индуктивные преобразователи иногда делают многокомпонентными, каждый такой преобразователь выдает несколько сигналов, из которых получается информация о нескольких составляющих линейных перемещений и (или) углов поворота. Все перечисленные датчики являются аналоговыми; если необходимо иметь кодовые сигналы, то используют аналогово-цифровые преобразователи. Имеются и цифровые датчики малых перемещений. Например, некоторое распространение получил датчик, в котором линейное перемещение щупа через механическую передачу преобразуется в поворот кодового диска фотоэлектрического преобразователя, его выходной сигнал пропорционален углу поворота диска, а измеряемое линейное перемещение получается в двоичном коде.

Идея метода уменьшения погрешностей позиционирования в заданных точках или воспроизведения заданных траекторий достаточно проста и заключается в следующем. Расчетно или экспериментально определяют погрешности в этих точках или по траекториям, они запоминаются, а затем перед работой по ним вычисляются поправки, которые вводятся в устройство управления. При этом программные значения координат изменяются так, что поправки корректируют, исправляют движения [2].

Это возможно только в устройствах позиционного или контурного управления. Введение коррекции перемещений инструментов предусматривают во всех устройствах числового программного управления станков, а также роботов, предназначенных для выполнения технологических операций. Очевидно, что метод позволяет устранять только повторяющиеся, систематические составляющие погрешностей; компенсация случайных, изменяющихся от раза к разу знаков составляющих погрешностей практически невозможна.



Для компенсации систематических погрешностей несущественно их происхождение, лишь бы они могли быть определены предварительно, перед работой. Расчетное определение систематических погрешностей требует их отдельного анализа: отдельно рассчитываются геометрические погрешности, обусловленные, например, отклонениями длин звеньев от номинальных значений, перекосов осей, работой приводов и т.д.

При экспериментальном определении погрешностей нет необходимости определять их происхождение, погрешности определяются, как суммарные. В действительности между обоими способами резкой границы нет, поскольку данные об отличиях значений параметров от номинальных реально могут быть получены только из эксперимента (в первую очередь, при первоначальной аттестации робота). Формулы для погрешностей позиционирования получают аналитически, из геометрических соотношений. Но выражения для поправок будут различными в зависимости от условий работы и способов программирования.

Например, если робот переносит объект в одну, определенную точку, масса объекта постоянна, а программирование осуществляется методом обучения, введение поправок не требуется. При захватывании объектов разных масс нужно вводить поправки на изменения этой массы (это возможно, поскольку масса заранее известна).

Введение поправок на прогибы от собственных масс механизмов манипуляторов необходимо только тогда, когда программирование осуществляется аналитическим методом или при замене одного робота другим, аналогичным, но с другими значениями длин звеньев.

В этом последнем случае можно представить, что производственный участок спроектирован с обеспечением точной установки роботов, координаты точек позиционирования определены в единой системе координат, и относительные координаты этих точек пересчитываются на обобщенные координаты манипуляторов [2].

После установки роботов на рабочие места положение точек позиционирования не исправляется, в устройство управления вводят только заранее рассчитанные координаты. Ясно, что в таких условиях погрешности длин звеньев и кинематические погрешности (точнее, их систематические составляющие) непосредственно переходят в погрешности позиционирования. Поэтому необходимо введение поправок на соответствующие слагаемые. Это же необходимо, когда вместо одного, отказавшего ро-

бота точно на то же место (с точным базированием) устанавливают другой робот, причем не производят "подгонку" по месту вновь устанавливаемого робота. В этом случае нужно убрать старую поправку и ввести новую, относящуюся ко второму роботу.

Если точка позиционирования одна, то для данного робота поправки постоянны, они могут быть рассчитаны заранее и введены в виде чисел. Если точек позиционирования несколько, но их координаты известны, то нужно запомнить несколько наборов чисел. Но если точки позиционирования заранее не определены или нужно перемещать рабочий орган по определенной траектории (например, по прямой или по окружности), поправки следует вычислять по точкам или непрерывно в соответствии с геометрическими соотношениями. Для простейших случаев эти соотношения не очень сложны. Однако с увеличением числа степеней подвижности, при учете дополнительных факторов (например, распределенной упругой податливости звеньев) эти формулы становятся весьма громоздкими, и устройство управления просто будет не в состоянии проводить необходимые вычисления. В таких случаях целесообразно использовать упрощающие приемы:

- 1) вместо вычисления поправок во всех точках берут одну, единую для всех. Естественно вычислять эту поправку для некоторой средней точки рабочей области позиционирования, которая составляет часть рабочей зоны. Очевидно, что этот способ эффективен, если рабочая область достаточно мала, значительно меньше всей рабочей зоны;
- 2) рабочую область разбивают на подобласти, для каждой из них вычисляют свою поправку;
- 3) для всей рабочей зоны поправки вычисляют по единым интерполяционным формулам. Второй и третий приемы могут использоваться комбинированно.

