ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

СБОРКА В МАШИНОСТРОЕНИИ, ПРИБОРОСТРОЕНИИ

ЖУРНАЛ ВЫХОДИТ ПРИ СОДЕЙСТВИИ МЕЖДУНАРОДНОГО СОЮЗА МАШИНОСТРОИТЕЛЕЙ

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

2 2014 (163)

СОДЕРЖАНИЕ

Технологичность конструкции

Ирзаев Г.Х., Адамов А.П. Оценка влияния конструктивной преемственности на технологичность электронных приборов . . . 3

Сборочное оборудование и его элементы

Авцинов И.А., Кристаль М.Г., Маликов Д.Ю. Классификация устройств с газовой несущей прослойкой . . . 9

Байнева И.И., Байнев В.В. Установка для исследования и измерения аберрационных характеристик отражательной оптической системы . . . 12

Современные технологии сборки

Иванов А.А. Автоматизация сборки печатных плат . . . 18

Технологическая оснастка для сборки

Ашрятов А.А., Микаева С.А., Микаева А.С. Прибор для контроля сборки компактных люминесцентных ламп . . . 23

В помощь конструктору, технологу

Денисов Ю.В., Капленко М.В. Математическое моделирование при сборке прецизионных датчиков ускорения . . . 27

Ламин И.И. Укрупненный метод проектирования технологических процессов сборки изделий в автостроении . . . 32

Микаева С.А., Микаева А.С. Автоматизированная сборка компактных люминесцентных ламп . . . 36

Щенятский А.В., Чухланцев Е.С. Экспериментальная оценка нагрузочной способности поликонтактных неравножестких соединений с натягом . . . 39

Разборка. Ремонт

Волков Г.М. Композиты для санации изношенного оборудования заготовительных производств в машиностроении . . . 42

Журнал распространяется по подписке, которую можно оформить в любом почтовом отделении (индексы по каталогу “Роспечать” – **79748**, Объединенному каталогу “Пресса России” – **84967**, каталогу "Почта России" – **60257**) или непосредственно в издательстве

Тел.: (499) 268-38-42; тел./факс: 268-85-26. Факс: (499) 269-48-97.

E-mail: sborka@mashin.ru

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

Председатель редакционного совета

Ф.М. МИТЕНКОВ, *академик РАН*

Редакционный совет

МОСКВА

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

Региональные редсоветы

БЕЛГОРОД
Н.А. ПЕЛИПЕНКО, д.т.н.

БРЯНСК
О.А. ГОРЛЕНКО, д.т.н., проф.

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

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

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

КАЗАНЬ
Р.И. АДГАМОВ, д.т.н., проф.

КОВРОВ
Ю.З. ЖИТНИКОВ, д.т.н., проф.

КОЛОМНА
Ю.Д. АМИРОВ, д.т.н., проф.

КОМСОМОЛЬСК-НА-АМУРЕ
Б.Н. МАРЬИН, д.т.н.
В.И. ШПОРТ, д.т.н., проф.
А.М. ШПИЛЕВ, д.т.н., проф.

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

НИЖНИЙ НОВГОРОД
С.В. ГОЛУБЕВ, инж.

ОМСК
В.Н. КОСТЮКОВ, д.т.н.

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

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

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

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

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
В.Ф. КУЗЬМИН, к.т.н.
Е.В. ШАЛОБАЕВ, к.т.н., проф.

ТОЛЬЯТТИ
А.И. РЫЖКОВ, к.т.н.

ТУЛА
В.В. ПРЕЙС, д.т.н., проф.

ХАБАРОВСК
В.А. ЛАШКО, д.т.н., проф.

Украина

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

ДОНЕЦК
А.Н. МИХАЙЛОВ, д.т.н., проф.

СЕВАСТОПОЛЬ
Е.Л. ПЕРВУХИНА, д.т.н., проф.

Беларусь

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

ГОМЕЛЬ
В.Е. СТАРЖИНСКИЙ, д.т.н.

ИЗРАИЛЬ
В.М. БЕДРИН, инж.

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

Ответственные за подготовку и выпуск номера:

Ю.А. ЧИЧОВ, И.М. ГЛИКМАН

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

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

THE MONTHLY NEWSMAGAZINE FOR SCIENTISTS AND MANUFACTURERS

ASSEMBLING IN MECHANICAL ENGINEERING AND INSTRUMENT-MAKING

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

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

2 2014 (163)

CONTENTS

Manufacturability of a construction

Irzaev G.Kh., Adamov A.P. Estimation of influence of constructive continuity at manufacturability of electronic devices . . . 3

Production tools and machinery for assembly

Avtsinov I.A., Kristal M.G., Malikov D.Yu. Classification device with a gas carrier layer . . . 9

Bayneva I.I., Baynev V.V. Installation for researching and measurement of reflectional optical system aberrational characteristics . . . 12

Modern technologies in assembly

Ivanov A.A. The automation of the pcb assembly . . . 18

Technological equipment for assembly

Ashratov A.A., Mikaeva S.A., Mikaeva A.S. The device for assembly control compact luminescent lamps . . . 23

Industrial and design engineer's aid

Denisov Yu.V., Kaplenko M.V. Mathematical modeling at assemblage of precision acceleration transducers . . . 27

Lamin I.I. Integrated design method of technological processes of assembly in auto structure . . . 32

Mikaeva S.A., Mikaeva A.S. The automated production assembly of compact fluorescent lamps . . . 36

Shchenyatskyi A.V., Chukhlantsev E.S. Experimental study the load capacity multiple-connection with interference . . . 39

The dismantling. Repair

Volkov G.M. Composites for the rehabilitation of worn-out equipmentof blank production in mechanical engineering . . . 42

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

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

Editors

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

Regional editors

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

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

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

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

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

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

УДК 658.512.26:681.2.084

Г.Х. Ирзаев, *канд. техн. наук,* **А.П. Адамов,** *д-р техн. наук*
(Дагестанский государственный технический университет)
E-mail: irzajev@mail.ru

Оценка влияния конструктивной преемственности на технологичность электронных приборов

На основе анализа влияния унификации конструкции электронных приборов на их технологичность предложен универсальный метод обоснования уровня технологичности по трудоемкости на ранних стадиях проектирования. Рассмотрена реализация метода на примере оценки влияния конструктивной преемственности на технологичность осциллографа.

On the basis of analysis of unification influence of the electronic device design at their manufacturability the universal method of substantiation of manufacturability level according to labourintensiveness at early design stages is offered. Method realization according to the example of estimation of influence of constructive continuity at the oscillograph manufacturability is considered.

Ключевые слова: унификация, технологичность конструкции, электронный прибор, конструктивная преемственность.

Keywords: unification, design manufacturability, electronic device, constructive continuity.

Введение

Существенное место при проектировании новых изделий конструкторами отводится методам и приемам унификации. В соответствии с действующими нормативными документами унификация определяется как приведение изделий к единообразию на основе установления рационального числа их разновидностей [1, 2]. Унификация – эффективный и экономичный способ создания на базе исходной модели ряда приборов одинакового назначения, но с различными показателями производительности, чувствительности и других параметров, средством разрешения противоречий между постоянным усложнением конструкций изделий и ограничениями по выделению требуемых ресурсов. Ее цель заключается в существенном сокращении материальных затрат, сроков разработки и освоения новых изделий за счет минимизации разнообразия изделий, их составных частей, отдельных технических решений с широким использованием ранее разработанных объектов.

В литературе широко представлено положительное влияние унификации на повышение качества изделий и улучшение технико-экономических показателей производства. Отрицательные эффекты унификации конструкций и их составных частей изучены еще в недостаточной степени, однако очевидно, что унификация может приводить и к снижению технического уровня изделий, особенно высокотехнологичных отраслей, в частности электронного приборостроения. При этом можно выделить следующие отрицательные тенденции:

- отдельные технические характеристики электронных приборов (ЭП) могут не улучшаться в течение длительного времени из-за преемственности новых изделий семейства с ранее разработанными аналогами;
- выходные параметры отдельных заимствованных составных частей ЭП не могут удовлетворить разработчика, так как не позволяют обеспечить требуемый заказчиком уровень отдельных технических характеристик нового изделия;
- выигрыш по техническим характеристикам при применении оригинальных составных частей может оказаться предпочтительней обеспечиваемой унификацией экономии ресурсов и повышения технологичности;
- применение унифицированных составных частей может привести к повышению общей массы изделия и увеличению материалоемкости из-за необходимости введения в конструкцию новых элементов для увязки заимствованных составных частей.

Очевидно, что при "чрезмерной" унификации технический уровень изделия может резко сни-

зиться, так как наибольшим техническим уровнем будет обладать такое изделие, у которого все составные части оригинальны, разработаны с использованием новых материалов и современных технологий. В то же время при "недостаточной" унификации увеличиваются материальные, трудовые, финансовые затраты, что приводит к низкой технологичности конструкций ЭП как на этапе производства, так и при эксплуатации и ремонте.

Таким образом, при разработке изделий становится актуальной задача определения рациональных требований к унификации изделий, при которых достигаются оптимальные технический уровень и технологичность конструкции, нахождение баланса между этими технико-экономическими показателями, причем на ранних этапах создания.

Унификация и технологичность при проектировании конструкции

Анализ действующих нормативных документов показывает, что большая их часть регулирует процессы формирования и выполнения требований по унификации на начальных стадиях жизненного цикла изделий – при исследованиях и обосновании разработок, а также на проектной стадии. Количественные требования по унификации закладывают в техническое задание, согласуют с заказчиком и, чаще всего, они базируются на показателях унификации ранее разработанных изделий-аналогов, а на стадии проектирования оценивают степень их достижения. Эти требования, безусловно, должны повышать качество, технологичность и технический уровень новых изделий [1, 2].

Количественную оценку внутрипроектной унификации ЭП может дать *коэффициент повторяемости деталей и сборочных единиц*, определяемый по формуле

$$a = 1 - \frac{Д_{тр} + Е_{тр}}{Д + Е}, \qquad (1)$$

где $Д_{тр}$, $Е_{тр}$ – число типоразмеров деталей и сборочных единиц в изделии;

Д, Е – общее число деталей и сборочных единиц в изделии.

Все составляющие в формуле (1) относятся как к оригинальным, так и к унифицированным составным частям.

Для оценки разнотипности составных частей конструкции используют *коэффициент применяемости деталей и сборочных единиц*:

$$b = 1 - \frac{Д_{тр}^{ор} + Е_{тр}^{ор}}{Д_{тр} + Е_{тр}}, \qquad (2)$$

где $Д_{тр}^{ор}$, $Е_{тр}^{ор}$ – число оригинальных типоразмеров деталей и сборочных единиц в изделии.

Коэффициент межпроектной унификации определяется по следующей формуле:

$$c = \frac{С_{тр}^{з2}}{С_{тр}^{ор} + С_{тр}^{з1} + С_{тр}^{з2}}, \qquad (3)$$

где $С_{тр}^{з2}$ – число типоразмеров составных частей изделия, заимствованных в рамках данной конструкции и из других одновременно разрабатываемых изделий;

$С_{тр}^{ор}$ – число оригинальных типоразмеров составных частей (деталей и сборочных единиц) в изделии;

$С_{тр}^{з1}$ – число типоразмеров составных частей изделия, заимствованных с изделий-предшественников.

Отработка технологичности изделий на современных приборостроительных предприятиях и в ОКБ осуществляется в составе комплексной системы управления, воздействия которой направлены на достижение поставленных заранее целей в виде придания конструкции таких свойств, при которых достигаются оптимальные значения затрат всех видов ресурсов в ходе производства, эксплуатации и ремонта изделия для заданных показателей качества, объема выпуска и условий выполнения работ. Система должна:

- выполнять планирование программ обеспечения технологичности изделий и доводить их до заданного уровня;
- вести учет достигнутого уровня технологичности с помощью системы отраслевых показателей;
- осуществлять технологический контроль конструкторской документации;
- регулировать ход выполнения мероприятий по обеспечению технологичности изделий и не до-

пускать постановки на производство нетехнологичных изделий [3].

При этом отработка технологичности на этапах проектирования должна проходить с учетом конструктивной и технологической преемственности изделия. Несомненно, что согласование конструкции на этапах проекта изделия по параметрам унификации и стандартизации с технологией изготовителя способствует сокращению временных потерь и материальных средств на адаптацию проекта к условиям производства [4, 5].

Одним из обобщающих показателей технологичности изделия является *уровень технологичности по трудоемкости*, определяемый по формуле

$$d = \frac{T_{пр}}{T_{б}}, \qquad (4)$$

где $T_{пр}$, $T_{б}$ – трудоемкость проектируемого и базового изделия.

Изделие соответствует требованиям повышения технологичности, если $d \le 1$.

Оценка влияния конструктивной преемственности на технологичность конструкций электронных приборов

Поэтапную оценку влияния уровня унификации на технологичность конструкции ЭП следует осуществлять по алгоритму, показанному на рис. 1.

На ***первом этапе*** предлагаемого метода необходимо собрать исходные данные по уровням унификации и технологичности аналогов, принадлежащих к классу рассматриваемого изделия, сформировать их в виде массива характеристик. Технологичность конструкции изделия, как известно, является интегрированным показателем, однако исследования показали, что весомый вклад в обобщенный показатель технологичности вносит трудоемкость изготовления, поэтому в качестве основного показателя принят уровень технологичности по трудоемкости. Таким образом, для обоснования рациональных требований к уровню технологичности выбирают следующие исходные данные, рассчитанные ранее для изделий-аналогов по формулам (1)–(4):

- коэффициент повторяемости составных частей изделия *a*;
- коэффициент применяемости составных частей изделия *b*;
- коэффициент межпроектной унификации *c*;
- уровень технологичности изделия по трудоемкости *d*.

На ***втором этапе*** по накопленной статистической информации об аналогах проводят парный корреляционный анализ. Определяют тесноту связи между уровнем технологичности по трудоемкости и основными показателями унификации в виде оценки коэффициента корреляции, проверяется значимость параметров связи.

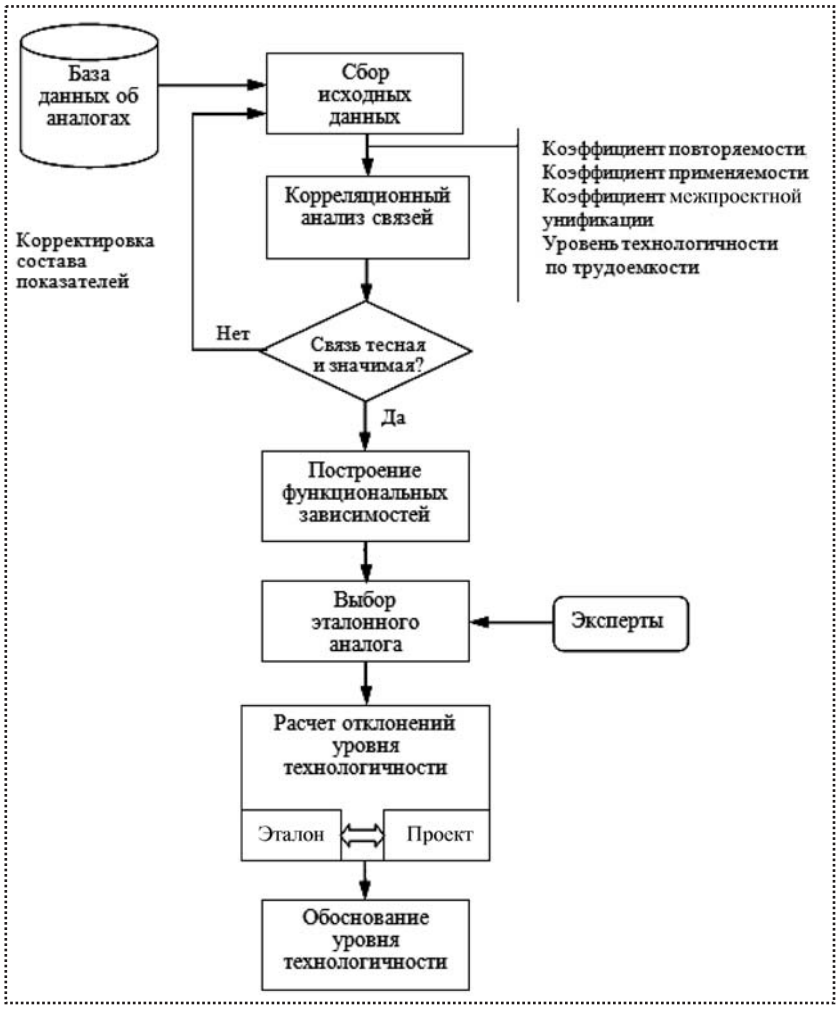


Рис. 1. Алгоритм оценки влияния конструктивной преемственности на технологичность конструкций электронных приборов

В случае если значение парного коэффициента корреляции составляет более 0,7, то это говорит о наличии сильной корреляционной связи при условии получения положительного результата в ходе проверки гипотезы о значимости коэффициента корреляции. Путем обработки статистических данных по аналогам находят функциональные зависимости

$$d_a = f(a), \quad d_b = f(b), \quad d_c = f(c). \qquad (5)$$

На ***третьем этапе*** из рассматриваемых изделий-аналогов выбирают аналог-эталон, который должен иметь наибольший технический уровень, соответствующий мировому (отечественному) уровню, либо превышающий его в пределах конкретного класса изделий и обладать модернизационным потенциалом. Для выбора эталона в проектно-производственной среде возможно привлечение заранее подготовленных для этого экспертов. Методики выявления их знаний для оценки и выбора из множества изделий технологичных альтернатив приведены в работах [6, 7].

На ***четвертом этапе*** определяют отклонения уровня технологичности по трудоемкости как разности значений функций (5) для проектируемого изделия и аналога-эталона:

$$\begin{aligned} \Delta d_a &= d(a_{\text{пр}}) - d(a_{\text{э}}), \\ \Delta d_b &= d(b_{\text{пр}}) - d(b_{\text{э}}), \\ \Delta d_c &= d(c_{\text{пр}}) - d(c_{\text{э}}). \end{aligned} \qquad (6)$$

На ***пятом этапе*** обосновывают уровень технологичности проектируемого изделия как функцию от показателей применимости, повторяемости составных частей изделия и межпроектной унификации. Зависимость имеет вид:

$$d_{\text{пр}} = d_{\text{э}} + \frac{\Delta d_a + \Delta d_b + \Delta d_c}{3}, \qquad (7)$$

где $d_{\text{пр}}$ – уровень технологичности проектируемого изделия;

$d_{\text{э}}$ – уровень технологичности по трудоемкости аналога-эталона.

Пример реализации метода

В качестве примера оценки влияния конструктивной преемственности на технологичность ЭП рассмотрим реализацию метода на серийном предприятии по производству электронных измерительных приборов.

Необходимо было разработать осциллограф – технически сложный прибор для наблюдения формы и измерения параметров сигналов. При этом следовало учесть следующие требования по унификации, заданные разработчиком по согласованию с заказчиком:

- коэффициент повторяемости составных частей осциллографа должен составлять $a = 0{,}78$;
- коэффициент применяемости составных частей – $b = 0{,}75$;
- коэффициент межпроектной унификации – $c = 0{,}85$.