Вывод

Предложен эффективный инструмент коррекции конечного положения при позиционировании манипуляторов промышленных роботов, основанный на введении поправок в устройство управления.

Библиографический список

1. Колпашников С.Н., Тимофеев А.В., Челпанов И.Б. Стандартизация промышленных роботов. М.: Изд-во Стандартов, 1990.
2. Челпанов И.Б., Бржозовский Б.М., Кочетков А.В. Динамика промышленных роботов. Саратов: изд-во Саратов. гос. техн. ун-та, 1999. 132 с.

Высокие технологии XXI века – ВТ XXI–2013

С 24 по 26 апреля на территории ЦВК "Экспоцентр" состоялся 14-й Международный форум "ВТ XXI–2013", организованный Департаментом науки, промышленной политики и предпринимательства г. Москвы, Российским фондом развития высоких технологий, Московской торгово-промышленной палатой и ЗАО "Экспоцентр".

По своей структуре выставка представляла собой многоотраслевое мероприятие. На ней работали специализированные выставочные салоны: "Нанотехнологии XXI–2013", "Энергия XXI–2013", "Hi-Tech-мегаполис", "Технопарк", "Hi-Tech-Наука". Свою продукцию на выставке показали 245 компаний, в том числе и из России.

Приведем краткое описание экспонатов, демонстрировавшихся на выставке и вызвавших интерес у машиностроителей – посетителей выставки, а также предложений предприятий-разработчиков и сбытовых организаций.

На выставке свои новые разработки демонстрировали и предложили потребителям институты Российской академии наук.

Институт проблем управления РАН им. В.А. Трапезникова демонстрировал *Z-термистор* для контроля заданного значения температуры любых физических сред и агрегатов в диапазоне $-50...+100$ °С. Он представляет собой полупроводниковую р-п структуру, обладающую функцией перехода из одного устойчивого состояния (с малым током) в другое устойчивое состояние (в 30...100 раз большим током) при достижении заданного значения температуры.

Установка требуемого значения температуры осуществляется изменением напряжения питания. Длительность перехода структуры из одного состояния в другое – 1...2 мкс. Питающее напряжение установки – 1...60 В, выходной сигнал – 0,5...15,0 В, потребляемый ток – 0,05...2,50 мА, температурный диапазон – $-30...+100$ °С, точность установки – 0,1...0,01 °С, быстродействие менее – 1 с. По словам разработчиков *Z-термисторы* не имеют аналогов в мировой практике и применимы в приборостроении, машиностроении, пожарной сигнализации.

Научно-производственное объединение "Техномаш" показало на выставке свои разработки.

Программно-аппаратный комплекс М-2500 для контроля качества сборки гироскопов открытого и закрытого типов по моментным характеристикам в лабораторных и цеховых условиях состоит из электронного блока, преобразователя моментов с приспособлением для закрепления испытываемых приборов, персонального компьютера и информационно-измерительной системы. Погрешность измерения моментов для нормальных условий не более 3 %.

Машина для сварки трением биметаллических переходников, необходимых при производстве трубопроводов из разнородных металлов (сталь–алюминий, титан–алюминий и т.п.) диаметром 25...80 мм. Система управления машины обеспечивает выполнение цикла сварки в автоматическом режиме, контроль и регистрацию всех параметров процесса. Применение машины для сварки трением позволяет:

- повысить качество биметаллических сварных соединений на 15...20 %;
- повысить производительность на 10...15 %;
- снизить энергопотребление на 8...12 %.

Площадь свариваемого сечения – до 3000 мм², диаметр свариваемых деталей – 15...90 мм, их длина – 100...120 мм, частота вращения шпинделя – 900 мин⁻¹, осевое усилие при нагреве – 110 кН и при проковке – 100...120 Н. Машина применима в авиационной и ракетно-космической отрасли, химическом и транспортном машиностроении и при изготовлении заготовок режущего инструмента.

Технология для сборки электронно-лучевой сваркой трехслойных панелей из титановых сплавов. Сварка панелей производится на стандартных электронно-лучевых установках. Применение трехслойных панелей позволяет: снизить деформации сварных соединений на 12...15 %, а себестоимость изготовления – на 14...16 %, получить (по сравнению с клепанными) более легкие, жесткие и герметичные конструкции. Число проходов при сварке 1, толщина наружной стенки 1,2...2,0 мм, толщина стенки внутреннего набора 0,8...1,2 мм.

Применение данной технологии позволяет снизить массу конструкции до 50 % и обеспечивает герметизацию сварного изделия.