Ранее на этом же предприятии было разработано целое семейство аналогов-осциллографов, часть из которых была снята с производства, а другая часть выпускается малыми сериями. Характери-

Значения характеристик унификации и технологичности представителей семейства осциллографов

Тип осциллографа	Коэффициент			Уровень технологичности по трудоемкости d
	повторяемости составных частей a	применяемости составных частей b	межпроектной унификации c	
С1-94	0,56	0,46	0,51	1,02
С1-96	0,69	0,52	0,64	1,00
С1-97	0,48	0,55	0,56	1,04
С1-103	0,67	0,68	0,68	1,00
С1-108	0,72	0,74	0,78	0,90
С1-112	0,43	0,52	0,44	1,06
С1-114	0,38	0,40	0,47	1,08
С1-115	0,62	0,79	0,58	0,99
С1-116	0,78	0,83	0,82	0,89
С1-117	0,70	0,74	0,78	0,91
С1-118	0,62	0,46	0,51	1,01
С1-120	0,56	0,62	0,58	0,99
С1-122/1	0,58	0,65	0,63	0,95
С1-125	0,34	0,49	0,54	1,07
С1-126	**0,75**	**0,78**	**0,84**	**0,92**
С1-127	0,59	0,71	0,65	0,95
С1-128	0,68	0,67	0,76	0,98

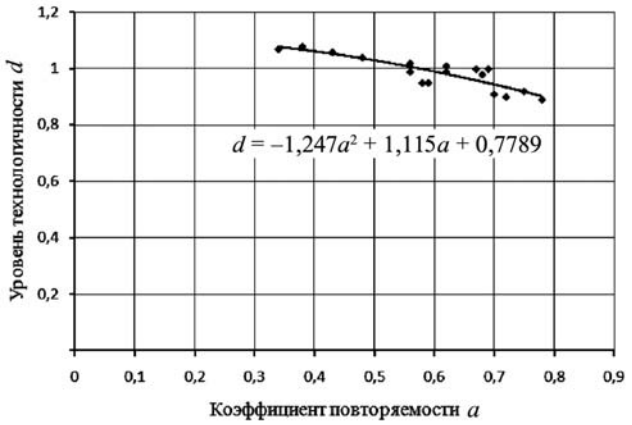
стики осциллографов по унификации и технологичности конструкции приведены в таблице. Необходимо обосновать количественные требования к уровню технологичности по трудоемкости нового изделия.

В качестве эталонного изделия привлеченные к экспертизе специалисты предприятия (конструкторы и технологи) выбрали осциллограф типа С1-126, который выпускается в данный момент и обладает, по их мнению, наибольшим модернизационным потенциалом (характеристики прибора выделены рамкой в таблице).

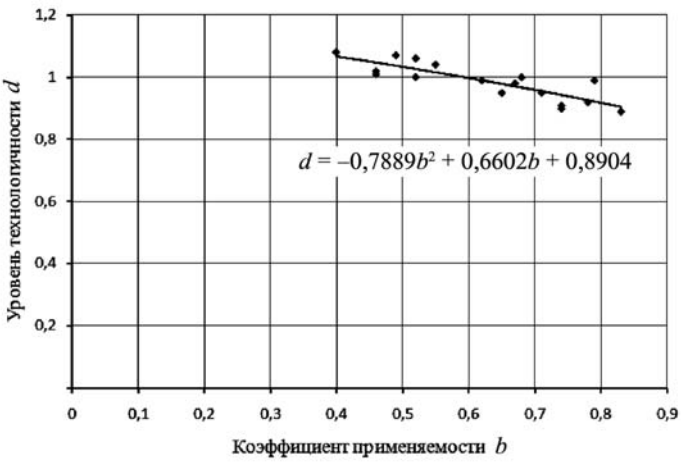
С использованием пакета StatSoft STATISTICA 7.0 был проведен корреляционный анализ, который показал, что между показателями унификации и уровнем технологичности изделий наблюдается отрицательная, тесная корреляционная связь. Об этом свидетельствуют рассчитанные значения коэффициентов корреляции: $r_{ad} = -0{,}866$; $r_{bd} = -0{,}848$; $r_{cd} = -0{,}882$.

Для оценки значимости коэффициентов корреляции был использован *t*-критерий Стьюдента для малых выборок. Расчеты подтвердили значимость корреляционных связей, что позволило провести аппроксимацию зависимостей и найти полиномиальные уравнения трендов, показанные на рис. 2 для соответствующих функций (5). С использованием этих функций были найдены отклонения уровня технологичности по трудоемкости согласно формуле (6):

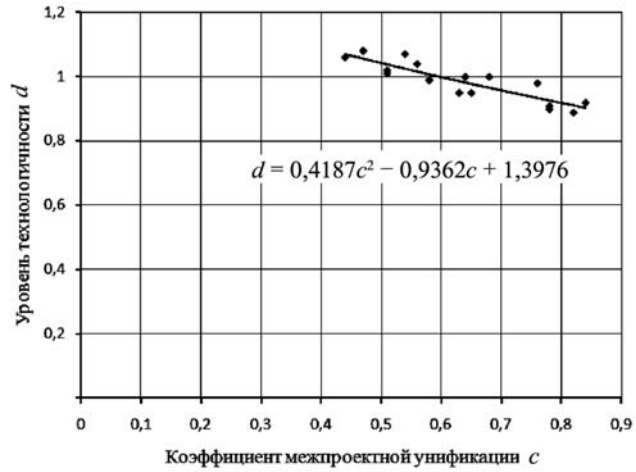
$$\Delta d_a = 0{,}064; \quad \Delta d_b = 0{,}016; \quad \Delta d_c = -0{,}002.$$



а



б



в

Рис. 2. Функциональные зависимости уровня технологичности от показателей унификации для семейства осциллографов

Уровень технологичности по трудоемкости, рассчитанный по формуле (7), для проектируемого осциллографа составил

$$d_{\text{пр}} = 0{,}92 + \frac{0{,}064 + 0{,}016 - 0{,}002}{3} = 0{,}95.$$

Вывод

Анализ результатов позволяет сделать вывод о том, что на трудоемкость изготовления ЭП в значительной степени влияют процессы унификации деталей и сборочных единиц, конструктивная преемственность, закладываемая на ранних этапах проектирования изделий. Реализация метода на предприятии по производству измерительной техники подтвердила его работоспособность.

Предлагаемый метод удобно применять на предприятиях машиностроения и приборостроения для предотвращения неоправданно частого использования в конструкциях оригинальных решений, обоснования уровня технологичности при проектировании и управления снижением трудоемкости изготовления новых конструкций приборов.

Библиографический список

1. **ГОСТ 23945.0–80.** Унификация изделий. Основные положения. М.: Изд-во стандартов, 1991. 8 с.
2. **ГОСТ РВ 15.207–2005 СРПП ВТ.** Порядок проведения работ по стандартизации и унификации в процессе разработки и постановки на производство изделий. Основные положения. М.: Стандартинформ, 2005. 21 с.
3. **Ирзаев Г.Х.** Разработка функциональной и организационной структур комплексной системы управления технологичностью промышленных изделий // Автоматизация процессов управления. 2011. № 4. С. 66–75.
4. **Ирзаев Г.Х.** Система оценки согласованности конструкций радиоэлектронных средств с технологией предприятия-изготовителя на этапе освоения // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С.П. Королёва (национального исследовательского университета). 2010. № 1. С. 257–261.
5. **Ирзаев Г.Х.** Оценка преемственности технологии предприятия-изготовителя при освоении нового изделия // Организатор производства. 2008. № 4. С. 50–54.
6. **Ирзаев Г.Х.** Система отбора компетентных экспертов для решения проектно-производственных задач // Автоматизация и современные технологии. 2008. № 1. С. 40–46.
7. **Адамов А.П., Ахматов И.М., Ирзаев Г.Х.** Методика экспертного прогнозирования технологичности современных электронных средств // Проектирование и технология электронных средств. 2004. № 2. С. 6–11.

ГИБКИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ СИСТЕМЫ:

учебное пособие

А.Ю. Выжигин

М.: Машиностроение, 2009 – 288 с. **Цена 462 р. с НДС**

В учебном пособии дано общее представление об организации и элементах ГПС, рассмотрена производственно-техническая структура и основные элементы гибких автоматизированных производств, критерии гибкости ГПС, приведена классификация промышленных роботов и их приводов. Рассмотрены типы и технические средства транспортно-накопительных систем, технические средства и системы управления автоматическими транспортно-накопительными системами. Рассмотрены различные типы складов, методика расчета функционирования складской системы. Описаны системы управления ГАП и системы автоматического контроля, приведены примеры реализации ГПС. Также показаны основные средства автоматизации и пути повышения производительности оборудования в условиях автоматизированного производства. Дополнительно рассмотрены методики расчета динамики некоторых типов пневматических приводов промышленных роботов и их применение в автоматизированном комплексе для многопереходной штамповки.

Предназначено для студентов вузов, обучающихся по специальности "Технология приборостроения". Представляет интерес для широкого круга специалистов.

Приобрести книгу по цене издателя можно, прислав заявку в ООО "Издательство Машиностроение" в отдел продаж, маркетинга и рекламы: по почте: 107076, г. Москва, Стромынский пер., 4; по факсу: (499) 269-48-97; по e-mail: realiz@mashin.ru
Дополнительную информацию можно получить по телефонам: (499) 269-66-00, 269-52-98 и на сайте WWW.MASHIN.RU

Издано при финансовой поддержке Федерального агентства по печати и массовым коммуникациям в рамках Федеральной целевой программы "Культура России".

УДК 621.867.229.6

И.А. Авцинов, *д-р техн. наук*
(Воронежский государственный университет инженерных технологий),
М.Г. Кристаль, *д-р техн. наук,* **Д.Ю. Маликов**
(Волгоградский государственный технический университет)
E-mail: crysmar@mail.ru

Классификация устройств с газовой несущей прослойкой

Представлена классификация и схемы конструкции устройств, использующих в работе эффекты газовой несущей тонкой прослойки и предназначенных для манипулирования специфическими миниатюрными штучными изделиями.

Classification is presented in article and schematically designs of devices effects of a gas bearing thin layer using in work for a manipulation by specific tiny piece products.

Ключевые слова: оборудование, манипулирование, газовая несущая прослойка, специфическое штучное миниатюрное изделие.

Keywords: equipment, manipulation, gas bearing blanket, specific miniature piece component.

В различных отраслях промышленности: машиностроении, приборостроении, пищевой, химической и других, в многоассортиментном (парфюмерном, косметологическом, фармацевтическом и др.) производстве возникают сложности в манипулировании миниатюрными штучными изделиями. Это связано с их особыми физико-механическими свойствами. К ним можно отнести: низкую прочность и жесткость, высокие хрупкость и ломкость, завышенные фрикционные свойства, значительную адгезию, высокую чистоту обработки, специфические покрытия поверхностей, сверхчистые поверхности, поверхности со свеженанесенными покрытиями и т.п. Это выпуклые и вогнутые линзы, защитные стекла, зубчатые шестерни и зеркала для медицинских приборов, защитно-декоративные корпуса высокоточных приборов, сигнальная арматура, полупроводниковые приборы. К подобным изделиям также относят: потребительскую тару, таблетированные и не таблетированные лекарственные травы, акварельные краски, резиновые пробки, абразивные круги, фильтрующие элементы, пищевые добавки, леденцовую карамель, конфеты типа ассорти, пирожные, мармелад, зефир, пряники и т.д.

Одним из способов, позволяющих эффективно манипулировать такими типами изделий, является снижение жесткого фрикционного контакта между опорной поверхностью объекта производства и рабочей поверхностью (РП) оборудования. Это может быть достигнуто путем создания между ними газовой смазки. Последнюю создают истечением газовой среды из перфораций рабочей поверхности под опорную поверхность изделия. Устройства, использующие в работе эффекты газовой несущей прослойки, представлены в таблице.

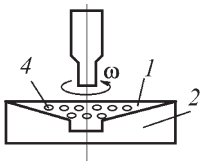
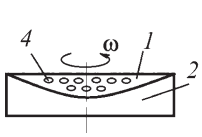
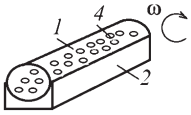
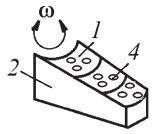
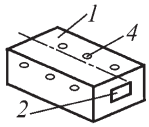
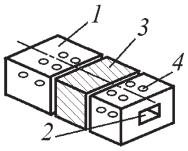
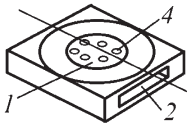
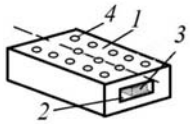
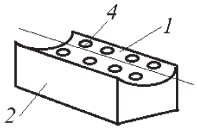
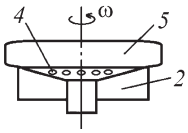
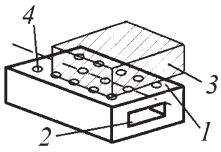
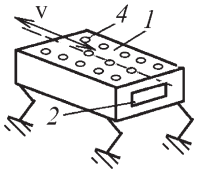
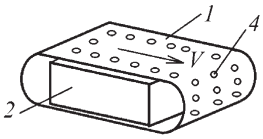
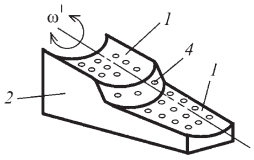
Анализ конструкций представленных устройств позволил их классифицировать (см. рисунок).

Таким образом, разрабатываемые устройства, использующие газовую смазку, частично или полностью исключают жесткий фрикционный контакт трущейся пары "РП–изделие", что позволяет эффективно их применять для манипулирования специфическими изделиями различных отраслей промышленности.

Следует отделить от рассмотренной классификации вспомогательные средства автоматизации, использующие в работе управление переменным характером трения между рабочими поверхностями устройств. К таким устройствам относят пневмовакуумный транспортер (Пат. РФ № 2147503) с цикловым движением симметричных рабочих органов [5]. Здесь попеременно создают в рабочих органах разрежение или нулевой уровень избыточного давления. Два рабочих органа движутся в противофазе возвратно-поступательно, а транспортируемый объект попеременно захватывается движущимся в направлении транспортирования рабочим органом.

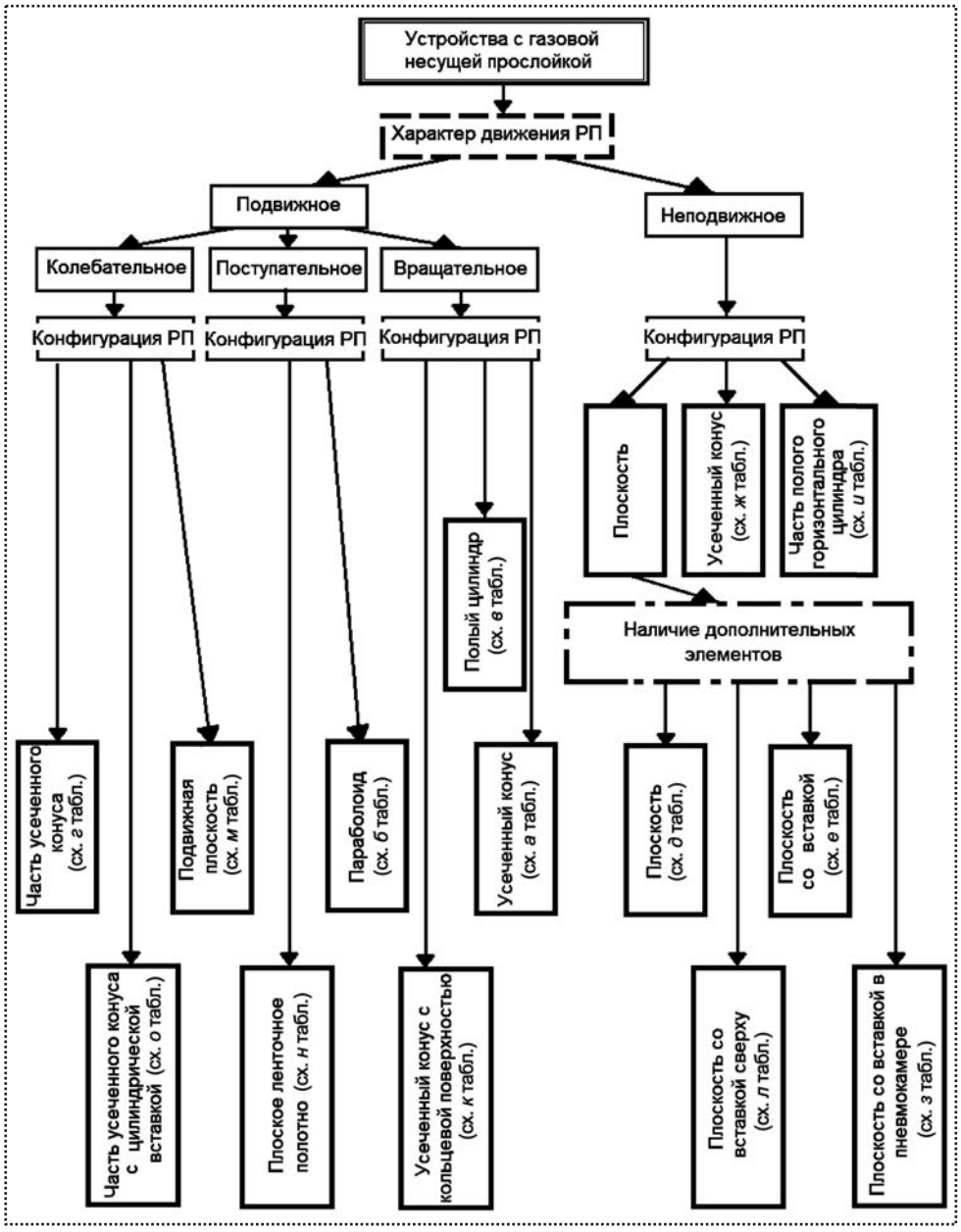
Для вибрационного транспортирования деталей на несущей РП (Пат. РФ № 2201860), совершаю-

Характерные схемы устройств, использующих в работе эффекты газовой несущей прослойки

Параметр	Схема				
	 А.с. № 1337226 *а*	 А.с. № 2056122 *б*	 А.с. № 1553471 *в*	 А.с. № 2130419 *г*	 А.с. № 887372 *д*
Геометрическая форма	Усеченный конус	Параболоид	Полый круговой цилиндр	Часть усеченного конуса	Плоскость
Вид движения	Вращательное вокруг вертикальной оси	Вращательное вокруг вертикальной оси	Вращательное вокруг горизонтальной наклонной оси	Колебательное вокруг горизонтальной наклонной оси	Без движения
Операции*	С, ТО, ПО, БП	ПО, СК, БП, ЗОО, ТО, КМ, ККП	ТР, ТО, СК, АО	АО, ТО, ТР	ТР, ПО, ТО, КМ, СК
Параметр	Схема				
	 А.с. № 1448215 *е*	 А.с. № 2098888 *ж*	 А.с. № 2268221 *з*	 А.с. № 2151094 *и*	 А.с. № 1340978 *к*
Геометрическая форма	Плоскость со вставкой	Усеченный конус	Плоскость со вставкой в пневмокамере	Часть полого кругового цилиндра	Усеченный конус с кольцевой поверхностью
Вид движения	Без движения	Без движения	Без движения	Без движения	Вращательное вокруг вертикальной оси
Операции*	КМ, Ф, ТО	КМ, ОБ, ТР, ТО, Б	КМ, ОБ, ТР, ТО	АО, ТО, ТР	АО, ТО, ТР, БП, ЗОО
Параметр	Схема				
	 А.с. № 2099672 *л*	 А.с. № 971747 *м*	 А.с. № 971747 *н*	 А. № 971747 *о*	
Геометрическая форма	Плоскость со вставкой сверху	Плоскость	Плоское ленточное полотно	Часть усеченного конуса с цилиндрической вставкой	
Вид движения	Без движения	Горизонтальное поступательное	Горизонтальное поступательное	Колебательное относительно наклонной горизонтальной оси	
Операции*	СК, ТО, ККП, КМ	ТР, КМ, ТО	ПО, В, ТО, СК, КМ, ККП	ПО, В, СК, ТО	

* С – сборные; ПО – пассивного ориентирования; АО – активного ориентирования; ККП – контроль качества поверхности; ЗОО – загрузка основного технологического оборудования; Б – базирование; БП – базирование позиционирования; Ф – формование; СК – сортировка и классификация; ОБ – обеспыливание; ТР – транспортировка; ТО – термообработка; КМ – контроль массы; В – выбраковка

Примечание. На схемах: *1* – рабочая поверхность (РП); *2* – пневмокамера; *3* – дополнительная камера; *4* – отверстия перфорации РП; *5* – кольцевая поверхность; v – линейное; ω – вращательное; ω′ – вращательно-колебательное движение РП.



Классификация устройств, использующих в работе эффекты газовой несущей прослойки

щей гармонические колебания в плоскости транспортирования, через перфорации подают избыточное давление, обеспечивающее эффект газовой смазки в моменты времени, когда созданным через эти же перфорации разрежением захваченная РП деталь достигает максимума виброскорости [6].

Этот же принцип реализован в ряде конструкций (П.м. 74847, Пат. РФ № 2376123) поворотных столов [7], где для облегчения поворота используют газовую прослойку, а при фиксации углового положения между рабочими поверхностями создают разрежение.

Библиографический список

1. **Авцинов И.А., Битюков В.К.** Роботизация химико-технологических процессов и устройства с несуще-распознающей тонкой газовой прослойкой. Воронеж, 2002. 372 с.

2. **Пневматические** конвейеры / В.К. Битюков и др. Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 1984. 164 с.

3. **Управление** микромеханическими процессами в гидродинамических слоях при производстве полупроводниковых приборов / Г.В. Абрамов и др. Воронеж: Воронеж. гос. технол. акад., 2001. 213 с.

4. **Борьба** с адгезией в хлебопечении / Е.Д. Чертов и др. Воронеж: Воронеж. гос. технол. акад., 2001. 144 с.

5. **Пневмовакуумный** транспортер с цикловым движением симметричных рабочих органов / М.Г. Кристаль и др. // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2002. № 10. С. 26–27.

6. **Авцинов И.А., Дроботов А.В., Кристаль М.Г.** Вибротранспортные устройства для автоматической сборки с переменным характером трения (сухое–жидкостное) на несущей поверхности // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2011. № 3. С. 3–7.

7. **Кристаль М.Г., Дроботов А.В., Чернышев Д.Ю.** Автоматические поворотные устройства с турбоприводом для сборки // Mechanica (Poland). 2010. Z. 83. № 279. С. 113–117.

УДК 628.9:681.7

И.И. Байнева, *канд. техн. наук,* **В.В. Байнев**
(Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева)
E-mail: baynevaii@rambler.ru

Установка для исследования и измерения аберрационных характеристик отражательной оптической системы

Рассмотрены задачи светотехнического расчета световых приборов, светоперераспределяющих оптических устройств. Описаны характеристики и свойства элементарных отображений оптической системы прожектора с зеркальным отражателем. Приведены описание и математические зависимости для расчета характеристик с помощью установки для исследования элементарных отображений и аберрации.

The problems of lighting and light-redistributing devices calculation was describes. The characteristics and properties of elementary reflections of optical system with specular reflector was reviewed. The article deals with the description and mathematical dependences for parameters calculation using installation for elementary mapping and aberrations.

Ключевые слова: световой прибор, источник света, оптическая система, отражатель, элементарное отображение, аберрация, яркость, расчет, проектирование.

Keywords: light device, light source, optics system, elementary mapping, aberration, brightness, computation, design.

Введение

Световой прибор (СП) состоит из множества элементов, таких как источник света (ИС), оптическая система, пускорегулирующая аппаратура, электроустановочные устройства, конструктивные узлы. Параметры этих элементов существенно зависят от особенностей конструкции СП и заметно влияют на его характеристики в целом [1].

Задачей светотехнического расчета СП является определение геометрической формы элементов оптической системы СП, обеспечивающей при совместном действии с выбранным ИС требуемое светораспределение.

Основную роль перераспределения и преобразования света ИС играет оптическая система СП, состоящая из элементов, участвующих в трансформации света. Свойства и характеристики оптической системы являются основополагающими при проектировании СП.

Особенности оптических систем световых приборов

Одной из наиболее распространенных оптических систем СП, как светильников, так и приборов прожекторного класса (рис. 1), является зеркальная система. Отражатели оптической системы бывают вогнутыми или плоскими зеркальными, могут быть цельными или составными, а их поверхность – гладкой, волнистой, офактуренной, ломаной и т.п. В основных видах зеркальных отражателей используют оптические свойства параболических, эллиптических, гиперболических, цилиндрических и плоских зеркальных поверхностей.

Параболоидные отражатели используют почти во всех типах приборов прожекторного класса. В зависимости от условий работы и требований они могут значительно отличаться друг от друга по диаметру, углу охвата, оптической точности, прочности, массе и стоимости.

Зеркальные отражатели приборов прожекторного класса должны иметь такую форму, чтобы их оптическая система обеспечивала максимальную

Рис. 1. Приборы прожекторного класса

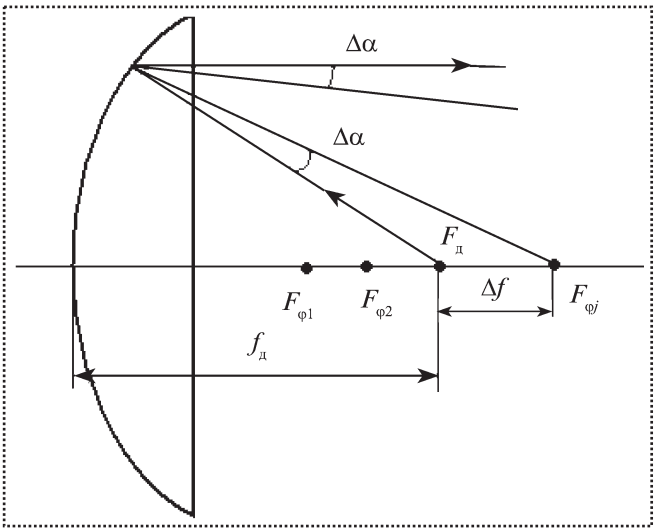


Рис. 2. Характеристики отражательной оптической системы прожектора

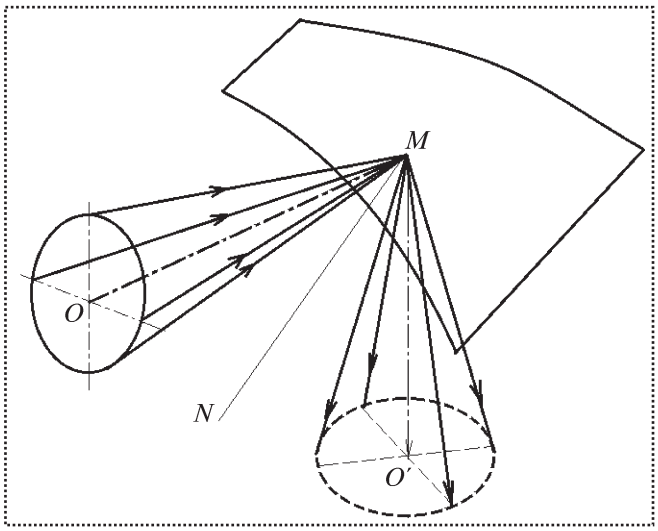


Рис. 3. Принцип группировки лучей в конические пучки

концентрацию светового потока источника. Это предполагает вполне определенный ход фокальных падающих и отраженных световых лучей (рис. 2).

Реальные отражатели могут иметь отклонения от идеальной формы в результате расчетных и(или) технологических погрешностей. Если на такой отражатель упадет пучок световых лучей, параллельных оптической оси, то они после отражения не соберутся в точке его теоретического фокуса. Это произойдет в результате того, что каждый участок реального отражателя имеет свой фокус, т.е. точку в пространстве, где соберутся отраженные лучи, упавшие на зону параллельным пучком. Несовпадение фокусов отдельных участков отражателя называется ***аберрацией***.

На рис. 2 $F_д$ – действительный фокус реальной оптической системы; $F_φ$ – зональный фокус реальной оптической системы; $f_д$ – фокусное расстояние реальной оптической системы; Δf – линейная аберрация зоны светоперераспределяющего устройства светового прибора (СПУ); $\Delta\alpha$ – угловая аберрация.

Элементарные отображения оптической системы

Один из методов расчета площади и яркости светлой части СП основан на принципе объединения множества лучей источника и оптической системы в некоторое подмножество. При этом предполагается, что все пространство насыщено световыми лучами, составляющими конические пучки с вершинами на точках излучающих или облучаемых поверхностей (т. *M*) на рис. 3.

Такое объединение лучей в конические тела предложил в XIX в. русский ученый В.Н. Чиколев. Лучи, падающие от источника на поверхность оптического устройства (ОУ), собраны в конические пучки с основанием на излучающем теле (например, ИС) и вершинами на точках поверхности оптической системы. Световой пучок ОУ тоже состоит из конических пучков, вершины которых лежат на точках излучающей поверхности СП. Размеры, форма и местоположение в пространстве этих пучков определяются размерами и формой конических пучков излучающего тела, свойствами самой оптической системы. Таким образом, конические пучки лучей, посылаемые во внешнее пространство СП, содержат достаточную информацию об излучающем теле и ОУ, чтобы судить о размерах и яркости его светлой части.

Конические пучки световых лучей, падающие от светящего тела на точку поверхности ОУ, и лучей, посылаемых ОУ в окружающее пространство, называются элементарными отображениями (ЭО). Элементарные отражения могут быть в падающем, отраженном или пропущенном свете.

Угловые размеры ЭО зеркального элемента определяются видимыми размерами светящего тела. Для определения формы ЭО достаточно знать два его главных размера:

- $\Xi_с$ и $\xi_{сп}$ – размеры ЭО в падающем свете;
- ξ и $\xi_п$ – размеры ЭО в отраженном свете.

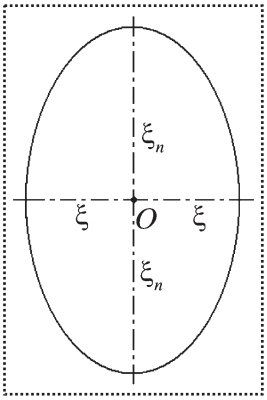


Рис. 4. След ЭО в отраженном свете

Если на пути ЭО поставить экран, то на нем ЭО образует пятно, называемое ***следом ЭО*** (рис. 4). Его форма и размеры определяются краевыми осевыми лучами. Линия, являющаяся геометрическим местом следов краевых лучей ЭО, – контурная линия следа ЭО, центр которого – след осевого луча. След ЭО может иметь форму круга (для шарового светящего тела), эллипса (для дискового светящего тела) и эллипсоидного кольца (для кольцевого светящего тела). След может быть построен как в линейной, так и в угловой мере.

Установка для исследования элементарных отображений и аберрации

Процесс формирования светового пучка прибора может рассматриваться как создание каждой точкой поверхности отражателя элементарного отображения, ось которого параллельна оптической оси отражателя.

Рассмотрим параболоидный отражатель с шаровым ИС, помещенным в фокус отражателя (рис. 5).

Угловой размер элементарного отображения ξ определяется по формуле

$$\xi = \frac{r}{f}\cos^2\frac{\varphi}{2}, \qquad (1)$$

где r – радиус шарового ИС;

f – фокусное расстояние отражателя;

φ – угол, характеризующий положение рассматриваемой точки на поверхности отражателя.

Принимая ЭО на экране перпендикулярным оптической оси (рис. 5, *б*), получим очертание окружности, радиус которой определяется угловым размером шарового ИС и расстоянием от экрана до отражателя. Наибольший угловой размер ξ_{max} имеет ЭО, даваемое вершиной отражателя M_0, тогда (так как $\varphi = 0°$)

$$\xi = \frac{r}{f}. \qquad (2)$$

Наименьший угловой размер ξ_{min} имеет ЭО, даваемое краевой точкой отражателя M_2:

$$\xi_{min} = \frac{r}{f}\cos^2\frac{\varphi_{max}}{2}, \qquad (3)$$

где φ_{max} – угол охвата отражателя.

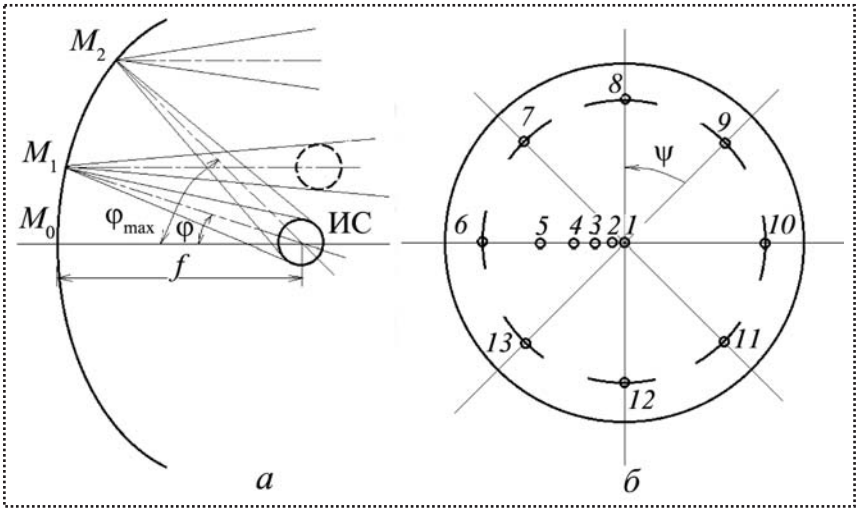


Рис. 5. Установка для исследования ЭО: *а* – формирование элементарного отображения в параболоидном отражателе; *б* – экран с отверстиями *1–13*

Форма следов ЭО соответствует форме и расположению ИС. При ИС в виде тонкой нити длиной $2l$ и диаметром $2r$, расположенном в фокусе отражателя поперек оптической оси в горизонтальной плоскости, след любого элементарного отображения на экране, перпендикулярном оптической оси, можно принять по форме за узкий прямоугольник, расположенный горизонтально. В этом случае угловые размеры ЭО определяются по следующим формулам:

- для углового размера ЭО по горизонтали

$$\xi_{\varphi\,\text{гор}} = \frac{l}{2f}(1+\cos\varphi)\sqrt{1-\sin^2\varphi\sin^2\psi}\,; \qquad (4)$$

- для углового размера ЭО по вертикали

$$\xi_{\varphi\,\text{вер}} = \frac{r}{2f}(1+\cos\varphi)\sqrt{1-\sin^2\varphi\cos^2\psi}\,, \qquad (5)$$

где ψ – угол, характеризующий положение отраженной точки (рис. 5, *б*).

Если ИС нитевидной формы (тонкий цилиндр) расположен в фокусе отражателя вдоль оптической оси, то след любого элементарного отображения (кроме ЭО вершины отражателя) на экране также можно принять по форме за узкий прямоугольник. Бóльшая сторона этого прямоугольника расположена в плоскости того меридионального сечения отражателя, которое проходит через отражающую точку, создающую рассматриваемое ЭО. След ЭО вершины отражателя представляет собой круг. Для любой точки бесконечно узкой круговой зоны отражателя ЭО будут одинаковыми по форме и размерам, но с различными направлениями осей в пространстве. Угловые размеры ЭО любой отражающей точки в этом случае определяются следующим образом:

- для максимального углового размера ЭО

$$\xi_{\varphi\,\max} = \frac{l}{2f}(1+\cos\varphi)\sin\varphi\,; \qquad (6)$$

- для минимального

$$\xi_{\varphi\,\min} = \frac{r}{2f}(1+\cos\varphi)\,. \qquad (7)$$

Возьмем производную от $\xi_{\varphi\,\max}$ по $d\varphi$ и приравняем ее к нулю:

$$\frac{\xi_{\varphi\,\max}}{d\varphi} = \frac{l}{2f}[-\sin\varphi\sin\varphi + (1+\cos\varphi)\cos\varphi] = \frac{l}{2f}(-\sin^2\varphi+\cos^2\varphi+\cos\varphi) = \frac{l}{2f}(\cos 2\varphi+\cos\varphi) = 0\,. \qquad (8)$$

Это условие выполняется при $\varphi = 60°$. Для 60-градусной зоны отражателя максимальный угловой размер элементарного отображения будет наибольшим.

Как было отмечено ранее, параболоидные отражатели имеют в различных точках поверхности отклонения от заданной формы, которые обусловлены допущениями, принятыми при расчете формы отражателя, или недостаточно точной обработкой поверхности, что приводит к аберрации.

При аберрационном параболоидном отражателе оси элементарных отображений будут не параллельны оптической оси отражателя, а составят с ней углы $\Delta\alpha$, представляющие собой угловые размеры продольной аберрации Δf. Форма и размеры ЭО останутся такими же, как и при безаберрационном отражателе. Для данной зоны величина $\Delta\alpha$ может быть найдена из соотношения

$$\Delta\alpha = \frac{\Delta f}{2f}(1+\cos\varphi)\sin\varphi. \qquad (9)$$

Измерение угловой аберрации зоны можно пояснить с помощью рис. 6. Центр шарового источ-

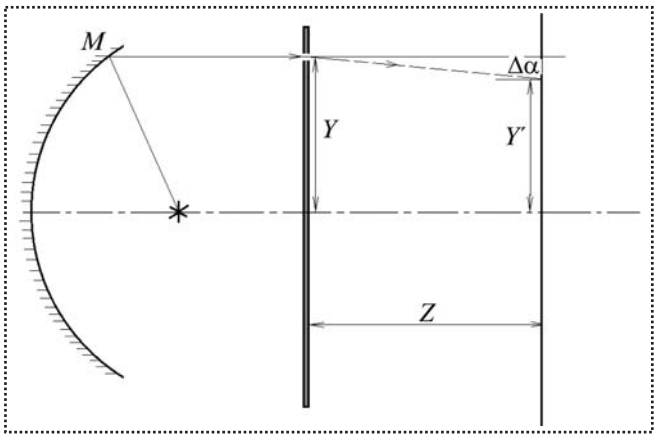


Рис. 6. К расчету угловой аберрации Δα

Характеристики отверстий

Характеристика	Номер отверстия					
	1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*
φ, град	0	10	20	30	40	50
Y, мм	0	19	38	58	78,5	100

ника света совмещен с действительным фокусом аберрационного параболоидного отражателя. Если бы зона отражателя была безаберрационной, то ось ЭО точки *M* зоны была бы параллельна оптической оси отражателя и находилась на расстоянии *Y* от последней. При аберрационной зоне ось ЭО точки *M* составляет угол Δα с оптической осью отражателя и пересекает экран на расстоянии *Y* от оптической оси отражателя. Размер угловой зоны может быть вычислен по формуле

$$\Delta\alpha = \operatorname{arctg}\frac{Y'-Y}{Z} = \operatorname{arctg}\frac{\Delta Y}{Z}, \qquad (10)$$

где Y' – расстояние на экране от центра элементарного отображения до оптической оси отражателя;

Y – расстояние от исследуемой точки отражателя до оптической оси (расстояние от отверстия, соответствующего исследуемой точке отражателя в металлическом диске, до центрального отверстия в диске);

Z – расстояние от отражателя до экрана.

Установка состоит из макета СП с отражательной оптической системой со следующими параметрами стеклянного отражателя:

- диаметр D = 250 мм;
- угол охвата отражателя $2\varphi_{max} = 120°$;
- фокусное расстояние f = 108 мм.

В качестве источника света используется лампа накаливания с телом накала в виде нити (тонкого цилиндра) следующих размеров:

- длина нити $2l$ = 7 мм;
- диаметр нити $2r$ = 0,35 мм.

Напряжение электрической лампы U = 12 В. Лампа питается от понижающего трансформатора. Тело накала может устанавливаться перпендикулярно или вдоль оптической оси. Световое отверстие макета СП перекрыто металлическим диском с отверстиями (см. рис. 5, *б*). Отверстия на диске расположены в одном радиальном направлении и в одной круговой зоне. Отдельные отверстия на металлическом экране пропускают элементарные отображения, создаваемые небольшими соответствующими участками отражателя. Чтобы на экране не было изображения, создаваемого непосредственно телом накала, а было только изображение, создаваемое отражателем, источник света со стороны металлического диска следует закрывать алюминиевым экраном (контротражателем), который снимают, когда исследуют элементарное отображение, создаваемое вершиной отражателя (открыто центральное отверстие на металлическом диске).

Каждое отверстие, расположенное в радиальном направлении, может быть определено расстоянием *Y* (мм), от центра диска (расстояние от соответствующей точки отражателя до оптической оси) и углом φ соответствующей точки отражателя к оптической оси. В таблице приведены характеристики каждого отверстия, расположенного по радиальному направлению от центра диска.

Отверстия по круговой зоне металлического диска имеют характеристики φ = 50°, *Y* = 100 мм и расположены через каждые 45°.