Комплект малогабаритных головок ГСК-1 орбитальной сварки трубопроводов. Головки работают в комплекте с аппаратурой управления процессорного типа "Гелиос 03". Сварочную головку и аппаратуру управления можно скомутировать с любым источником питания для аргонодуговой сварки, укомплектованным осциллятором поджига дуги.

Применение малогабаритных головок ГСК-1 для сварки в монтажных условиях позволяет обеспечить получение сварных соединений высокого качества. Свариваемые диаметры труб 4...30 мм, скорость сварки 4...12 м/ч, максимальный сварочный ток в импульсе 100 А, охлаждение горелки воздушное.

Универсальная сварочная головка УСГ-1 для автоматической электродуговой сварки в среде защитных газов плавящимся и неплавящимся электродами с подачей присадочной проволоки и слежением в автоматическом режиме по длине дуги. Такой вид сварки рекомендован при сварке продольных и кольцевых



швов при изготовлении изделий ракетно-космической техники.

Сварочный ток при работе головки 500 А, скорости подачи: электродной проволоки — 80...1200 м/ч, присадочной головки — 16...80 м/ч, диаметры: присадочной проволоки — 1,2; 1,6; 2,6; 3,0 мм; вольфрамового электрода — 2,0...8,0 мм; электродной проволоки — 1,0; 1,2; 1,6 мм. Максимальная амплитуда колебаний электрода при сварке неплавящимся электродом 14 мм. Углы разворота головки: в вертикальной плоскости 90°; в горизонтальной плоскости 180°. Применение такой головки обеспечивает высокую точность позиционирования, возможность регулировки частоты и амплитуды колебаний горелки в процессе сварки, повышение качества сварочных соединений на 10...15 %, сокращение трудоемкости сварочных операций на 15...20 %.

Специальный станок ЭПП-8 (рис. 1) для электроэрозионной прошивки отверстий в форсунках камер сгорания. Станок оснащен генератором импульсов и системой ЧПУ, обеспечивающими точность перемещения и взаимного положения координат прошивочного электрода и обрабатываемого отверстия. Максимальные размеры обрабатываемой детали: диаметр 50 мм, высота 60 мм, диаметр отверстий 0,1...6,0 мм, точность изготовления отверстий $\pm 0,01$ мм, параметр шероховатости Ra 0,2 мкм, точность позиционирования по осям $X, Y, Z \pm 0,005$ мм, потребляемая мощность 1,1 кВт. Габаритные размеры станка 925×770×1030 мм, его масса 200 кг.

Намоточно-выкладочный станок СНП21 с ЧПУ для изготовления длинномерных стержней фермерных конструкций, антенн, труб манипуляторов, грузовых стрел из полимерных композиционных материалов. Применяемый армирующий материал: стеклолента, стекложгут, углежгут, стеклоткань. Станок оснащен автоматической системой контроля и регулирования технологических параметров намотки. Усилие натяжения ленты 5...500 Н, ее длина 2500...3200 мм. Наибольшая скорость намотки 24 м/мин, масса станка 9 т.

Технология вакуумной пайки алюминиевых теплообменников унифицированной конструкции. Разработан технологический процесс сборки и пайки теплообменников из унифицированных деталей, обеспечивающий высококачественное формирование паяных соединений и высокую работоспособность теплообменников новой конструкции. Предельно допустимый зазор под пайку 0,05 мм. Максимальные размеры сборочных единиц 300×600×400 мм. Вакуум в рабочем пространстве печи 10^{-4} мм рт. ст. Предлагаемые теплообменники пластинчато-ребристой конструкции из унифицированных элементов (деталей) позволяют существенно улучшить массовые характеристики изделий, их теплофизические характеристики и снизить трудоемкость их изготовления.

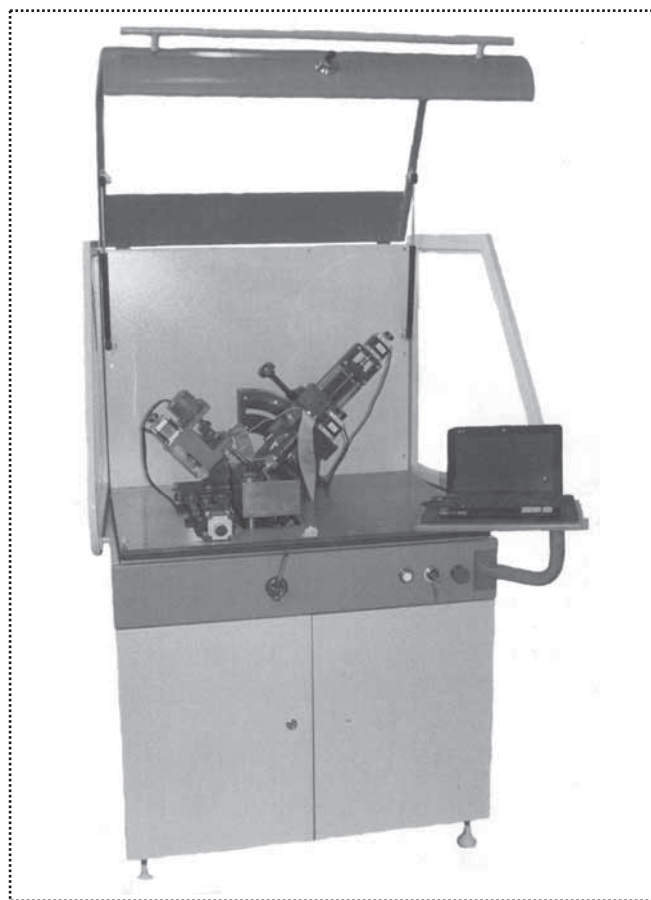


Рис. 1. Специальный станок ЭПП-8

Электротермическая компрессионная установка ЭКУ 12.20/12,5 для изготовления сборочных единиц камер сгорания жидкостных ракетных двигателей по совмещенному технологическому процессу пайки—закалки—отпуска представляет собой механизированную муфельную индукционную печь повышенной частоты.

Установка состоит из манипулятора, вакуумной системы, источника питания и аппаратуры автоматического управления технологическим процессом. Максимальные: рабочая температура установки 1250 °С, избыточное давление в рабочем объеме 1,5 МПа допустимый изгибающий момент на консоль шпинделем манипулятора 7000 Н·м, частота вращения шпинделя манипулятора 4...15 мин⁻¹. Потребляемая мощность 630 кВт. Габаритные размеры сборочной единицы: диаметр 400...1000 мм, длина 400...1000 мм. Площадь, занимаемая установкой, — 100 м², ее масса 20 т.

Группа компаний "Мир намоточных станков" (Россия) предложила потребителям станки, применяемые в сборочном производстве при намотке и размотке трансформаторов и реле, магнитов, датчиков, якорей статоров электродвигателей любой мощности, лент,

сварочной проволоки и других длинномерных материалов.

Намоточный станок СНП-0,1-150В "Пульсар" для рядовой и секционной намотки прецизионных электрокатушек, требующих высокой стабильности натяжения, раскладки и числа витков. Позволяет наматывать миниатюрные катушки индуктивности, магнитные датчики, резистивные проволочные резисторы и т.п. Станок имеет в своем составе:

- блок управления, выполненный на базе промышленного контроллера с сенсорным экраном и программным обеспечением Winding-PLC;

- механизм намотки;
- заднюю бабку;
- защитный экран;
- светодиодное освещение;
- винтовой раскладчик с шаговым двигателем;
- электронно-натяжное устройство ЭНУ-01.

Диаметр провода, наматываемого на станке, — 0,0014...0,300 мм, частота вращения вала намотки 2000 мин⁻¹. Питающее напряжение станка 220 В, потребляемая мощность 0,5 кВт. Его габаритные размеры 1000×600×500 мм, масса 40 кг.

Двухвальный намоточный станок СНС-2.0-300-2В (рис. 2) с высокой производительностью при намотке катушек с большим числом витков тонкого провода, например, высоковольтных катушек зажигания, реле и т.п. Станок включает:

- блок управления, выполненный на базе промышленного контроллера сенсорным экраном с программным обеспечением Winding-PLC;

- механизм намотки с двумя валами;
- двойную заднюю бабку;

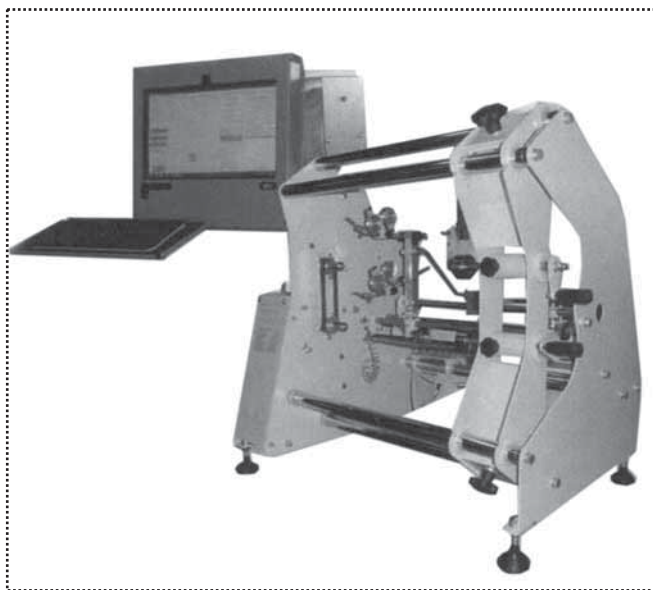


Рис. 2. Двухвальный намоточный станок СНС-2.0-300-2В

- защитный экран;
- раскладчик с двумя поводками;
- два фрикционных натяжных устройства ФНУ-2.0;

- два смоточных устройства БСУ-0,5.