Каждое отверстие на диске может быть закрыто с помощью повешенного около него экрана. Элементарное отображение после прохождения через отверстие в металлическом диске падает на экран из миллиметровой бумаги, расположенный на определенном расстоянии *Z* от светового отверстия прибора, и оставляет на нем след. Линейные размеры и форма следов элементарных отображений соответствуют форме, расположению и размерам применяемого источника света, положению отражающего участка на поверхности отражателя, расстоянию от экрана до отражателя. Открывая последовательно отверстия на металлическом диске, можно исследовать ЭО, создаваемые различными точками отражателя. Для того чтобы получить нужную яркость следов элементарных отображений, расстояние от экрана до светового отверстия прибора должно быть не слишком большим и достаточным для удобной работы на установке.

Проведение эксперимента

Исследование ЭО и аберрации оптической системы на описанной ранее установке рекомендуется осуществлять в следующей последовательности.

1. Расположить экран на расстоянии Z от диска с отверстиями. Установить тело накала перпендикулярно оптической оси отражателя. Открывая последовательно отверстия в металлическом диске, измерить линейные размеры следов элементарных отображений на экране (по горизонтали l' и по вертикали h').

2. По данным измерений вычислить фактические угловые размеры ЭО по формулам:

$$\xi_{\varphi\,\text{гор}} = \xi_{\varphi\,\max} = \operatorname{arctg}\frac{l'}{Z'}; \qquad (11)$$

$$\xi_{\varphi\,\text{вер}} = \xi_{\varphi\,\min} = \operatorname{arctg}\frac{h'}{Z}. \qquad (12)$$

3. Установить тело накала вдоль оптической оси. Открывая последовательно отверстия в металлическом диске, измерить линейные размеры следов ЭО на экране (максимальный размер l' и минимальный размер h').

4. Поставив тело накала вдоль оптической оси, по формуле (10) определить значение угловой аберрации для точек отражателя, соответствующих радиальным отверстиям в металлическом диске.

5. Определить фокусное расстояние каждой радиальной точки отражателя:

$$f_{\varphi} = f + \Delta f. \qquad (13)$$

Заключение

Описанная установка для экспериментального исследования и измерения элементарных отображений и аберрационных характеристик отражательной оптической системы светового прибора позволяет достаточно быстро и легко определять свойства и характеристики оптической системы и использовать полученные данные для анализа и оптимизации проектируемой оптической системы СП.

Библиографический список

1. **Трембач В.В.** Световые приборы. М.: Высшая школа, 1990. 463 с.

МЕТАЛЛОРЕЖУЩИЕ СТАНКИ *учебник в 2-х т.*

Колл. авт. под ред. **В.В. Бушуева**

Т. 1. 608 с., Т. 2. 584 с. ISBN 978-5-94275-593-5 **Цена 2000 р.**

В 1-м томе приведены сведения о современных станках, их классификация, технико-экономические показатели, критерии работоспособности и общие принципы проектирования станков. Описаны методы формообразования, особенности построения рациональных кинематических схем и компоновок, конструкции и классификация основных узлов и механизмов станков, таких как базовые детали, направляющие, главный привод и привод подачи, механизмы транспортирования заготовок, инструмента, стружки и т.п. Рассмотрены режимы смазывания, смазочные системы и материалы. Даны основы математического моделирования и расчета основных подсистем и узлов станков, особенности систем управления.

Во 2-м томе описаны станки основных групп (токарных, фрезерных, расточных, сверлильных, шлифовальных, зубообрабатывающих, многоцелевых, агрегатных и др.), а также автоматические линии и ГПС. Рассмотрены станки для водоабразивной, сверхточной, сверхскоростной обработки и станки с параллельной кинематикой. Освещены тенденции развития станков. Приведены основные сведения об испытаниях, эксплуатации, модернизации и ремонте оборудования.

Учебник хорошо иллюстрирован схемами, рисунками, таблицами, что улучшает восприятие материала и позволяет использовать его при реальном конструировании.

Для студентов конструкторских и технологических специальностей и может быть использован инженерно-техническими работниками машиностроительных предприятий и проектных организаций.

Гриф Минобрнауки.

Приобрести книгу по цене издателя можно, прислав заявку в отдел продаж, маркетинга и рекламы:
по почте: 107076, г. Москва, Стромынский пер., 4; по факсу: (499) 269-48-97; по e-mail: realiz@mashin.ru
Дополнительную информацию можно получить по телефонам: (499) 269-66-00, 269-52-98 и на сайте WWW.MASHIN.RU

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

Автоматизация сборки печатных плат

В крупносерийном производстве экономически целесообразной является организация сборки печатных плат на основе поточного метода, реализуемого в форме модульной сборочной линии, включая прогрессивную технологию поверхностного монтажа. В этом случае на каждом модуле линии на определенное место печатной платы устанавливается радиоэлемент какого-либо одного типа: резистор, конденсатор, диод, транзистор, микросхема. Различные радиоэлементы могут подаваться на позицию монтажа из рулона с лентой, пенала, кассеты, магазинного или бункерного загрузочного устройства.

The organization of the printed circuit board assembly based on streaming method in the form of a modular assembly line including the progressive technology of the surface mount is economically feasible in the conditions of the high-volume production. In this occasion the radioelement of one type such as resistor, capacitor, diode, transistor, microcircuit, is set to the specific place of the printed circuit board on every module of the line. Different radioelements may be filed to the mount position from the roll of tape, pencil-case, cassette, magazine or hopper loading device.

Ключевые слова: печатная плата, радиоэлемент, поточный метод, модульная сборочная линия.

Keywords: printed circuit board, radioelement, streaming method, module assembly line.

Радиоэлектронная техника в основном построена на печатных платах (ПП), которые являются несущим элементом сборочной единицы с габаритными размерами в диапазоне от 20×20 мм (в групповых заготовках по 30 шт.) до 250×350 мм. Сборку печатных плат осуществляют путем монтажа электронных компонентов со штырьковыми и планарными контактными выводами в металлизированные отверстия или на поверхность платы с последующей пайкой. К таким электронным компонентам относят: резисторы и конденсаторы с аксиальными выводами, транзисторы с однонаправленными выводами, интегральные микросхемы (ИМС) и соединители [1, 2].

Структура сборочного производства ПП включает два участка:

1) упаковки радиоэлементов (РЭ) с целью подготовки их к монтажу;

2) монтажа РЭ на ПП.

В условиях массового и крупносерийного производства радиоаппаратуры бытового назначения целесообразно создание комплексов специализированного автоматического оборудования для установки на ПП дискретных радиоэлементов. В обеспечение автоматической сборки организуют поставку радиоэлементов с осевыми выводами в виде двухрядной липкой ленты на тканевой основе (резисторы типа МЛТ, конденсаторы типа КБГО) и радиоэлементов с однонаправленными выводами на носителях в виде однорядной ленты (транзисторы).

Для установки и пайки ИМС с выводами, выходящими за габариты корпуса, созданы автоматические программно-управляемые установки высокой производительности. Современные установки этого класса содержат, как правило, несколько рабочих головок, которые осуществляют захват радиоэлемента из кассеты или из ленты, позиционирование над платой установку элемента на заданное программой место.

В связи с появлением корпусов больших интегральных схем (БИС) с шагом выводов 0,625 и 0,5 мм суммарные погрешности механических узлов и систем точного позиционирования (СТП) становятся сопоставимы с величиной шага и для гарантированного качественного совмещения контактных пар СТП автомата монтажа оснащаются системами технического зрения (СТЗ). Появление СТЗ в цепи обратной связи системы управления позволяет создавать адаптивные роботизированные сборочные установки, обеспечивающие программную коррекцию процесса совмещения с учетом фактических отклонений устанавливаемых элементов.

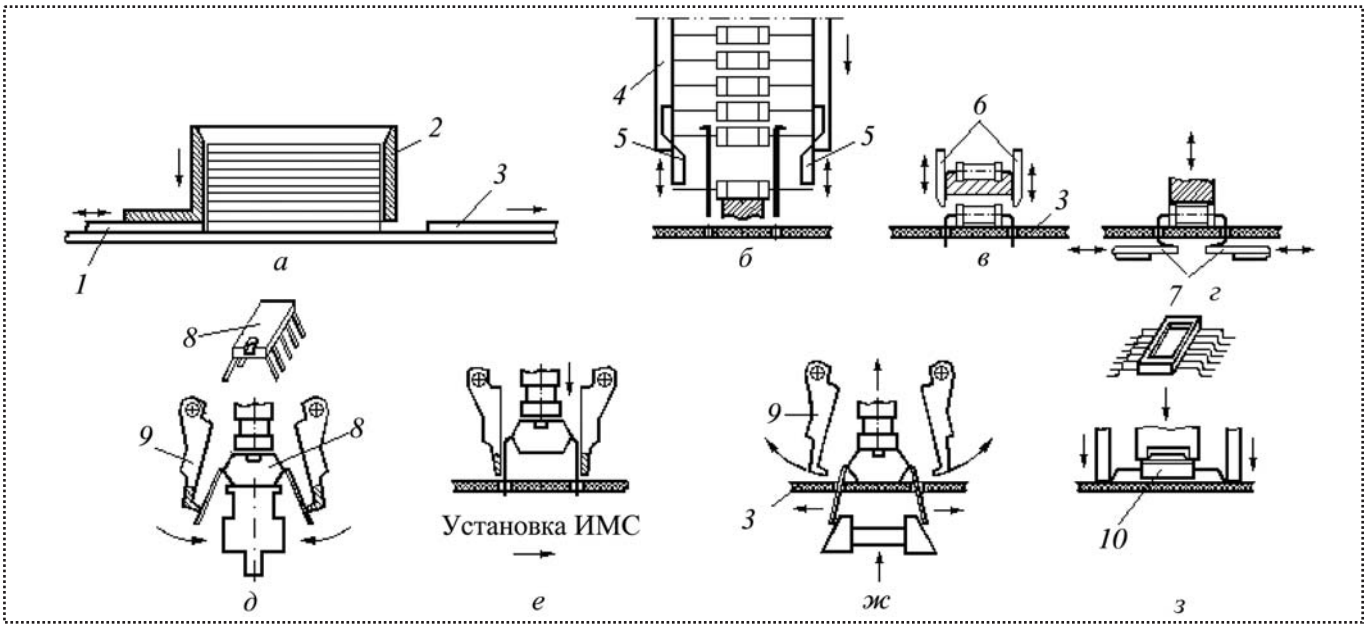


Рис. 1. Технологические схемы монтажа различных радиоэлементов на печатную плату:
1 – шибер; *2* – накопитель ПП; *3* – ПП; *4* – липкая лента; *5* – ножи для вырубки РЭ из ленты; *6* и *7* – механизмы формовки и подгибки выводов; *8* – ИМС со штырьковыми выводами; *9* – захват монтажной головки; *10* – ИМС с планарными выводами

В крупносерийном производстве экономически целесообразной является организация сборки печатных плат на основе поточного метода, реализуемого в форме модульной сборочной линии. В этом случае на каждом модуле линии на определенное место ПП устанавливается радиоэлемент какого-либо одного типа: резистор, конденсатор, диод, транзистор, микросхема. Различные РЭ могут подаваться на позицию монтажа из рулона с лентой, пенала, кассеты, магазинного или бункерного загрузочного устройства [1, 2].

На первом модуле сборочный робот (или шибер *1*) подает из накопителя *2* на конвейер линии пустую плату *3*, которая перемещается затем под первую монтажную головку (рис. 1, *а*). В следующей позиции (рис. 1, *б*) выполняется установка первого элемента, например, резистора с аксиальными контактными выводами. Плата в позиции сборки фиксируется с необходимой точностью. Если резистор подается из рулона с липкой лентой, то сначала выполняется обрезка выводов, закрепленных в ленте *4*, ножами *5*, формовка их под углом 90° пуансоном *6* и установка в монтажные отверстия платы (рис. 1, *в*). Снизу платы выводы подгибаются специальными ползунами *7* (рис. 1, *г*). Аналогично устанавливают на плату и другие РЭ с аксиальными выводами.

Установка на плату ИМС со штырьковыми выводами осуществляется роботом из пенального магазина. При захвате микросхемы *8* (рис. 1, *д*) происходит поджатие выводов под углом 90° в пределах упругой деформации. В таком положении (рис. 1, *е*) ИМС устанавливается выводами в отверстия платы *3*, губки *9* захвата раздвигаются и выводы под действием упругих сил занимают прежнее положение, создавая определенный натяг (рис. 1, *ж*). Благодаря подгибке выводов ИМС удерживается на плате до операции пайки.

Интегральные микросхемы с планарными выводами *10* подаются из плоской или этажерочной кассеты, в которую они укладываются после предварительной формовки и лужения выводов (рис. 1, *з*). При установке робот совмещает выводы ИМС с контактными площадками ПП и закрепляет элемент на припойной пасте. В конце линии осуществляется контроль собранной платы на наличие всех необходимых элементов, после чего она загружается в специальный контейнер, в котором платы отправляются на установку пайки (например, волной).

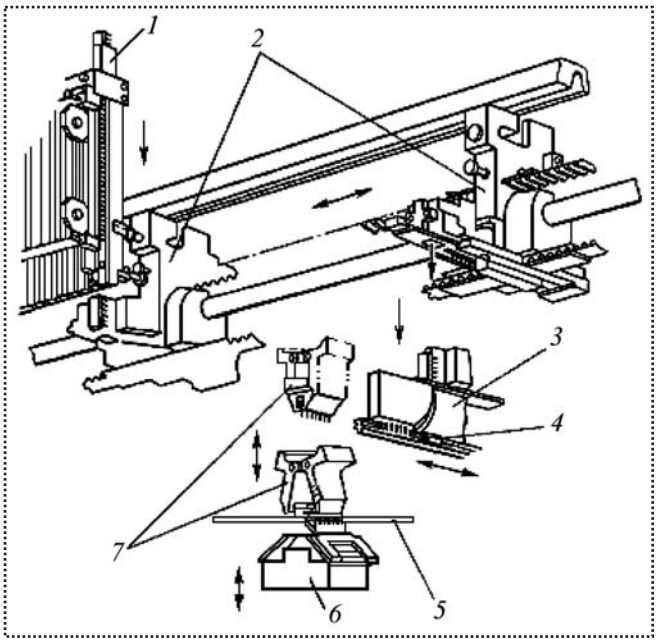


Рис. 2. Схема установки ИМС со штырьковыми выводами на ПП монтажной головкой модуля сборочной линии:
1 – пенальный магазин; *2* – транспортная каретка; *3* – переориентатор ИМС; *4* – толкатель; *5* – ПП; *6* – формователь выводов; *7* – монтажная головка

В стандартном модуле сборочной линии ИМС со штырьковыми выводами подаются к монтажной головке *7* (рис. 2) специальной кареткой *2* из пенального магазина *1*. В радиусном канале *3* прибор переориентируется из вертикального положения в горизонтальное и толкателем *4* вводится в захват монтажной головки *7*. После установки ИМС на ПП *5* срабатывает формователь выводов *6*. Монтажная головка обеспечивает установку на плату элементов различных типоразмеров с точностью порядка 50 мкм. Производительность автомата монтажа достигает 25...30 тыс. шт. в час. Производительность сборочной линии составляет 600...1200 плат в час при средней вместимости ПП 30 элементов.

Автоматы монтажа на ПП радиоэлементов из ленты и ИМС из пеналов показаны на рис. 3. Автоматы снабжены координатными столами для позиционирования платы под монтажной головкой с точностью от 25 до 10 мкм. Подобные автоматы при определенной адаптации могут встраиваться в виде типовых модулей в сборочную линию.

До 1980-х гг. сборку печатных плат осуществляли, главным образом, путем монтажа электронных компонентов со штырьковыми выводами в металлизированные отверстия платы с последующей пайкой. Такая технология монтажа серьезно затрудняла развитие массового производства малогабаритных дешевых электронных приборов, в частности, приборов бытового назначения – электронных часов, пейджеров, персональных компьютеров, мобильных телефонов и т.п. Дело в том, что современные ИМС имеют большое число выводов, достигающее нескольких сотен. Габариты корпуса такой ИМС резко возрастают, так как выводы располагаются по периметру корпуса с шагом не ме-

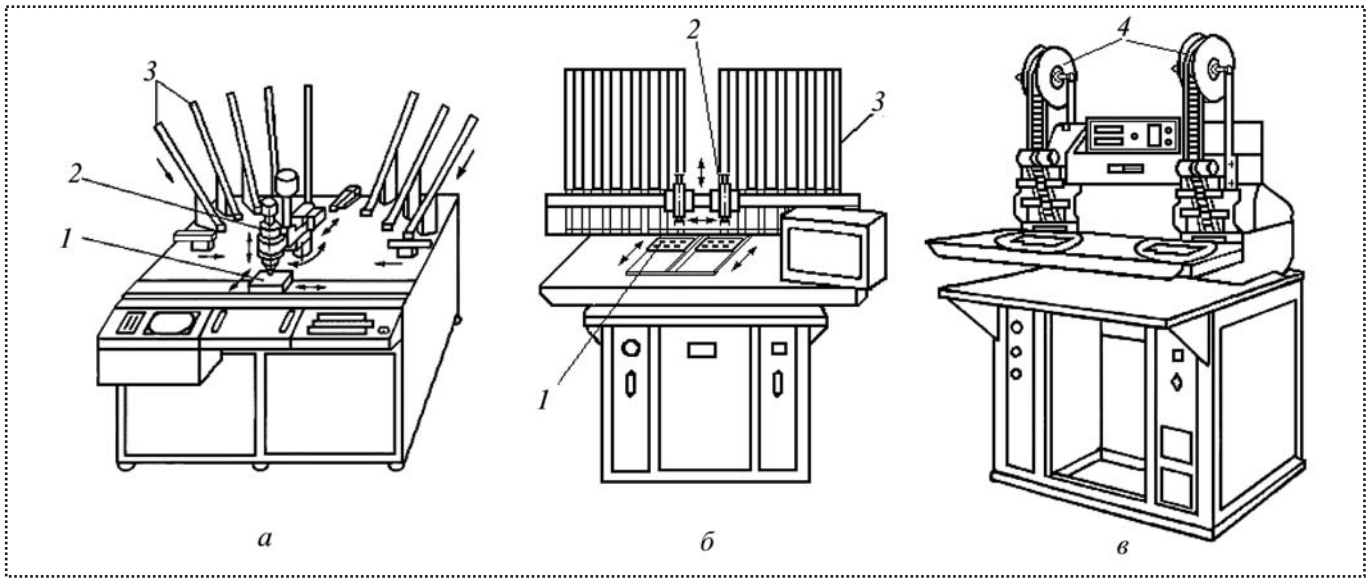


Рис. 3. Общий вид автоматов монтажа на ПП ИМС из пеналов (*а*) и РЭ из ленты (*б*):
1 – ПП; *2* – манипулятор; *3* – пеналы с ИМС; *4* – катушки с лентой

нее 1,25 мм. Большое число выводов, проходящих в отверстия ПП, непродуктивно занимают большую площадь на обеих плоскостях платы, что не позволяет использовать ее обратную сторону для установки элементов и оптимизировать трассировку печатных проводников [1].

Цена ИМС в больших корпусах становится слишком высокой, а надежность их снижается из-за увеличения длины электрических цепей и соответственно возрастания сопротивления, индуктивности и емкости. Известно, что указанные параметры очень важны для современных цифровых и микропроцессорных ИМС, работающих на высоких тактовых частотах.

Решением этой проблемы стало создание технологии ***поверхностного монтажа***, которая позволила существенно повысить плотность компоновки радиоэлектронной аппаратуры (РЭА). Эта технология предусматривает замену штырьковых выводов миниатюрными выводами различных форм или просто металлизированными участками корпуса монтируемого элемента.

Отказ от отверстий в ПП позволяет уменьшить шаг расположения выводов с 2 до 0,5 мм, а в ряде случаев и меньше 0,5 мм. При этом улучшаются технические характеристики электронных компонентов и одновременно уменьшаются их габариты и стоимость.