Диаметр наматываемого провода 0,05...1,50 мм, шаг его раскладки 0,00056...14,00 мм/об, ширина раскладки до 300 мм. Питающее напряжение станка 220 В, потребляемая мощность 0,6 кВт. Его габаритные размеры 900×700×500 мм, масса 65 кг.

Станок СН-10С-600 "Прогресс" для крупногабаритной намотки с автоматической раскладкой изделий, допускающих консольное закрепление, например, якорей электродвигателей, выпных обмоток, крупногабаритных электромагнитов. Станок имеет в составе:

- блок управления, выполненный на базе промышленного контроллера с сенсорным экраном с программным обеспечением Winding-PLC;

- механизм намотки с планшайбой диаметром 500 мм;

- раскладчик;
- формующее натяжное устройство;
- подвижный защитный экран;
- светодиодное освещение;
- выносной пульт управления;
- педаль пуск-стоп;
- мотор-редуктор с асинхронным двигателем;
- педали управления станком и устройства заправки.

Диаметр наматываемого провода 0,5...5,0 мм, шаг раскладки 0,00018...200,00 мм/об, диаметр вала намотки (планшайбы) 400 мм, площадь поперечного сечения наматываемого провода (прямоугольного) 0,5...400,0 мм², частота вращения вала намотки 100 мин⁻¹. Питающее напряжение станка 380 В, потребляемая мощность 6 кВт. Его габаритные размеры 1630×1540×1750 мм, масса 700 кг.

Карусельно-обвивочный комплекс КОК-12 для встречной обвивки, упрочнения кабеля датчиков, а также для экранирования и других операций, связанных с прецизионным наложением обматываемого материала. Комплекс состоит из смоточного устройства; карусельно-обвивочного и вытяжного механизмов; устройства подъема-снятия катушек; блока управления. Диаметр катушки смоточного устройства 950 мм, его частота вращения 50 мин⁻¹, число катушек 6 шт., стабильность поддержания натяжения 15 %. Диаметр вытягиваемого свитого материала до 9 мм. Питающее напряжение комплекса 380 В, потребляемая мощность 8,5 кВт. Его габаритные размеры 9000×1500×1800 мм, масса 1,5 т.

Специализированный намоточный комплекс с ЧПУ (рис. 3) для навивки резистивных элементов многооборотных потенциометров включает:



Рис. 3. Специализированный намоточный комплекс с ЧПУ

- механизм намотки и задней бабки на подвижной платформе;
- обмоточную головку на пять катушек с индивидуальными натяжными узлами;
- блок управления на базе промышленного контроллера и компьютера с сенсорным экраном;
- защитный экран зоны намотки и устройств освещения зоны намотки;
- смоточное устройство ИСУ-30.

Намотка осуществляется по специальной программе автоматическим расчетом параметров намотки. В процессе намотки возможна корректировка электрических характеристик изделия. Диаметр наматываемого провода 1,5 мм, резистивной проволоки 0,035...0,160 мм. Число устанавливаемых катушек с резистивной проволоки 5 шт., их диаметр 40 мм. Питающее напряжение комплекса 220 В, потребляемая мощность 8 кВт. Его габаритные размеры 1800×1000×1700 мм, масса 60 кг.

Намоточный станок рядовой прецизионной намотки СН-10 СП-300 (200) для качественной намотки – фасовки сварочной проволоки на еврокассеты К-200, К-300, К-415 и др. Станок включает:

- блок управления, выполненный на базе промышленного контроллера с сенсорным экраном с программным обеспечением Winding-PLC;

- формирующее устройство с дистанционным управлением;
- систему раскладки;
- выносной пульт управления;
- защитный экран;
- датчики затвора, обрыва и скрутки;
- смоточное устройство.

На станок можно установить специальный раскладчик для намотки порошковой сварочной проволоки. Диаметр наматываемой проволоки 0,4...2,0 мм, максимальное биение вала намотки 0,2 мкм, частота вращения вала намотки 1000 мин⁻¹. Питающее напряжение станка 380 В. Его габаритные размеры 2300×1300×1300 мм, масса 500 кг.