При поверхностном монтаже компоненты можно располагать на плате практически вплотную друг к другу с обеих сторон, поскольку технологические отверстия в ПП в этом случае не связаны с положением компонента и служат только для формирования электрических цепей. Диаметр технологических отверстий может быть существенно уменьшен, и все отверстия могут быть выполнены одним унифицированным сверлом.

Технология групповой пайки поверхностно-монтируемых компонентов позволила практически исключить ручной труд и минимизировать материальные затраты. Типовая технология поверхностного монтажа включает:

- нанесение на плату специальной припойной пасты;
- установку на пасту и фиксацию компонентов;
- оплавление припойной пасты в печах с помощью инфракрасного (ИК) излучения, конвекционного и других методов.

Вместе с тем в технологии поверхностного монтажа в ряде случаев возникают непростые проблемы, связанные с реализацией качественного совмещения контактных пар типа "плоскость–плоскость". Увеличение числа выводов у современных сверхбольших интегральных схем (СБИС) до величин порядка 400...500 и более приводит к тому, что при шаге даже менее 0,5 мм размеры СБИС неприемлемо возрастают (при размещении выводов по периметру корпуса). Поэтому такие СБИС выпускают в корпусах с матричным расположением шариковых выводов, которые обеспечивают наиболее плотную компоновку электронных компонентов на ПП (рис. 4).

В этом случае операцию совмещения выводов с контактными площадками платы приходится выполнять вслепую, что приводит к снижению производительности и качества сборки ручным методом. В связи с этим проблема качественного и по возможности быстрого совмещения прецизионных

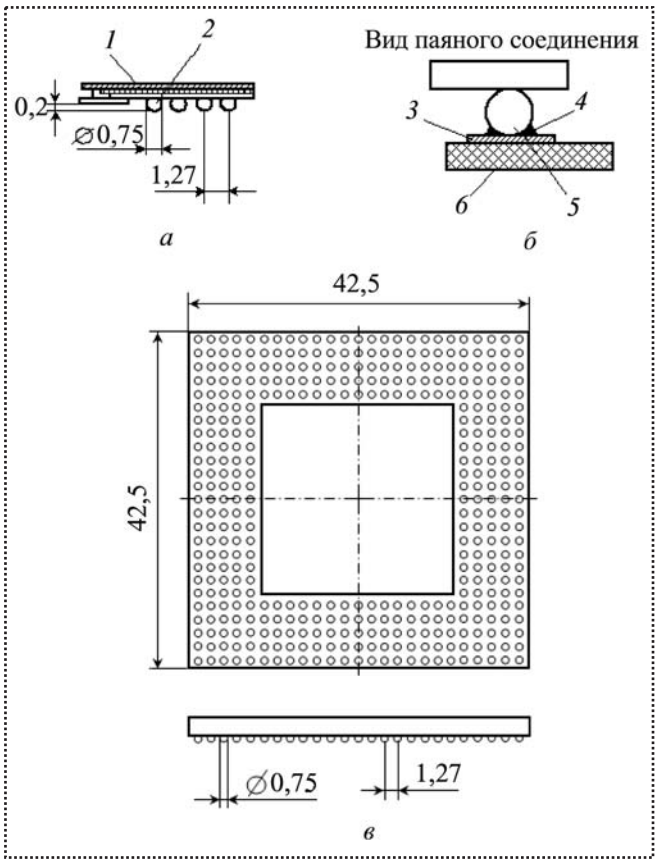


Рис. 4. Шариковые контактные выводы (*а*), вид паяного соединения (*б*) и корпус ИМС с 560 выводами (*в*):
1 – корпус; *2* – вывод; *3* – контактная площадка; *4* – припой; *5* – вывод; *6* – плата

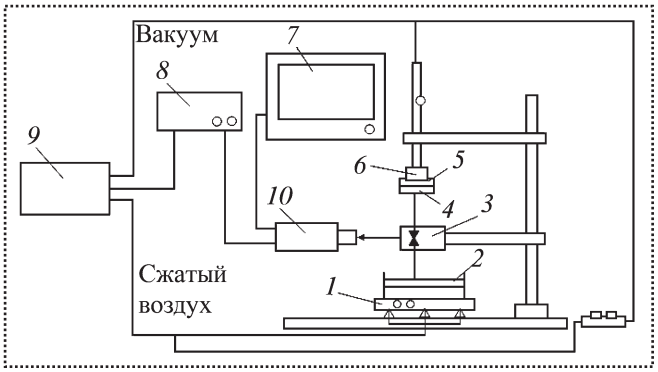


Рис. 5. Установка "BGA Placer-907" для поверхностного монтажа СБИС с шариковыми выводами:
1 – координатный стол; *2* – ПП; *3* – оптическая система; *4* – СБИС; *5* – центрирующее устройство; *6* – вакуумный захват; *7* – монитор; *8* – блок управления; *9* – источник вакуума и сжатого воздуха; *10* – видеокамера

контактных пар типа "плоскость–плоскость" многовыводных компонентов является актуальной.

В автоматизированном производстве сборочные посты могут быть оснащены механизированными устройствами с оптической системой совмещения контактных пар. Основное назначение таких устройств – качественная установка многовыводных компонентов любой сложности (в том числе с шариковыми выводами) на ПП при минимальной стоимости оборудования. Этот класс устройств не требует программирования и сложных подготовительных работ, что очень важно при изготовлении опытных образцов и небольших партий продукции. Типичным представителем подобных устройств является установка "BGA Placer-907" фирмы "Fritsh" (Германия). Принцип ее работы представлен на рис. 5.

Печатную плату *2* оператор устанавливает в направляющих координатного стола *1* и фиксирует с помощью пружинных упоров. В штангу стойки манипулятора крепится центрирующее устройство *5*, в которое вкладывают конкретный корпус *4* СБИС. После чего вакуумный захват *6* манипулятора опускают на корпус, включают вакуум и захватывают корпус. Затем поворачивают захват с корпусом до упора, вводят оптическую систему *3* видеокамеры в зазор между корпусом и ПП. В этом случае оптическая система одновременно видит оба изображения: контактные площадки ПП *2* (сверху) и контактные выводы корпуса *4* (снизу). Грубое совмещение изображений производит оператор путем перемещения каретки КС *1* с ПП, наблюдая процесс на экране монитора. Для перемещения каретки без рывков в направляющие КС подают сжатый воздух. Для точного совмещения используют три микрометрических винта: два для перемещения платы по линейным координатам *x*, *y* и один – для поворота захвата манипулятора вокруг вертикальной оси. Точность позиционирования по осям *x*, *y* составляет 0,01 мм, а по угловой координате – 1′. На мониторе дается изображение, увеличенное в 20 раз.

По окончании совмещения изображений на экране монитора оператор выводит оптическую систему *3* из рабочей зоны, опускает вакуумный захват с корпусом СБИС на ПП и отключает вакуум. После этого захват плавно поднимается вверх. При установке одного и того же типа корпуса СБИС на партию печатных плат можно не повторять процедуру грубого совмещения контактных пар.

Выводы

В условиях массового и крупносерийного производства радиоаппаратуры бытового назначения экономически целесообразной является организация сборки печатных плат на основе поточного метода, реализуемого в форме модульной сборочной линии.

Показано, как в технологии поверхностного монтажа решается проблема, связанная с качественным совмещением контактных пар типа "плоскость–плоскость" при установке СБИС в корпусах с шариковыми выводами, которые обеспечивают наиболее плотную компоновку электронных компонентов на печатной плате.

Библиографический список

1. **Иванов А.А.** Автоматизированные сборочные системы. Учебник. Нижний Новгород: НГТУ, 2007. 347 с.

2. **Иванов А.А.** Теоретические основы процессов манипулирования объектами обработки и сборки. Нижний Новгород: НГТУ, 2009. 257 с.

УДК 621.744.37

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

Прибор для контроля сборки компактных люминесцентных ламп

Предложен метод определения наличия терморезистора в схеме электронного пускорегулирующего аппарата энергосберегающей компактной люминесцентной лампы. Описаны сборка устройства и принцип действия прибора для контроля сборки энергосберегающих компактных люминесцентных ламп. Приведены результаты измерений напряжения энергосберегающих компактных люминесцентных ламп различного качества.

Proposed the method of determing the presence of the thermistor scheme electronic ballast energy-saving compact fluorescent lamp. Describes the Assembly of the device and the principle of the device to control the assembly of energy-saving compact fluorescent lamps. The results of measurements of voltage energy-saving compact fluorescent lamps of different quality.

Ключевые слова: компактная люминесцентная лампа, схема электронного пускорегулирующего аппарата, терморезистор для обеспечения "быстрого зажигания".

Keywords: compact fluorescent lamp, scheme of electronic ballast, thermistor to provide a "fast ignition".

Компактные люминесцентные лампы (КЛЛ) с встроенным электронным пускорегулирующим аппаратом при продаже в магазине (торговом предприятии) контролируют устройством, проверяющим работоспособность ламп накаливания, которое представляет собой основание с закрепленным на нем патроном соответствующего размера и подключенным к питающей сети. Этого явно не достаточно, так как замечено, что при замене лампы накаливания на КЛЛ в осветительной установке с выключателем со встроенным индикатором, наблюдается мерцание КЛЛ (в темном помещении), когда она находится в выключенном состоянии. Это явление вызывает определенный дискомфорт при эксплуатации осветительной установки. Как показали ранее проведенные исследования [1], это происходит вследствие того, что в схеме электронного пускорегулирующего аппарата (ЭПРА) КЛЛ отсутствует терморезистор (позистор) [2], предназначенный для обеспечения "быстрого зажигания" [3] КЛЛ. Кроме того, отсутствие терморезистора приводит к "мгновенному зажиганию" КЛЛ и, соответственно, к уменьшению продолжительности горения КЛЛ относительно срока службы, заявленного на упаковке КЛЛ.

В процессе обследования КЛЛ было обнаружено, что у некоторых производителей на печатных платах ЭПРА КЛЛ предусмотрено место для монтажа терморезистора, но сам терморезистор отсутствует. Из этого следует, что одни и те же лампы одного и того же производителя могут быть поставлены на рынок как с терморезистором, так и без него. Поэтому определение наличия терморезистора в схеме ЭПРА новой (не вскрытой) КЛЛ является актуальным, учитывая большой ассортимент КЛЛ на отечественном рынке.

Таким образом, при покупке КЛЛ покупатель должен видеть не только работоспособность лампы, но и знать о наличии или отсутствии терморезистора в схеме ЭПРА КЛЛ и, соответственно, ожидать заявленный срок продолжительности горения КЛЛ.

Для оперативного контроля характеристик КЛЛ, в частности, наличия в схеме терморезистора, проведен анализ характеристик элементов осветительной установки. Определено, что наиболее существенно при наличии или отсутствии терморезистора изменяется напряжение на КЛЛ (рис. 1). Так при отсутствии терморезистора амплитудное значение напряжения на КЛЛ изменяется во времени (с частотой от 0,5 до 1,0 Гц) в пределах от 10 до 20 В (рис. 1, *б*), что не наблюдается при наличии терморезистора (рис. 1, *а*).

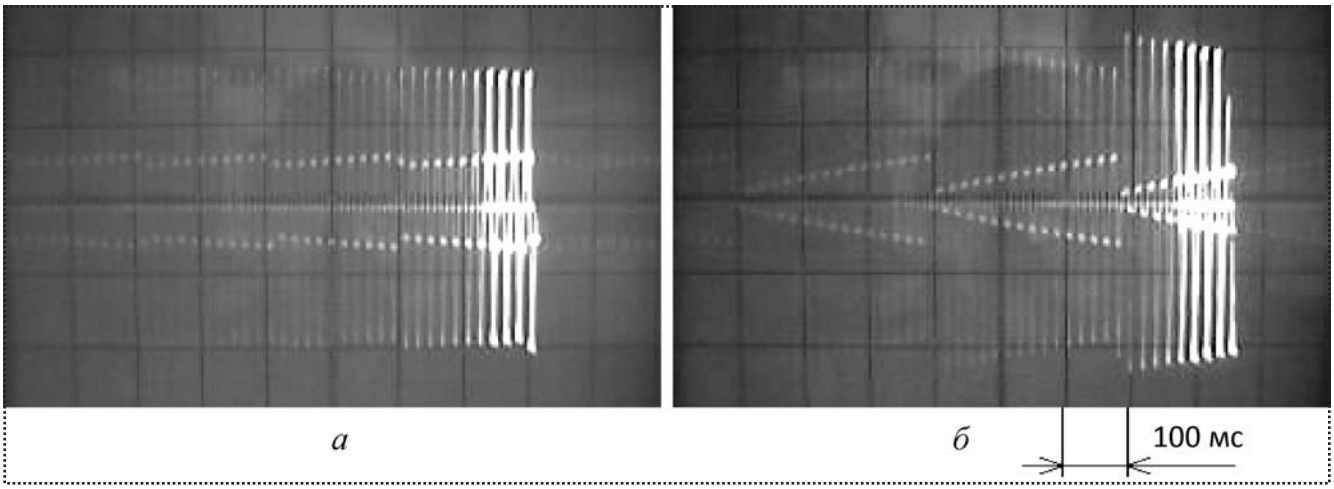


Рис. 1. Осциллограммы напряжения на компактных люминесцентных лампах с терморезистором (*а*) и без терморезистора (*б*)

Исходя из того, что портативные электронные осциллографы являются дорогостоящими приборами (их цена примерно в 100 раз превышает стоимость мультиметров), проведена оценка реакции измерительных приборов на периодическое изменение напряжения на КЛЛ. Для исследования выбрали универсальный цифровой малогабаритный измерительный прибор (мультиметр) DT-181.

Для оценки информативности мультиметров при определении наличия или отсутствия терморезистора в схеме ЭПРА компактных люминесцентных энергосберегающих (КЛЭ) ламп измеряли напряжение различных КЛЛ (см. таблицу). Так у КЛЛ типа "Космос 3U 20W" и "Super Max SP 20W-E2727" терморезистор в схеме отсутствует, а у КЛЛ типа "Camelion LH20-3U" и КЛЛ 6-20 – имеется.

Из таблицы следует, что напряжение на КЛЛ с терморезистором примерно на 20 В больше, чем у КЛЛ без терморезистора. При этом амплитудные

Изменение амплитудного значения напряжения на различных компактных люминесцентных лампах

Напряжение сети U_c, В	"Космос 3U 20W"			"Super Max SP 20W-E2727"			"Camelion LH20-3U"			КЛЛ 6-20		
	min	max	Δ	min	max	Δ	min	max	Δ	min	max	Δ
240	21	41	20	19	34	15	62	66	4	59	63	4
220	19	39	20	18	33	15	54	58	4	52	55	3
200	18	41	23	18	34	16	47	50	3	45	48	3
180	17	39	22	17	35	18	40	42	2	40	43	3
160	14	38	24	15	33	18	33	35	2	33	35	2
$\Delta_{ср}$	–	–	21,8	–	–	16,4	–	–	3,6	–	–	3,0

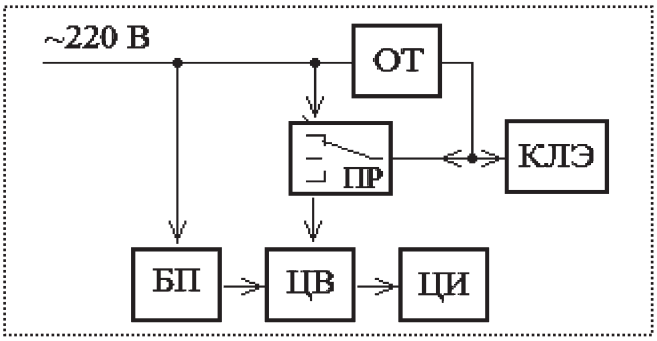


Рис. 2. Схема прибора контроля компактных люминесцентных ламп

колебания напряжения КЛЛ без терморезистора в четыре и более раз превышает колебания напряжения на КЛЛ с терморезистором.

При снижении напряжения питания данная разница возрастает. Так, при снижении питающего напряжения до 180 В изменение напряжения КЛЛ с терморезистором составляет 2...3 В, а у КЛЛ без терморезистора 18...22 В.

Таким образом, контролировать наличие терморезистора в собранной схеме ЭПРА КЛЛ наиболее целесообразно оценкой изменения во времени напряжения на КЛЛ при пониженном напряжении питания цепи "КЛЛ – индикатор – резистор".

Собранная схема прибора контроля работоспособности КЛЛ с встроенным ЭПРА КЛЭ лампы (рис. 2) включает переключатель режимов контроля (ПР), цифровой индикатор (ЦИ) и аналого-цифровой преобразователь (АЦП) цифрового вольтметра, блок питания (БП) и блок ограничения тока (ОТ) КЛЭ лампы. Прибор подключается к питающей сети 220 В.

Рис. 4. Прибор для контроля сборки компактных люминесцентных ламп "Космос Е27" (*а*) и "Camelion Е14" (*б*)

Электрическая схема прибора контроля сборки КЛЛ приведена на рис. 3. Схема включает все элементы, приведенные на рис. 2: КЛЛ с встроенным ЭПРА *5*, переключатель режимов контроля *9*, индикатор *3* и АЦП *4* цифрового вольтметра, БП *2* и блок ОТ *7*, состоящий из газоразрядной лампы *6* и резистора *8*. Прибор подключается к питающей сети ~220 В разъемом (электрической "вилкой") *10* с помощью выключателя *1*.

Общий вид прибора для контроля сборки КЛЛ приведен на рис. 4. Работает прибор следующим образом. КЛЭ лампу устанавливают в соответствующий электропатрон (наиболее распространенными являются резьбовые цоколи типа Е14 и Е27). Электропатроны на корпусе прибора расположены таким образом, чтобы предотвратить одновременное подключение двух КЛЛ. Прибор с помощью электровилки подключают к питающей сети, напряжение которой высвечивается на индикаторе цифрового вольтметра. Переключатель режимов контроля находится в положении "0" – КЛЛ обесточена.

При переводе переключателя режимов контроля в положение "I" (см. рис. 3, 4), напряжение питающей сети подается на КЛЛ и в случае ее исправности лампа загорается. Таким образом, осуществляется контроль работоспособности испытуемой лампы.

При переводе переключателя режимов контроля в положение "II", напряжение питающей сети подается на

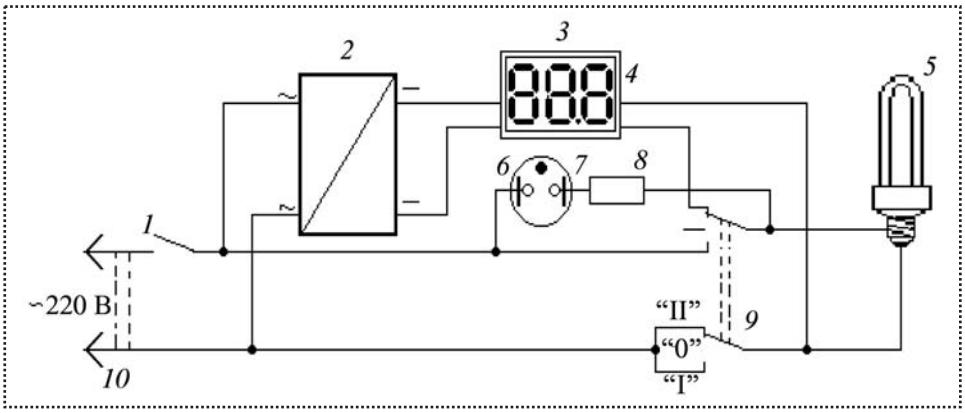


Рис. 3. Электрическая схема прибора контроля компактных люминесцентных ламп

КЛЛ через ограничивающее устройство, представляющее собой последовательно соединенные резистор и газоразрядный индикатор. При этом цифровой вольтметр подключается к КЛЛ и регистрирует падение напряжения на лампе. Если в КЛЛ отсутствует терморезистор, то возникают пульсации напряжения с периодичностью 0,5...1,5 Гц (на рис. 4, *а* приведена КЛЛ типа "Космос SPC 20W-E2727" в момент пульсации). При этом разница между максимальным амплитудным значением напряжения на лампе и минимальным находится в пределах от 10 до 35 В (у разных ламп эта разница различна).