Автомат АНМС-0,02 для намотки микроспиралей в один слой в автоматическом режиме. Станок обеспечивает отладку процесса намотки выполнением следующих операций: захват провода, намотка необходимого числа витков с заданным шагом; формирование вывода, снятие намотанной катушки с оправки, отрезку провода. Он включает:

- блок управления, выполненный на базе промышленного контроллера с сенсорным экраном и программным обеспечением Wind-PLC;
- механизмы намотки, раскладки провода и его обрезки;
- поворотный механизм подачи провода;
- смоточно-натяжной узел и механизм прижима спирали микропровода.

Диаметр наматываемой проволоки 0,02 мм. Питающее напряжение станка 220 В, потребляемая мощность 5 кВт. Его габаритные размеры 1000×500×700 мм, масса 30 кг.

Станок СН-10М-70 для намотки прямоугольных и круглых витых магнитопроводов из электротехнической ленты включает:

- блок управления с подставкой;
- модуль памяти и защиты от несанкционированного доступа;
- механизм намотки;
- формирующее устройство;
- смоточное устройство;
- направляющие ролики;
- ловитель для удержания отрезанного конца ленты.

Толщина наматываемой ленты 0,05...0,40 мм, ее ширина 10...70 мм. Питающее напряжение станка 220 В, потребляемая мощность 1,5 кВт. его габаритные размеры 1220×1200×1800 мм, масса 500 кг.

Полуавтомат СНР-300-2В для продольной резки изоляционного материала с большого роля на рулончики для изолировки проводов. Полуавтомат состоит из валов намотки, правильного устройства, механизма резки и торможения, блока управления и длинно-



мера. Диаметр вала намотки 40 мм, частота его вращения 68 мин^{-1} . Питающее напряжение полуавтомата 220 В, потребляемая мощность 1,5 кВт. Его габаритные размеры $1500 \times 1750 \times 1750 \text{ мм}$, масса 250 кг.

Намоточный станок СНЯ-1.2-2В для высокопроизводительной намотки якорей одновременно двумя мотвилами с автоматической заброской коллектора. Станок состоит из привода мотвил и позиционирования якоря, оправки, лопатки для формовки петелек на коллектор, натяжного устройства и блока управления. Диаметр перематываемого материала 0,1...1,2 мм. Питающее напряжение станка 220 В, потребляемая мощность 0,25 кВт. Его габаритные размеры $2300 \times 900 \times 850 \text{ мм}$, масса 195 кг.

Станок СНТ-2.2ВВ для намотки крупным проводом (одинарным или двойным и длиной не более 2 м – малое число витков) тороидальных катушек (дросселей и т.п.) с малым внутренним диаметром тара после намотки. При намотке одинарным проводом – диаметр провода до 2 мм, при намотке двойным – диаметр провода до 1,4 мм. Станок имеет в своем составе блок управления, модуль дополнительной памяти с функциями дополнительной памяти компьютерной поддержки и защиты от несанкционированного доступа и педаль. Диаметр наматываемого провода при намотке одинарным проводом 2 мм. Диаметр протяжных игл 8 мм. Скорость движения иглы до 60 ходов/мин, ее ход 5600 мм. Питающее напряжение станка 220 В, потребляемая мощность 500 кВт. Габаритные размеры блока намотки $1000 \times 700 \times 1300 \text{ мм}$, блока управления с подставкой $500 \times 500 \times 1200 \text{ мм}$.

Станок ПС-30-600 для автоматической мерной резки троса диаметром 1 мм по заданной длине. При резке не требуется применение физических усилий. Станок состоит из блока управления, выполненного на базе промышленного контроллера PLC с сенсорным экраном и программного обеспечения Winding-PLC и вытяжного механизма, состоящего из червячного мотор-редуктора с асинхронным электродвигателем мощностью 0,37 кВт, с частотой вращения ротора 1380 мин^{-1} . Вытяжной ролик имеет несколько канавок для различных диаметров троса и прижимной ролик с пружиной. Станок также оснащен длинномером, датчиком контроля резки троса, сварочным аппаратом для обрезки троса, смоточным устройством ИСУ-30, цепью для отвода статического электричества. Максимальная скорость подачи троса 60 м/мин. Погрешность измерения длины 0,01 мм. Максимальная линейная скорость намотки (при диаметре 250 мм) до 60 м/мин. Питающее напряжение станка 220 В, потребляемая мощность 5,5 кВт. Его габаритные размеры $1270 \times 1150 \times 1270 \text{ мм}$, масса 70 кг.

Электронное смоточное устройство ЭСУ-0.25Ш для смотки оптоволоконна с отдающей катушки, натяжение с заданным усилием и возможностью подбора

оптоволоконна на отдающую катушку. Устройство используется в комплекте с намоточным станком. Оно оснащено шаговым или асинхронным двигателем и электронным устройством управления.

Электронное смоточное устройство ИСУ-400-14. Конструкция устройства позволяет существенно повысить производительность труда, ускоряет процесс намотки, экономит рабочее место. Смоточное устройство оснащено индивидуальными тормозами для каждой из 14 катушек с проводом, что позволяет контролировать натяжение при намотке. Для предотвращения спутывания проводов смотка оснащена разделительными узлами. Устройство надежно в эксплуатации и позволяет производить одновременную намотку до 14 проводов.

ООО "Контрольно-измерительная и весовая техника" показало новые разработки зарубежного производства.

Датчик крутящего момента Т40В (рис. 4) для прецизионных измерений крутящего момента даже при низких оборотах и мониторинга направления вращения. Встроенный счетчик импульсов обеспечивает измерение угла поворота, что необходимо при проведении функциональных испытаний. Оптические системы измерения скорости быстро достигают предельных значений даже в неблагоприятных промышленных средах.

Датчик не чувствителен к пылевым и масляным загрязнениям, благодаря чему может применяться в стендах для испытания двигателей. Цифровой интерфейс МТС в статоре датчика позволяет устанавливать соединение с интерфейсным модулем ТИМ40, что де-



Рис. 4. Датчик крутящего момента Т40В



дает возможным не только автономное применение датчика, но также и его интеграцию в различные испытательные установки на базе полевых шин, например, CAN, Profibus-DP и Ether CAT. Номинальные крутящие моменты датчика 50 Н·м, 100, 200, 500 Н·м, 1 кН·м, 2, 3, 5 и 10 кН·м. Его частота вращения 10 000...20 000 мин⁻¹. Класс точности 0,05. Передача результатов измерений осуществляется цифровым методом.

Лазерный трекер FARO Laser Tracker, представляющий собой мобильную координатно-измерительную систему, использующую параметры лазерного излучения для точного измерения линейных и угловых размеров крупногабаритных деталей, а также контроля сборки и установки больших конструкций. Лазерный трекер определяет координаты углового отражателя (мишени) измерением двух углов и расстояния. Углы измеряются датчиками, закрепленными на осях зенита и азимута. Расстояние по радиусу определяется лазерным измерителем абсолютного расстояния с фазовым сдвигом или лазерным интерферометром со счетчиком полос.

Лазерный трекер FARO VANTAGE по словам представителя компании – самый современный лазерный трекер. Он имеет самые маленькие габаритные размеры и массу (трекер 12,6 кг + контроллер 4,8 кг). Усовершенствованная технология лазерного измерения абсолютного расстояния Tr и ADM использует специальные запатентованные алгоритмы отслеживания движущихся мишеней.

Результаты измерений, полученные с помощью трекера, можно передавать в компьютер не только по USB кабелю, но и с помощью беспроводных технологий связи. Лазерный трекер имеет следующие особенности: увеличенную рабочую зону (радиус измерений до 80 м); встроенную видео, стерео пару, позволяющую в автоматическом режиме отслеживать конкретную мишень; пыле- и влагозащищенное исполнение; новую конструкцию размещения датчиков и считывания с них информации, что позволяет значительно экономить время при проведении сервисного обслуживания. Прибор работает при температуре окружающей среды –15...+50 °С. Линейная точность измерений в режиме ADM – 16 мкм + 0,8 мкм/ч, угловая точность измерений – 20 мкм + 5 мкм/м.

Переносную координатно-измерительную машину FARO PRIME12, выполненную в виде манипулятора для сборочных работ, управляемую вручную и устанавливаемую рядом с измеряемым объектом. Таким манипулятором можно контролировать простую и сложную геометрию, например, поверхности собираемых штампов и пресс-форм сравнением поверхностей с компьютерной CAD-моделью. Рабочая зона машины 3700 мм при погрешности ±0,085 мм. Она имеет 6 рабочих осей.

ООО "УниверсалПрибор" (г. С.-Петербург) продемонстрировало на выставке паяльное оборудование для сборочно-монтажных работ.

Высокочастотную индукционную паяльную станцию i153, осуществляющую индукционный нагрев, при этом калибратор не требуется. Все функции калибратора заложены в управляющий блок. Отключение паяльника автоматическое. Возможна бессвинцовая пайка. Питающее напряжение станции 220 В, максимальная мощность 90 Вт, температурный диапазон 340...440 °С. Ее габаритные размеры составляют 130×80×150 мм, масса 1,3 кг.

Аналоговую паяльную станцию WS81, состоящую из блока управления PU81 и паяльника WSP80 мощностью 80 Вт, с питающим напряжением 24 В. Диапазон рабочих температур станции 150...450 °С. Температура при работе станции регулируется вращением специальной рукоятки.