Если в КЛЛ присутствует терморезистор (см. рис. 4, *б*), то световые пульсации отсутствуют, т.е. пульсации напряжения на КЛЛ практически отсутствуют. При этом разница между максимальным амплитудным значением напряжения на лампе и минимальным составляет 1...3 В (у разных ламп эта разница различна).

Таким образом, пульсации напряжения на КЛЛ свидетельствуют о наличии терморезистора в схеме ЭПРА КЛЭ лампы и, соответственно, о долговечности лампы и комфортной ее эксплуатации в осветительных установках, оборудованных выключателями с индикаторами.

Библиографический список

1. **Ашрятов А.А., Газизова З.Ф.** Исследование особенностей эксплуатации компактных люминесцентных ламп с встроенным электронным ПРА в осветительной установке // Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники и энергетики: Сб. науч. тр. VI Междунар. науч.-техн. конф. Саранск, 23–24 октября 2008 г. Саранск: Изд-во Мордовского университета, 2008. С. 99–103.

2. **Справочная** книга по светотехнике / Под. ред. Ю.Б. Айзенберга. 3-е изд., перераб и доп. М.: Знак, 2006. 972 с.

3. **Рохлин Г.Н.** Разрядные источники света. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1991. 720 с.

Цена 440 р.

Справочник фрезеровщика

Л.Н. Бердников, В.Ф. Безъязычный, В.Н. Крылов и др.

Под ред. *В.Ф. Безъязычного*

272 с.: ил. ISBN 978-5-94275-524-9

Изложены основные сведения о процессе фрезерования, фрезерных станках, режущих инструментах (фрезах), приспособлениях для фрезерных станков, особенностях фрезерования различных обрабатываемых поверхностей, а также контроле, организации рабочего места фрезеровщика и охране труда.

В приложении приведены технические условия и размеры на фрезы по стандартам, действующим с 1 января 2010 г.

Рекомендуется для фрезеровщиков, может быть полезен для подготовки рабочих на производстве, а также для учащихся учреждений среднего профессионального образования.

Приобрести книгу по цене издателя можно, прислав заявку по почте: 107076, г. Москва, Стромынский пер., 4; по факсу: (499) 269-48-97; по e-mail: realiz@mashin.ru. Информация по тел.: (499) 269-66-00, 269-52-98 и на сайте WWW.MASHIN.RU

УДК 681.2.002.72;681.2.002

Ю.В. Денисов, *д-р техн. наук (Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина),*
М.В. Капленко, *канд. техн. наук (Уральский электромеханический завод, г. Екатеринбург)*
E-mail: k–14627@planet–a.ru

Математическое моделирование при сборке прецизионных датчиков ускорения

Показана возможность использования математического моделирования для совершенствования процесса сборки прецизионного прибора. Модели используются для определения параметров технологического процесса и управляющих параметров сборки. Совершенствование процесса сборки существенно повышает эффективность производства датчиков, позволяет уменьшить время производственного цикла, сократить расходы.

The authors describe in the paper the possibility of use of mathematical modeling for the perfection of assemblage of a precision instrument. The models are used to define the parametres of the technological process, as well as operating parametres of assemblage. The perfection of assemblage considerably raises production efficiency of transducers, helps to reduce production cycle time, and to cut down expenses.

Ключевые слова: датчик ускорения, математическое моделирование, критичный параметр, совершенствование сборки.

Keywords: acceleration transducer, mathematical modeling, critical parameter, assemblage perfection.

Постановка задачи

Рассмотрим возможность улучшения процессов сборки и настройки миниатюрных приборов – прецизионных датчиков ускорения. Процесс сборки (настройки) представляет наиболее трудоемкий финальный этап технологического процесса производства датчиков. Улучшение процесса сборки (настройки) существенно повышает эффективность производства датчиков в целом, позволяет уменьшить время производственного цикла, сократить расходы при производстве. Сокращение длительности собственно процесса сборки достигается сокращением операций подбора деталей с реальным сочетанием допусков на размеры, исключением повторных операций разборки и сборки прибора. Сокращение расходов при сборке гарантируется сокращением затрат на материалы и на оплату труда, не производящего ценности.

Эффективным методом решения проблемы является использование математического моделирования при производстве датчиков ускорения с применением современных программных продуктов Ansys, Pro/ENGINEER и др. Моделирование позволяет:

- установить связь функциональных характеристик прибора с его конструктивными параметрами и параметрами технологического процесса, включая операции сборки (настройки);
- применить системный подход, при котором на каждом этапе производства осуществляется контроль некоторых критичных параметров – конструктивных и технологических – и уменьшаются вариации этих параметров;
- реализовать процесс виртуальной сборки, когда процессу сборки "реального" датчика предшествует процесс моделирования его сборки (в одной из перечисленных программ) с использованием полного комплекта деталей с реальными допусками на геометрические размеры.

Предмет исследования

Прецизионные датчики ускорения используют в составе систем для коммутации электрических цепей при превышении действующим ускорением заданного порогового уровня.

Прецизионный датчик ускорения с поступательно перемещающимся рабочим элементом (рис. 1) включает:

- механизм, определяющий ускорение срабатывания;
- механизм освобождения контактной системы;
- механизм контактной системы.

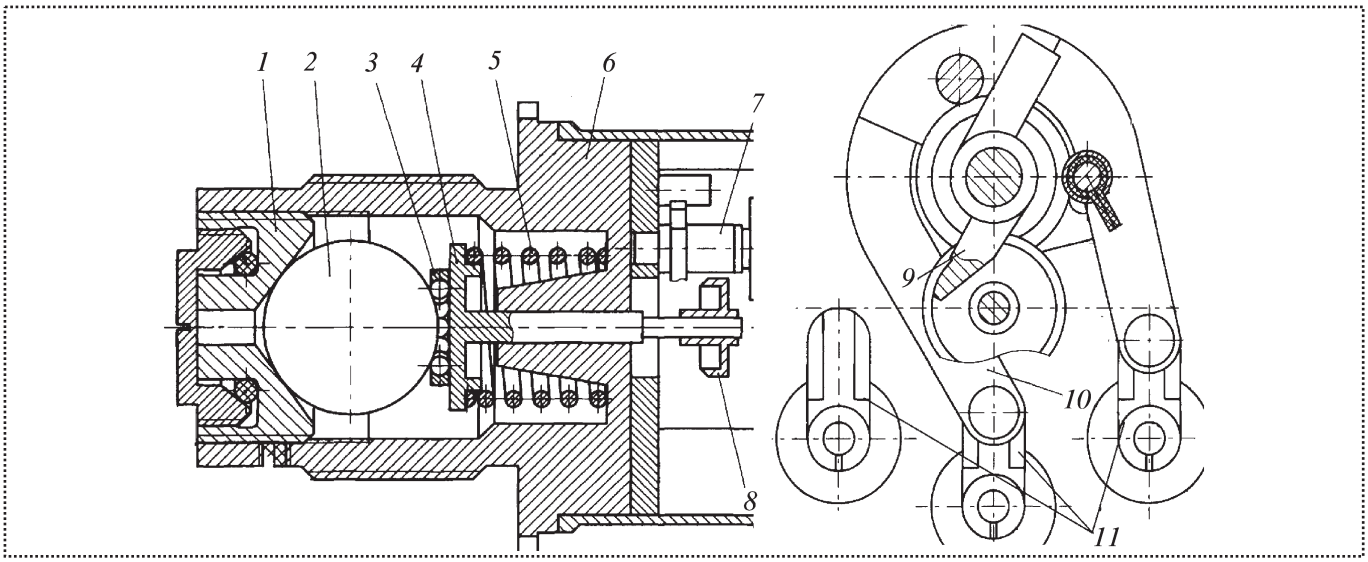


Рис. 1. Основные элементы конструкции порогового датчика:
1 – конус; *2* – инерционное тело; *3* – многоопорный подшипник; *4* – толкатель; *5* – пружина; *6* – корпус; *7* – вал; *8* – фиксатор; *9* – рычаг; *10* – перемыкатель; *11* – контакты

Механизм, определяющий ускорение срабатывания системы, имеет в своем составе толкатель *4*, установленный в корпусе *6*; пружину *5*, закрепленную в корпусе; конус *1* и инерционное тело *2*. Толкатель за счет усилия пружины *5* поджимает через многоопорный подшипник *3* инерционное тело к конусу *1*. Механизм освобождения контактной системы состоит из фиксатора *8*, установленного на толкателе *4* и удерживающего от поворота вал *7*, через установленный на вал рычаг *9*. Поворот вала *7* обеспечивается спиральной пружиной. Механизм контактной системы состоит из перемыкателя *10*, установленного на валу *7*, и трех контактов *11*.

Работа датчика осуществляется следующим образом: при действии ускорения в направлении осей чувствительности прибора инерционное тело *2* выкатывается из конуса *1* и смещает толкатель *4*. Установленный на толкателе фиксатор *8* перемещается, освобождая рычаг *9* и связанный с ним вал *7*. При этом перемыкатель *10* коммутирует требуемые контакты *11*.

Используемый математический аппарат и функциональные характеристики датчика

При составлении расчетных схем используют теорию относительного движения в неинерциальной системе отсчета [1]. Расчетные схемы, исходя из принципов, положенных в основу действия датчика, можно представить следующим образом (рис. 2).

Целесообразно разделить расчет на две задачи: относительного покоя и относительного движения рабочего элемента. Разделение на две части позволяет определить ускорение поступательно движущейся подвижной системы координат, при котором начинается движение рабочего элемента.

Для относительного покоя для каждого из тел расчетных схем составлены уравнения равновесия. Решение полученной системы позволяет определить ускорение, характеризующее переход состояния относительного покоя рабочего элемента к состоянию относительного движения.

Составлена система дифференциальных уравнений движения в неинерциальной системе отсчета для толкателя и шариков многоопорного подшипника. В качестве примера приведем уравнения относительного движения толкателя (обозначения величин взяты из рис. 2):

$$N_3 + N_4 - F_{\text{упр}} - F_{\text{тр1}} - F_{\text{тр2}} - N_8 = m_{\text{пр}}\ddot{X}; \quad (1)$$

$$-F_{\text{тр3}} - F_{\text{тр4}} - A_2 - a_e(t)\, m_{\text{пр}} + B_2 - N_{1Y} = m_{\text{пр}}\ddot{Y}; \quad (2)$$

$$\begin{aligned} &-N_3 Y_1 + N_4 Y_2 - B_2 a + N_{1Y}(a+b) + \\ &+ a_e(t)\, m_{\text{пр}}\, e_1 + N_8 e_Y + F_{\text{тр3}} d + F_{\text{р4}} d = 0. \end{aligned} \quad (3)$$

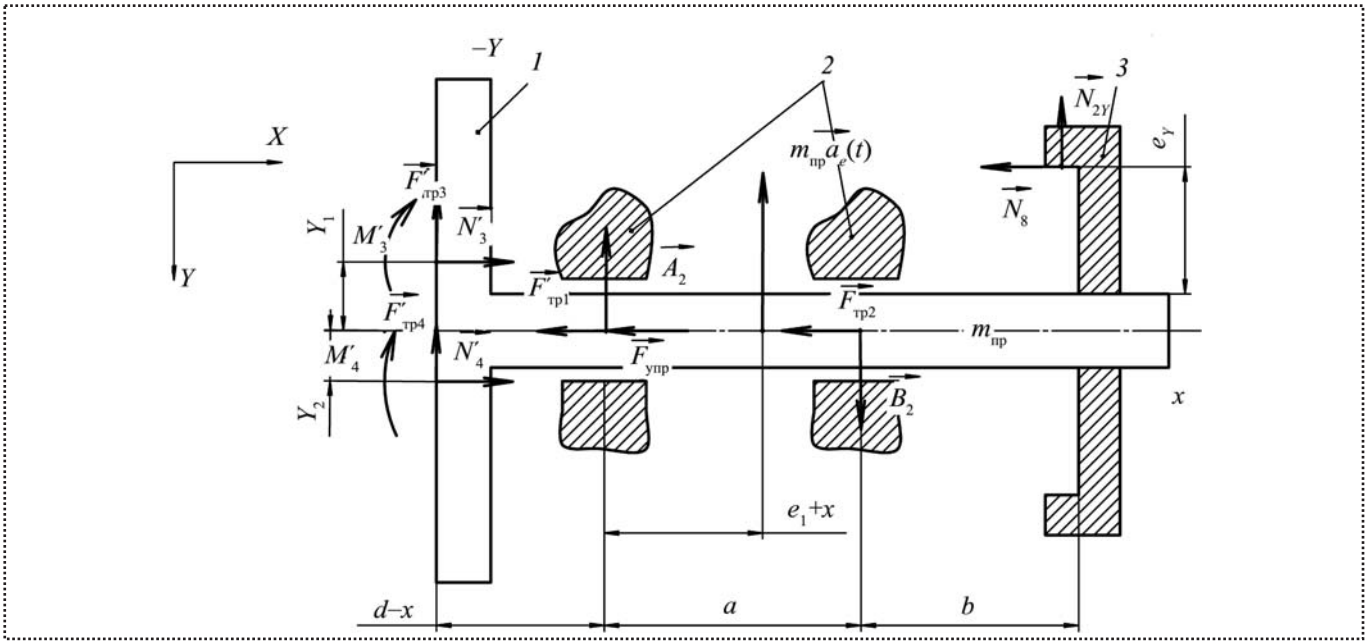


Рис. 2. Расчетная схема датчика:
1 – толкатель; *2* – опора скольжения; *3* – фиксатор механизма коммутации; A_2, B_2 – реакции в опорах; $F_{упр}$ – усилие предварительного поджатия пружины; $m_{пр}$ – приведенная масса толкателя; $F_{тр1}$, $F_{тр2}$ – силы трения в опорах; $F_{тр3}$, $F_{тр4}$ – силы трения, возникающие при скольжении шариков многоопорного подшипника по поверхности толкателя; N_{1Y} – составляющая силы действия защелки (фиксатора механизма коммутации) на упор; $a_e(t)$ – ускорение, действующее на прибор; N_8 – сила трения, возникающая в точке контакта защелки и упора; N_3, N_4 – давление инерционной массы; M'_3, M'_4 – моменты трения шариков качения многоопорного подшипника по поверхности толкателя; a, b, d, e_Y, e_1, Y_1, Y_2 – геометрические параметры модели

Решение системы дифференциальных уравнений приводит к следующему уравнению:

$$\ddot{X} + \omega_0^2 X = K_1 Dt + [a_e] D - E , \qquad (4)$$

где D и E – коэффициенты, полученные при алгебраических преобразованиях системы;

ω_0 – циклическая частота.

При относительном движении рабочего элемента прибора ускорение $a_e(t)$ имеет вид

$$a_e(t) = K_1 t + [a_e],$$

где K_1 – скорость нарастания ускорения;

$[a_e]$ – максимальное ускорение, действующее на прибор, при котором рабочий элемент находится в состоянии относительного покоя.

Определение закона движения толкателя сводится к решению дифференциального уравнения (4) относительного движения с использованием современных численных методов [2].

Закон движения толкателя с учетом сухого трения и зона трения [3] показаны на рис. 3, 4.

После затухания колебаний закон движения толкателя определяется частным решением неоднородного уравнения, зависящим от времени, и имеет вид, представленный на рис. 5.

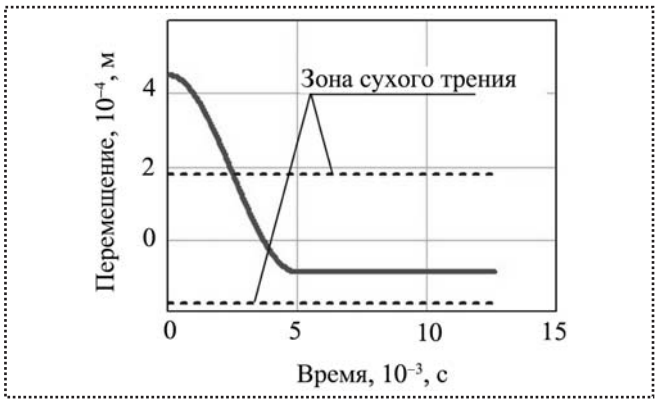


Рис. 3. Характер движения толкателя с учетом зоны сухого трения

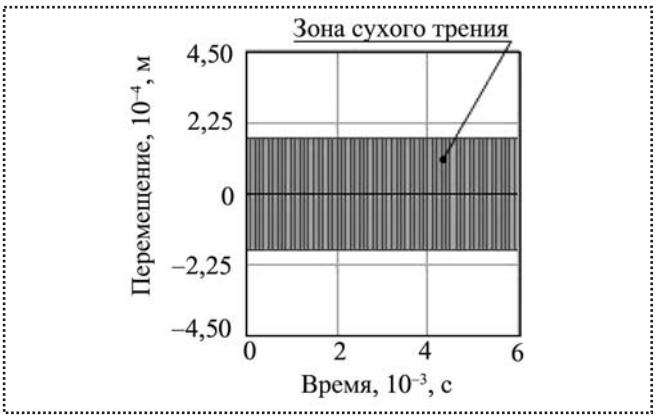


Рис. 4. Зона сухого трения

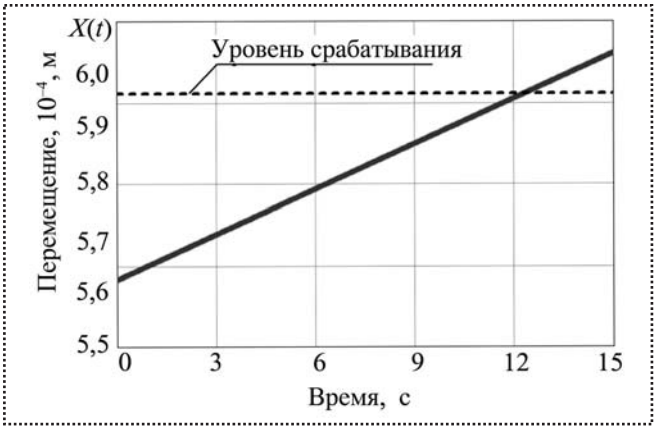


Рис. 5. Характер перемещения толкателя после переходного процесса

Критические конструктивные параметры и их влияние на ускорение срабатывания

В приборе можно выделить параметры, которые оказывают наиболее существенное влияние на его функциональные характеристики. Эти параметры будем называть критичными параметрами, а их множество – расширенным спектром критичных параметров.

На стадии технологической подготовки производства необходимо иметь зависимости между конструктивными параметрами приборов, их функциональными характеристиками и параметрами технологического процесса. Определение параметров технологического процесса, обеспечивающих критические конструктивные параметры приборов и их функциональные характеристики, возможно с использованием математического моделирования. При этом устанавливают и используют аналитические и экспериментальные зависимости между параметрами процесса, параметрами приборов и их функциональными характеристиками. Установленные связи между параметрами приборов и параметрами процесса являются основой проектирования новых технологических процессов.

Для представленного датчика на стадии проектирования определены следующие критичные конструктивные параметры:

- геометрические параметры конструкции;
- массовые характеристики элементов конструкции;
- начальное поджатие пружины;
- коэффициент трения в опорах скольжения;
- коэффициент трения пары трения фиксатор – рычаг;
- коэффициент трения качения инерционного тела по поверхности конуса.

Используя разработанную математическую модель, на стадии подготовки производства данный спектр параметров дополним следующими элементами:

- коэффициентами трения в многоопорном подшипнике и его геометрическими размерами;
- моментами, влияющими на толкатель, в соответствии с используемой расчетной схемой с двумя опорами;
- значением перемещения рабочего элемента до момента срабатывания (учет регулировки).

Связь критичных конструктивных параметров с управляющими параметрами технологического процесса сборки и настройки

Полученная модель позволила проследить влияние следующих параметров технологического процесса на погрешность срабатывания датчика:

а) режимы обработки → шероховатость поверхности → трение → погрешность срабатывания;

б) технология настройки силовой характеристики пружины (электрохимическое полирование) → начальная деформация пружины → погрешность срабатывания;

в) технология расконсервации и доработки шарикоподшипников → трение в многоопорном подшипнике → погрешность срабатывания.

Полученные связи между расширенным спектром конструктивных параметров и операциями технологического процесса позволяют разработать ряд предложений по уточнению сокращения времени следующих сборочных и регулировочных операций:

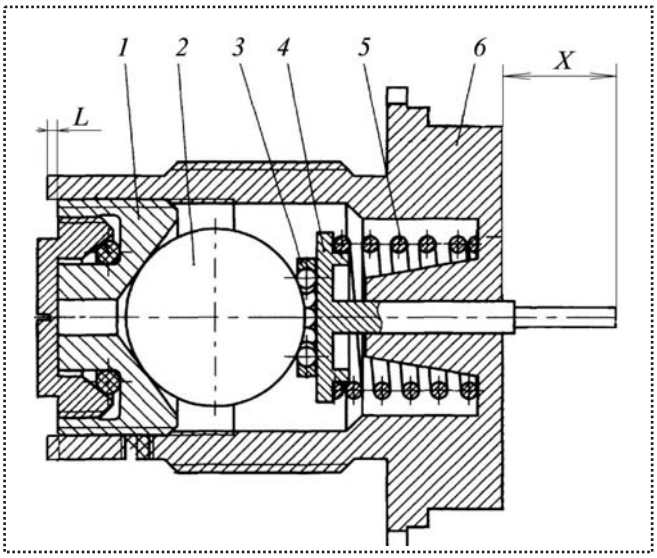


Рис. 6. Подсборка датчика, настраиваемая на первом этапе работ при регулировке ускорения срабатывания:
1 – конус; *2* – инерционное тело; *3* – многоопорный подшипник; *4* – толкатель; *5* – пружина; *6* – корпус; *X* – контролируемое перемещение

• сборки и регулировки механизма коммутации;

• установки и смазки многоопорного подшипника;

• регулировки начального поджатия пружины.

Проанализируем время сокращения технологической операции регулировки начальной деформации пружины, действующей на инерционное тело, подробнее.

На данной операции происходит настройка зависимости перемещения *X* чувствительного элемента датчика в зависимости от ускорения (значения *X* относительной погрешности), приложенного к подсборке, представленной на рис. 6.

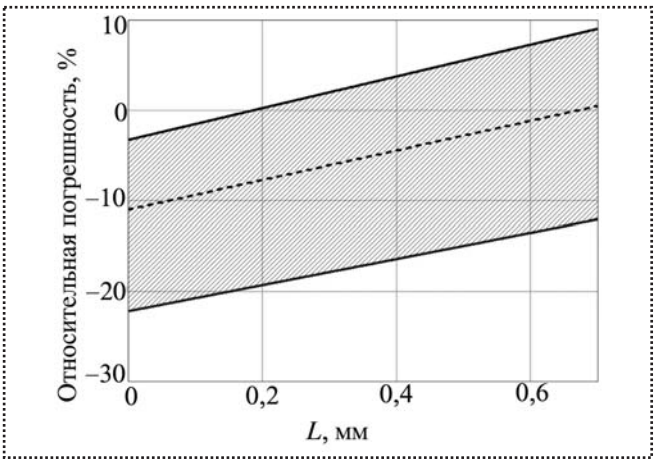


Рис. 7. График зависимости относительной погрешности срабатывания прибора от величины *L* с учетом допусков

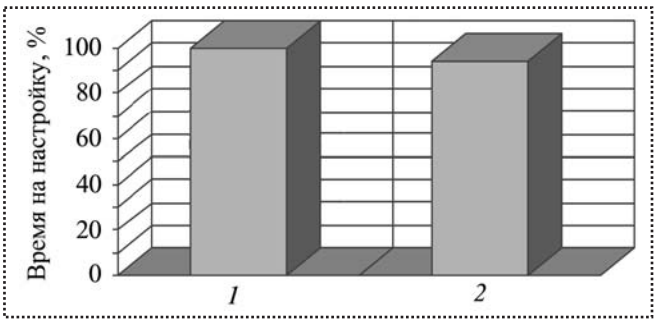


Рис. 8. Время настройки прибора:
1 – без использования модели; *2* – с использованием модели

Датчик закрепляют на столе центрифуги, при этом перемещение чувствительного элемента контролируют при помощи специальной оснастки. Корректировка ускорения срабатывания проводится изменением величины *L*, которая регулирует начальное поджатие пружины *5*. Разработанные математические модели позволили оценить влияние величины *L* на перемещение *X* толкателя *4*. Ранее при настройке начальное поджатие пружины *5* конусом *1* в корпусе *6* и последующую ее регулировку определяли экспериментальным путем, зависящим от опыта настройщика.

Построенные математические модели позволили построить графики зависимости ускорения срабатывания датчика от величины *L*, что позволяет сократить время настройки и исключить влияние человеческого фактора при малом опыте работника. Графики зависимости относительной погрешности срабатывания прибора в зависимости от инженерных допусков на геометрические размеры деталей, допусков на коэффициенты жесткости пружины и шероховатости поверхностей представлены на рис. 7.

Заключение

Применение полученных моделей позволило:

1) повысить стабильности сборки и настройки;

2) сократить длительность процесса сборки (рис. 8).

Библиографический список

1. **Ишлинский А.Ю.** Механика относительного движения и силы инерции. М.: Наука, 1981. 192 с.

2. **Эдвардс Ч.Г., Пенни Д.Э.** Дифференциальные уравнения и краевые задачи: моделирование и вычисление с помощью Mathematica, Maple и MATLAB. 3-е изд. Пер. с англ. М.: "И.Д. Вильямс", 2008. 1104 с.

3. **Трение,** изнашивание и смазка: справочник. В 2-х кн. / Под ред. И.В. Крагельского, В.В. Алисина. М.: Машиностроение, 1978. 400 с.

УДК: 621.757.06

И.И. Ламин, *канд. техн. наук (Московский государственный машиностроительный университет – МАМИ)*
E-mail: ilamin@mail.ru

Укрупненный метод проектирования технологических процессов сборки изделий в автостроении*

Рассмотрен новый подход к проектированию специализированного сборочного оборудования, который позволяет приблизиться к решению проблемы повышения качества проектирования технологических процессов.

New approach to design of the specialized assembly equipment which allows to come nearer to a solution of the problem of improvement of quality of design of technological processes is presented.

Ключевые слова: сборка, технологический процесс, укрупненный метод проектирования.

Keywords: assembly, process technology, integrated design method.

Происходящие изменения в производстве автомобилей в стране, вступление России в ВТО, упрощающее процедуру импорта, существенным образом повлияли на процесс формирования структуры парка механосборочного оборудования. Повысились требования к оснащению автомобильных заводов специализированным оборудованием, обеспечивающим высокий экономический эффект, возможный только при условии проектирования технологических процессов, в наибольшей степени соответствующих специфике конкретных производств.

Существующие методы разработки технологических процессов изготовления изделий основаны на проектировании нескольких вариантов, их сравнительной оценке и выборе оптимального, обеспечивающего максимальный экономический эффект.

Стремление изготовителей специализированного оборудования уменьшить его себестоимость, существенной частью которой являются затраты на проектирование, приводит к сокращению числа рассматриваемых вариантов до двух или даже до одного. В результате полученное заказчиком оборудование по своим параметрам во многих случаях не обеспечивает возможный максимальный экономический эффект.

Для сокращения затрат наука предлагает проектирование технологических процессов осуществлять двумя последовательными методами:

укрупненным методом, с использованием которого ориентировочно определяют основные технические и экономические параметры разрабатываемого технологического процесса;

детальным методом, с помощью которого, используя значения параметров укрупненного проектирования, разрабатывают полную документацию технологического процесса.

Применительно к проектированию механосборочных производств процедура укрупненного проектирования основана на использовании технико-экономических показателей, полученных на предприятии-аналоге. Последовательность расчетов этим методом и результирующие параметры приведены на рис. 1, где использованы обозначения:

$T_{шт}$ – суммарная станкоемкость изготовления изделия-аналога, мин/шт.;

$T_{0\ шт}$ – станкоемкость изготовления изделия проектируемого процесса;

$S_{пр}$ и $S_{пр\ i}$ – число единиц оборудования, общего и по типам, шт.;

$F_{пр}$ – размер производственной площади, м^2;

$K_{об}$ и $K_{зд}$ – капитальные затраты на оборудование и здание, руб.;

$T_{ф}$ – фактическая трудоемкость изготовления изделия, мин/шт.;

$R_{пр}$, $R_{в}$ – число производственных и вспомогательных рабочих, чел.;

ΣR_i – общее число остальных категорий работающих, чел.;

$F_{быт}$ – площадь бытовых помещений, м^2;

$З_{пр}$ – заработная плата производственных рабочих на 1 изделие, руб./шт.;

$\Sigma З_i$ – заработная плата остальных категорий работающих на 1 изделие, руб./шт.;

С – себестоимость изготовления детали, руб./шт.;

Э – экономический эффект, руб./год.

*По материалам 3-го междунар. науч.-техн. семинара "Современные технологии сборки", 17–18 октября 2013 г., Москва.

$$\begin{array}{ccccccccccccccc} T_{шт} & \to & T_{0_{шт}} & \to & S_{пр} & \to & S_{пр_i} & \to & F_{пр} & \to & K_{об} & \to & K_{зд} & \downarrow & \\ \downarrow & & & & & & & & & & & & & C & \to \; Э \\ t_ф & \to & R_{пр} & \to & R_в & \to & \Sigma R_i & \to & F_{быт} & \to & З_{пр} & \to & \Sigma З_i & \uparrow & \end{array}$$

Рис. 1. Алгоритм укрупненного метода расчета параметров механосборочных производств

Рассмотренный метод применяют при укрупненном проектировании крупных механосборочных производств. Применение метода для разработки технологических процессов изготовления конкретных изделий невозможно.

С этой точки зрения значительно больший интерес представляет метод проектирования технологических процессов в механообрабатывающих производствах, созданный Ф.С. Демьянюком [1].

Основой метода является классификация деталей, разработанная применительно к автотракторному производству (см. таблицу).

В таблице знаком "+" обозначены ячейки, в которых имеются соответствующие группы деталей. Таким образом, классификатор делит детали автотракторостроения на 21 группу, для каждой из которых предлагаются по три типовых технологических процесса, соответствующих условиям мелкосерийного, среднесерийного и массового производств.

Для корректирования типовых процессов в соответствии с требованиями вновь создаваемого производства каждую группу классификатора снабжают графиками нормативных кривых, характеризующих зависимости фактической трудоемкости изготовления изделия и концентрации операций на единице оборудования от заданной производительности. Пример графика нормативных кривых приведен на рис. 2.

Классификатор деталей автотракторостроения

Класс деталей	Размерная группа			
	Крупные	Средние	Небольшие	Мелкие
Корпусные	+	+	+	+
Круглые стержни (валы)	+	+	+	+
Полые цилиндры (втулки)	+	+	+	+
Диски	+	+	+	+
Некруглые стержни (рычаги)	+	+	+	+
Крепежные детали	–	–	–	+

Научная ценность данного метода проектирования не потеряла своего значения и в наше время, однако сами типовые технологические процессы и графики нормативных кривых требуют переработки с учетом современного уровня автомобильного производства.

Попытки применения приведенных методов к проектированию технологических процессов сборки оказались бесперспективными по следующим причинам:

- лежащий в основе укрупненного метода проектирования технико-экономический показатель "суммарная станкоемкость изготовления изделия" $T_{0\ шт.}$ не соответствует особенностям сборочного производства, в котором существенную долю занимает ручной труд;
- тип сборочного оборудования практически не связан с классификацией сборочных единиц автомобиля, что делает невозможным создание типовых сборочных процессов.

Отсутствие укрупненного метода проектирования сборочных технологических процессов требует для выбора оптимального решения разработки нескольких вариантов процессов детальным спосо-

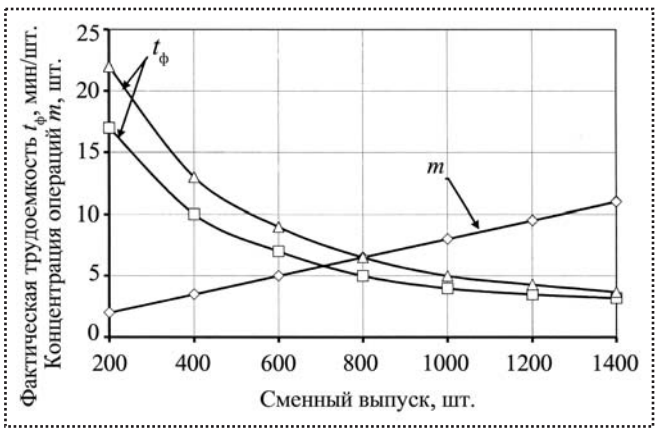


Рис. 2. Нормативные кривые корректировки технологических процессов

бом, что увеличивает сроки проектирования и стоимость проектных работ [2].

Представленные в этой статье результаты работы позволяют в значительной степени приблизиться к созданию укрупненного метода проектирования сборочных технологических процессов [3–5].

Особенность данной работы определяется двумя основными факторами:

• использованием принципиально нового метода проектирования технологических процессов и специализированного оборудования, в котором на предварительных этапах проектирования вместо традиционной процедуры разработки многочисленных дискретных вариантов технологических процессов используют непрерывные функции эффективности производства;

• созданием многопараметрической, многофакторной и многокритериальной имитационной модели механосборочного автомобильного производства, обеспечивающей в автоматическом режиме расчет и оптимизацию основных параметров технологических процессов и оборудования.

Этот новый подход к проектным работам, реализуемый на основе имитационной модели и программы расчетов, дает возможность:

• ***заказчику оборудования*** – без проектирования вариантов технологических процессов сборки изделий определить всю необходимую совокупность данных с оптимальными значениями параметров для разработки задания на поставку оборудования и далее, получив предложение станкостроительной фирмы, обоснованно принять решение об его корректировке еще до момента подписания контракта;

• ***станкостроительному предприятию*** – значительно сократить объем работ и затраты при разработке технических предложений для подготовки проектов контрактов на поставку оборудования.

В основе метода лежит использование имитационной модели, объединяющей основные технические и экономические параметры, входящие в задание на проектирование с выходными данными, характеризующими технологический процесс и специализированное оборудование.

Особенность предварительного этапа проектирования заключается в том, что здесь конкретные технические решения, обеспечивающие требуемое качество сборочных соединений, не рассматриваются. Это дает возможность при создании оптимизационной модели использовать метод выбора варианта технологического процесса и сборочного оборудования по двум критериям: экономическому эффекту и производительности оборудования.

В случаях, когда рассматриваемые технические предложения различаются только величинами составляющих затрат (единовременных и текущих), в качестве экономического критерия выбора оптимального решения используется их суммарный минимум

$$\min_j З_г^j , \qquad (1)$$

где $З_г$ – годовые суммарные затраты варианта технологического процесса, руб., j – индекс рассматриваемого варианта.

Годовые суммарные затраты можно представить в виде двух статей расходов – текущих $З_1$ и капитальных $З_2$:

$$З_г = З_1 + З_2 = С\,N + (k_р + Б_{кр})\,К , \qquad (2)$$

где С – себестоимость сборки изделия, руб./шт.;

N – заданная годовая программа выпуска, шт./год;

$K_р$ – коэффициент реновации;

$Б_{кр}$ – банковский кредит, в долях;

K – капитальные затраты на реализацию варианта процесса, руб.

Опуская большое число промежуточных этапов исследований, каждый из которых может являться предметом специального рассмотрения, приведем обобщенную формулу расчета суммарных затрат на сборку годового объема выпуска изделий:

$$З_г = (\delta+\beta)(1-K_{авт})\frac{a_1 - a_2 \ln K_д}{K_м^{\alpha_1}} K_{т.и}\, S_{мин}\, N + \\ + (k_р + Б_{кр})\frac{K_ф\, K_{об}}{K_м^{\alpha_3}\, K_д^{\alpha_4}}(a_3 + a_4 N)\, e^{\alpha_5 K_{авт} N^{\alpha_6}} . \qquad (3)$$

Формула (3) учитывает следующие факторы, частично преобразованные в коэффициенты: налог на заработную плату (δ), накладные расходы (β), уровень автоматизации ($K_{авт}$), число сборочных соединений ($K_д$), массу изделия ($K_м$), конструктивный тип изделия ($K_{т.и}$), заработную плату рабочих ($S_{мин}$), фирму-изготовитель оборудования ($K_ф$), тип оборудования ($K_{об}$).

Значения коэффициентов типа изделия разработаны применительно к большой номенклатуре сборочных единиц автомобилей и тракторов и помещены в базу данных имитационной модели.

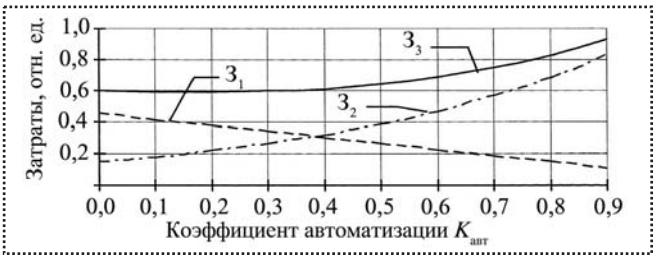


Рис. 3. Структура годовых относительных затрат в зависимости от коэффициента автоматизации процесса сборки

В базе данных также имеются и коэффициенты a_1–a_5 и α_1–α_6.

Рассмотрим подробнее некоторые этапы расчетов параметров технологического процесса и сборочного оборудования, выполняемых в модели в автоматическом режиме.

При заказе сборочного оборудования определение требуемого значения коэффициента автоматизации является наиболее важной и сложной задачей. Именно этот фактор оказывает решающее влияние практически на все основные технические и экономические параметры технологического процесса и сборочного оборудования.

Коэффициент автоматизации рассчитывают по формуле

$$K_{\text{авт}} = 1 - \frac{t_{\text{ф}i}}{t_{\text{р}}}, \qquad (4)$$

где $t_{\text{ф}i}$ – трудоемкость сборки i-го варианта процесса;

$t_{\text{р}}$ – трудоемкость "ручной" сборки изделия.

Оптимальное значение коэффициента автоматизации в модели определяют на основе анализа структуры годовых затрат, рассчитанных по формуле (3). В качестве примера на рис. 3 показаны структуры таких затрат, представленных в относительных величинах и рассчитанных в зависимости от коэффициента автоматизации.

Как видно из рис. 4, текущие издержки на сборку годового объема выпуска изделий $З_1$ с увеличением коэффициента автоматизации уменьшаются. Зависимость этих затрат от коэффициента автоматизации имеет линейный характер. Это объясняется тем, что с увеличением коэффициента автоматизации трудоемкость сборки уменьшается и, как следствие, сокращается численность производственных рабочих и затраты на заработную плату.

Затраты $З_2$ при увеличении коэффициента автоматизации монотонно возрастают, так как при этом увеличивается стоимость оборудования. Как показали проведенные исследования, эта зависимость подчиняется экспоненциальному закону.

Таким образом, годовые затраты $З_г$, получаемые в результате сложения двух зависимостей линейного и экспоненциального характеров, представляют кривую, имеющую одну точку экстремума – минимум. Естественно предположить, что значение коэффициента автоматизации, соответствующее минимуму затрат, является наиболее целесообразным для проектируемого технологического процесса и сборочного оборудования. Именно это значение коэффициента автоматизации обеспечивает получение максимального экономического эффекта.

Для расчета оптимального значения коэффициента автоматизации технологического процесса достаточно взять частную производную от функции затрат (3) по $K_{\text{авт}}$ и приравнять ее нулю:

$$[K_{\text{авт}}] = \frac{1}{a_5 N^{\alpha_6}} \times$$

$$\times \ln \frac{(\delta+\beta)\dfrac{a_1 - a_2 \ln K_{\text{д}}}{K_{\text{м}}^{\alpha_1}} K_{\text{т.и}} S_{\text{мин}} N}{(k_{\text{р}} + Б_{\text{кр}})\dfrac{K_{\text{ф}} K_{\text{об}} R^{\alpha_2}}{K_{\text{м}}^{\alpha_3} K_{\text{д}}^{\alpha_4}} (a_3 + a_4 N) a_5 N^{\alpha_6}} \Rightarrow \text{opt}. \qquad (5)$$

На основе полученного значения коэффициента автоматизации, обеспечивающего максимальный экономический эффект, рассчитываются основные параметры технологического процесса и сборочного оборудования, например, такие, как число "ручных" и автоматических позиций, производительность работы с учетом надежности, число рабочих и наладчиков, размеры транспортных устройств, стоимость оборудования и т.д.