Цифровую паяльную станцию WSD81, состоящую из блока питания, паяльника с паяющим жалом и подставки. Питающее напряжение станции 220 В, мощность 80 Вт, температурный диапазон +50...+450 °С. В комплект станции входит трехпозиционный цифровой монитор. Имеется возможность подключения калибровочного блока и установки времени отключения и блокировки температуры, а также автоматического распознавания подключенного инструмента.

Станции ремонта и демонтажа компонентов WR2000A и WR2000D. Станция WR2000A имеет возможность отпайки и состоит из управляющего блока Wг2, наборов для отпайки DSX80 и пайки Wп80.

Станция WR2000D для пайки горячим воздухом состоит из управляющего блока Wг2, набора для пайки горячим воздухом НАР1 и набора для обычной пайки. Габаритные размеры станций 273×235×102 мм, питающее напряжение 220 и 120 В, мощность 300 Вт, класс защиты 1 и 3. Температурные режимы: паяльник пайки/отпайки +50...+450 °С; паяльник пайки горячим воздухом +50...+550 °С. Максимальный воздушный поток при работе 18 л/мин (для горячего воздуха 10 л/мин). Станции имеют электростатическую защиту ESD Safe.

Фирма Taylor Hobson предложила для российских предприятий зарубежные приборы контроля параметров формы и шероховатости поверхностей. Все предложенные приборы проходят метрологические испытания органом Госстандарта РФ–ГФУП ВНИИМС.

Систему Talyrond 1600 для измерения отклонений от круглости. Измеряет детали массой до 500 кг и диаметром до 1600 мм. Основу системы составляет прецизионный пневмошпиндель с радиальной и осевой погрешностью ±0,1 мкм и автоматизированное центрирование с эксцентриситетом менее 0,8 мкм. Она



контролирует: отклонение от круглости; концентричность, эксцентриситет, неперпендикулярность, соосность, биение, гармонический анализ, наклон профиля, неплоскостность, толщину стенки. Диаметр измеряемой детали 500...1600 мм, ее высота 400 мм, погрешность измерения 0,03 мкм.

Измерительную систему Talyrond 450 для проведения точных, сложных измерений параметров геометрии тяжелых изделий. Она применяется в различных отраслях промышленности (автомобильной, подшипниковой, машиностроении и т.п.). Прибор оснащен вращающимся датчиком и имеет большой измерительный объем (диаметр до 450 мм, высота до 1,5 м). Нагрузочная способность прибора до 1 т при точности шпинделя 0,1 мкм.

Управление осуществляется компьютером в автоматическом или полуавтоматическом режиме. Измерение происходит по трем осям (вращение по вертикали и горизонтали).

Формат результатов – цветной графический с высокой степенью разрешения. Перемещение измерительного рычага векторное.

Последовательность измерений осуществляется по заданной программе, результаты измерений сохраняются в памяти компьютера. Датчик бокового действия имеет сменные щупы и крепится в поворотном рычаге, который позволяет устанавливать его в любое положение относительно измеряемой поверхности (для измерения внутренних и наружных поверхностей, снизу, сверху и под углом).

Прибор укомплектован принадлежностями и приспособлениями: набором для калибровки, образцовой сферой, плоскопараллельной пластиной 250 мм, приспособлением для установки датчика, шестикулачковым патроном, устройством быстрого центри-

рования, гидросборником и стабилизатором пневмопитания, стандартными щупами. Максимальная масса измеряемой детали 1 т при высоте 1500 мм. Питающее напряжение системы 90...260 В, мощность 2,5 кВт.

Прибор Форм Талисурф Интра с индукционным датчиком для измерения шероховатости, волнистости и формы. Диапазон 1 мм и разрешающая способность 16 мкм позволяет проводить быструю установку образца и проведение измерений. Программное обеспечение позволяет проводить анализ шероховатости и формы поверхности. Прибор состоит из отдельного мотопривода и компьютера с программным обеспечением.

Результаты измерений и результаты анализа сохраняются и могут быть заново загружены, просмотрены и распечатаны. Результаты измерений и анализа также могут быть использованы для дальнейшей обработки другими программами (дополнительный анализ контура, программа расчета статистики). Длина трассы измерения 0,1...50,0 мм, диапазон измеряемых углов $\pm 35^\circ$ при погрешности измерения 3 %, погрешность измерения радиусов 2 %, скорость измерения 1 мм/с.

Выставка прошла с большим успехом. Во время ее проведения были организованы: Международная конференция "Высокие технологии – стратегия сотрудничества на пространстве ШОС", конкурсная программа, направленная на выявление наиболее перспективных инновационных проектов, ярмарка проектов и многое другое.

Чл.-корр.

Академии проблем качества

А.Н. Иванов

ООО "Издательство **Машиностроение**", 107076, Москва, Стромьинский 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., Солюшкина Л.Е.*

Сдано в набор 06.06.13 г. Подписано в печать 11.07.13 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.