Разработанный метод укрупненного расчета параметров технологического процесса и сборочного оборудования реализован в виде методики и компьютерной программы.

В перечень необходимых исходных данных входят сведения, полученные на основе анализа технологичности конструкции изделия, маршрута сборки, предполагаемого типа компоновки заказываемого оборудования и некоторые технико-экономические показатели производства заказчика. Подготовка исходных данных для программы расчета достаточно проста и может выполняться инженером средней квалификации.

Для заказчика полученные в результате расчета сведения вполне достаточны для составления обоснованного задания на проектирование технологи-

ческого процесса и сборочного оборудования, обеспечивающего заданную производительность работы и максимальный экономический эффект.

Библиографический список

1. **Демьянюк Ф.С.** Технологические основы поточно-автоматизированного производства. М.: Высшая школа, 1965. 690 с.

2. **Технология** автоматической сборки / Под ред. А.Г. Холодковой. М.: Машиностроение, 2010. 560 с.

3. **Ламин И.И.** Оптимизация параметров сборочного оборудования на основе имитационной модели автомобильного и тракторного производств // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2005. № 7. С. 3–7.

4. **Ламин И.И.** Оптимизация парка и параметров сборочного оборудования // Автомобильная промышленность. 2005. № 3. С. 8–10.

5. **Первухина Е.Л., Сопин П.К., Голикова В.В.** Оценка состояния машиностроительных изделий в ходе производственных испытаний после сборки // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2009. № 10. С. 3–9.

УДК 621.744.37

С.А. Микаева, *д-р техн. наук,* **А.С. Микаева**
(Московский государственный университет приборостроения и информатики)
E-mail: mikaeva@pechkin.npo.lit.ru

Автоматизированная сборка компактных люминесцентных ламп

Описан технологический процесс и операции изготовления компактной люминесцентной лампы. Предложен автоматизированный процесс сборки компактных люминесцентных ламп типа КЛ/ТБЦ. Приведены и описаны устройства для проведения технологических операций. Получены положительные результаты механических, фотометрических, колориметрических и электрических испытаний ламп с выбранным фторполимерным материалом Ф-32Л для использования его в качестве защитного пленочного покрытия разрядных источников света низкого давления.

The process and operations of manufacturing of compact fluorescent lamps was describes. An automated assembly process compact fluorescent lamps, type CL/TBC. Lists and describes the devices on manufacturing of technological operations. Positive results were obtained in mechanical, photometric and colorimetric and electrical tests lamps with the selected material F-32L for use as a protective film coating bit of light sources of low pressure.

Ключевые слова: сборка компактных люминесцентных ламп, технологический процесс, операция изготовления, защитное полимерное покрытие.

Keywords: assembly of compact fluorescent lamps, technological process, manufacturing operation, protective polymeric coating.

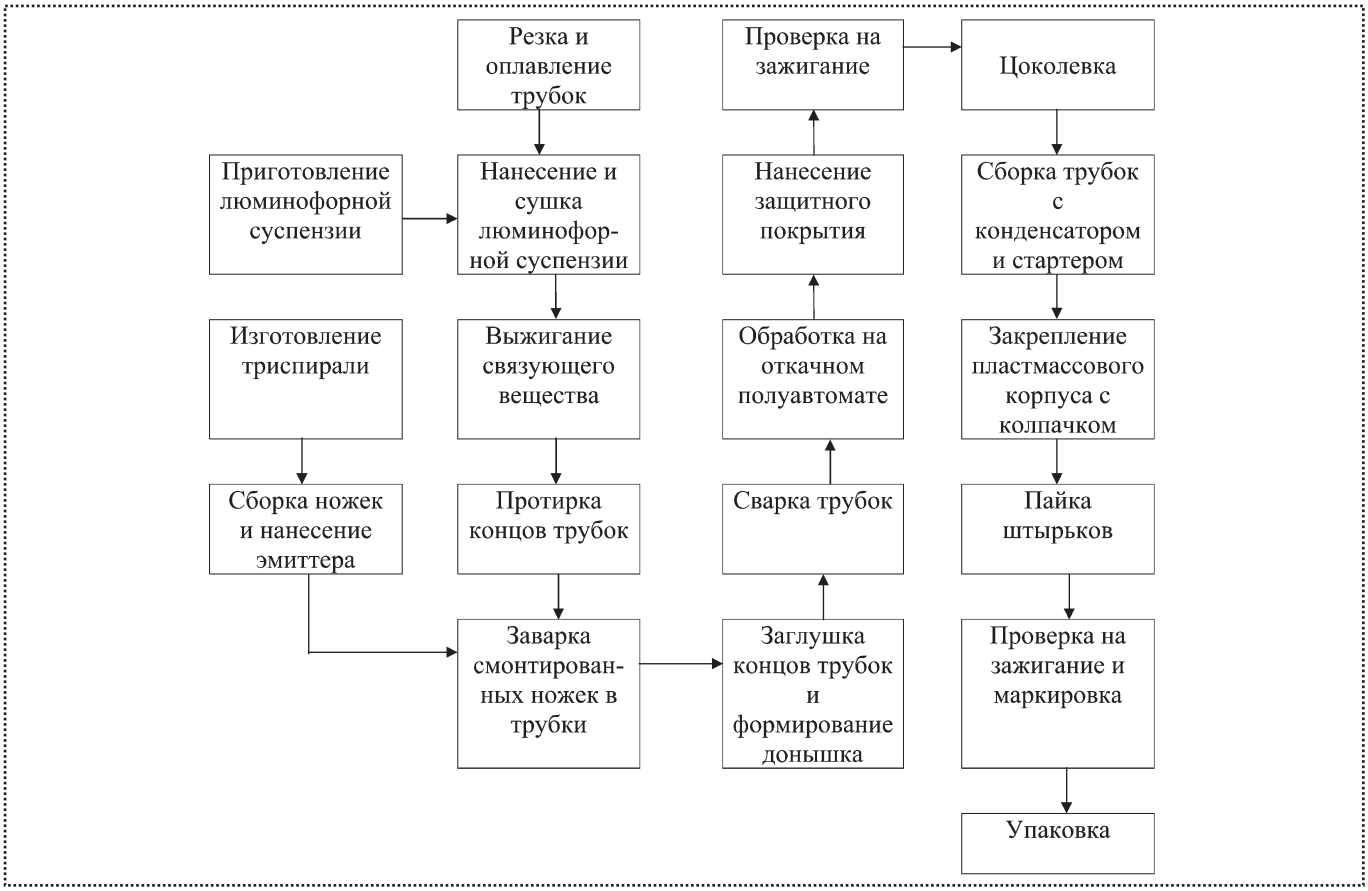
Качество продукции является важнейшим показателем, определяющим ее конкурентоспособность, особенно для предприятий приборостроения и производства источников света. Проблема оценки и измерения уровня качества продукции существовала и совершенствовалась параллельно с развитием производства и внедрениями инновационных технологий.

Для эффективности горения и дальнейшей работы компактных люминесцентных ламп (КЛЛ) важное значение имеет технология изготовления и сборка ламп, а также анализ технологических свойств и требований к основным материалам (металлам, газопоглотителям, припоям, люминофорам, стеклам, керамике, газам, эмиттерам, полупроводникам и др.), применяемым в производстве источников света.

Технологический процесс – это часть производственного процесса, представляющая собой совокупность целенаправленных действий по изменению и (или) определению состояния предмета труда.

Технологический маршрут – это последовательность прохождения заготовки или сборной единицы по цехам и производственным участкам предприятия при выполнении технологического процесса изготовления. Технологический процесс изготовления КЛЛ строится обычно по принципу внутрицеховых технологических маршрутов [1].

Автоматизированный процесс и этапы основных операций по сборке КЛЛ типа КЛ/ТБЦ приведены на рисунке.



Процесс сборки компактных люминесцентных ламп типа КЛ/ТБЦ

Компактная люминесцентная лампа низкого давления представляет собой стеклянную трубку-колбу, на внутреннюю поверхность которой нанесен люминофор. В оба конца трубки впаяны электроды. После откачки и обезгаживания лампу заполняют аргоном с добавлением небольшого количества ртути. В ртутной газоразрядной лампе низкого давления около 55 % поглощаемой энергии приходится на излучение резонансной линии 254 нм, 8,7 % – на ртутную линию 185 нм, и только 1,8 % составляет видимое излучение разряда. Нагревание лампы в случае разряда низкого давления незначительно. Люминофор служит для преобразования коротковолнового ультрафиолетового излучения ртутного разряда в длинноволновое ультрафиолетовое излучение или видимый свет.

В КЛЛ применяются смеси редкоземельных металлов (РЗМ) – люминофоров с узкополосным излучением в красной, синей и зеленой областях спектра. Использование этих люминофоров обусловлено жесткими условиями работы их в разрядных трубках диаметром 10...14 мм. Исключить или уменьшить количество РЗМ-люминофоров можно путем одновременного уменьшения или увеличения диаметра и длины трубки, что для сохранения компактности лампы требует использования многоканальной конструкции разрядной трубки и соответствующего увеличения числа соединений или изгибов прямолинейных участков. В результате этого резко возрастает трудоемкость изготовления ламп.

Триспираль изготавливают на машине спирализации Б.282-05. Затем на монтажно-оксидировочном полуавтомате для КЛЛ выполняют операцию сборки ножек и нанесения эмиттера на витки триспирали.

Следующая операция – заварка трубок (на полуавтомате заварки), на которую трубки поступают отожженными, протертыми и размеченными. Целью операции является заварка смонтированных ножек в трубки и снятие юбочки. Заваренные трубки сразу передают на следующую операцию – сварку трубок, в ходе которой заваренные трубки вручную загружают в два бункера подачи трубок на полуавтомат сварки.

Сваривают трубки на полуавтомате СТК-500, кладут их в тару и помещают в печь при температуре не выше 353 К (80 °С). Скорость охлаждения печи должна быть не более 30 град./мин. Затем

производится зачистка вводов, для чего вводы раскручивают и отгибают вниз, с помощью горелки отпаивают штенгель (при этом отпаянный штенгель не должен выступать над торцом трубки более чем на 4 мм). После чего с помощью пинцета вводы зачищают и лампу кладут в тару. Лампы с отпаянным штенгелем сразу же передают на операцию вакуумной обработки, которую выполняют на полуавтомате откачки. В ходе операции происходит откачка (насосом ВН-461М), которая сочетается с контролем лампы на натекание, обезгаживанием в печи, промывкой, и прокалкой катодов.

В заключение сборки КЛЛ следует автоматическая дозировка ртути. Лампу наполняют смесью газов (3...5 % Ne + 95...97 % Ar) и производят контрольное зажигание.

Одной из важнейших жизненных проблем является улучшение экологии окружающей среды. В последнее время проблема повышения экологичности разрядных источников света приобретает все большую актуальность. Особенно эта проблема обостряется для КЛЛ ввиду прогрессирующего их использования в освещении жилых помещений. Принцип действия люминесцентных ламп основан на возбуждении свечения люминофора газовым разрядом в среде инертного газа и паров ртути.

Пары ртути токсичные и оказывают вредное воздействие на здоровье людей (поражают внутренние органы, центральную нервную систему, обостряют хронические болезни и могут привести к тяжелым отравлениям и даже смерти людей). Предельно допустимая концентрация паров ртути в воздухе составляет 0,01 мг/м^3. Количество жидкой ртути, вводимой в люминесцентную лампу, в зависимости от ее типоразмера и точности дозировки колеблется от 30 до 120 мг. Следовательно, при механическом повреждении только одной лампы оказываются зараженными большие объемы воздуха, особенно если есть хорошие условия для испарения ртути и сильного воздухообмена.

Обеспечение гигиеничности особенно важно при эксплуатации КЛЛ в быту, общественных местах, а также на объектах с замкнутыми системами регенерации воздуха. При механическом разрушении КЛЛ на таких объектах и выпадении из нее ртути создаются опасные многочисленные мелкоочаговые "депо" ртути. Наиболее оптимальным решением проблемы защиты окружающей среды от заражения парами ртути при разрушении КЛЛ является нанесение на колбу лампы бесцветных эластичных пленок или термоусаживающихся трубок (гильз.) В этом случае капли ртути, осколки стекла и люминофорная пыль оказываются заключенными в герметичный чехол, образованный пленкой или трубкой за счет адгезии со стеклом колбы и цоколями.

Помимо экологической проблемы образованные на поверхности колб защитные пленки позволяют решить ряд технических проблем, связанных с трудностью зажигания ламп при пониженной температуре. Фторполимерные покрытия позволяют снизить напряжение перезажигания электрического разряда при работе ламп на переменном токе, улучшить стабильность работы ламп при повышенной влажности окружающей среды, уменьшить брак при транспортировке за счет повышения механической прочности ламп и т.д. В качестве защитных пленочных покрытий на колбы КЛЛ используют пленкообразующий материал – фторопласт типа Ф-32Л.

Откачанные лампы проходят тренировку на машине тренировки ТКЛ-400. Откачанные лампы должны зажигаться при напряжении 220 В. Заключительными операциями являются цоколевка, сборка трубок с конденсатором и стартером, закрепление пластмассового корпуса с колпачком, пайка штырьков.

В конце технологического процесса лампу проверяют на зажигание, маркируют и упаковывают.

Положительные результаты механических, фотометрических, колориметрических и электрических испытаний ламп подтвердили пригодность выбранного материала Ф-32Л для использования его в качестве защитного пленочного покрытия разрядных источников света низкого давления. В процессе проведения работы созданы экологически более безопасные КЛЛ. Нанесенная на их колбы полимерная пленка препятствует разбиению и разлетанию осколков стекла, капель ртути и люминофорной пыли при механическом повреждении колб и самих ламп. Это защищает окружающую среду от загрязнения ртутью, вредными компонентами люминофоров, битого стекла, а также упрощает процесс утилизации отработавших КЛЛ.

Приведенный автоматизированный процесс сборки КЛЛ используют для создания нового поколения люминесцентных и энергоэкономичных устройств с улучшенными световыми и электрическими характеристиками.

Библиографический список

1. **Микаева С.А.** Создание нового поколения люминесцентных устройств с улучшенными световыми характеристиками. М.: Научтехлитиздат, 2004. 210 с.

УДК 621.88.084

А.В. Щенятский, *д-р техн. наук,* **Е.С. Чухланцев**
(Ижевский государственный технический университет им. М.Т. Калашникова)
E-mail: opengl111@yandex.ru

Экспериментальная оценка нагрузочной способности поликонтактных неравножестких соединений с натягом

Экспериментально определена нагрузочная способность поликонтактных неравножестких соединений с натягом. Рассмотрены факторы, влияющие на величину нагрузочной способности этих соединений. Получена графическая зависимость величины нагрузочной способности от относительного положения деталей соединения.

In experimental studies bearing capacity multiple-connections with interference. The factors influencing the load capacity of this interference. Data on the size of the load capacity, depending on the relative position of parts interference.

Ключевые слова: соединение с натягом, нагрузочная способность, поликонтактное неравножесткое соединение с натягом.

Keywords: connections with tension, load capacity, multiple-connections with interference.

Две серии экспериментов позволяют оценить влияние конструктивных параметров на нагрузочную способность (сопротивление осевому сдвигу) поликонтактных неровножестких соединений с натягом (ПКНС). Прочность соединения в рамках натурного эксперимента определяют путем измерения силы при распрессовке в посадке *1* (рис. 1, внешняя деталь – промежуточная деталь) и в посадке *2* (промежуточная деталь – внутренняя деталь), а также вычислением контактных давлений. В заключение проводят сравнение данных вычислительного и натурного экспериментов по исследованию ПКНС.

В зависимости от схемы конструктивного исполнения ПКНС может быть собрано с натягом или по переходной посадке, при этом натяг изменяется от $N_{min} = 0$ (переходная посадка) до предельного значения N_{max}, ограниченного физико-механическими свойствами материала деталей.

Эксплуатация соединения в механизмах перекоса [6] требует поворота деталей по абсолютному и относительному значениям, изменяющимся в пределах 0...360° и более.

Для серии экспериментов по определению нагрузочной способности в зависимости от относительного положения сопрягаемых деталей соединения принято два варьируемых фактора: значения натягов зон посадок ПКНС и значения относительного поворота деталей соединения. Факторы регулировались минимальными и максимальными допустимыми значениями упругих деформаций для каждой из контактных зон. Такие параметры соединений, как длины деталей, диаметр внутренней детали, оставались детерминированными.

Математические методы планирования и статистическая обработка их результатов были использованы на всех этапах исследования для рацио-

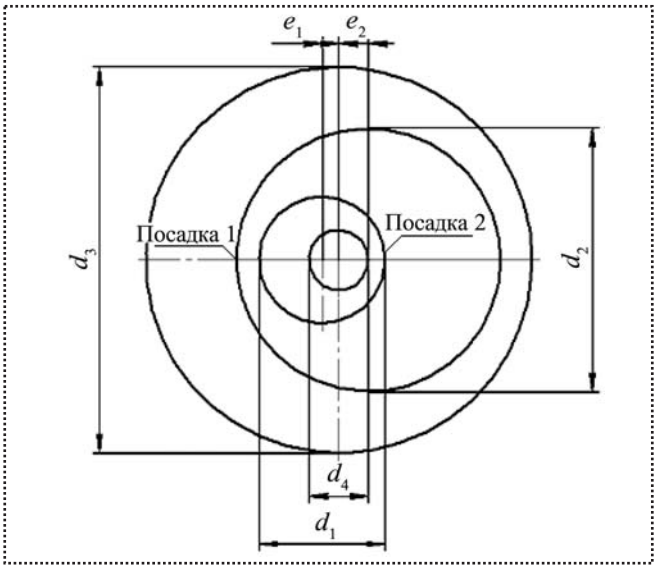


Рис. 1. Поликонтактное неравножесткое соединение с натягом:
d_1 – диаметр внутреннего эксцентрика (вала); d_2 – диаметр промежуточного эксцентрика (промежуточная втулка); d_3 – диаметр наружного эксцентрика (втулка); d_4 – диаметр отверстия внутреннего эксцентрика (втулки); $e_1 \neq e_2$ – эксцентриситет внутреннего и промежуточного эксцентриков

нальной организации эксперимента, сокращения времени и затрат.

Для получения представления о поверхности отклика факторов серий эксперимента запишем функцию в аналитическом виде. Контактное давление $P_к$ в первом приближении можно определить по формуле Ламе–Гадолина [7] и представить в виде

$$P_к = f(r_i, \theta_i, N_i, l_i), \quad (1)$$

где r_i – радиус деталей ПКНС в i-й момент времени работы соединения;

θ_i – угол относительного поворота сопрягаемых деталей;

N_i – значение натяга;

l_i – длина сопрягаемых деталей.

Величина и соотношения размеров образцов были приняты на основе анализа практики применения соединений с натягом в промышленности [1–5], а также с учетом требований, предъявляемых к ПКНС в процессе эксплуатации. С учетом диаметра длина внутренней детали принята на уровне 60 мм. Диаметр отверстия d_1 в детали *1* равен 20 мм и необходим для размещения технологической оснастки (приводов).

Для обеспечения жесткости детали *1*, ее внешний диаметр принимаем равным 60 мм, или $D_1 = 3d_1$. В соответствии с рекомендациями общего машиностроения длина посадки принимается $L = 0{,}9\,D_1$.

В соответствии с назначением и условиями применения, при обеспечении требуемых эксплуатационных характеристик соединения, детали изготавливают разной длины. Устанавливаемая на внутреннюю (деталь *1*) промежуточная деталь *2* имеет длину меньше на 8 мм, потому длина промежуточной детали принята на уровне 47 мм. Длина внешней детали *3*, устанавливаемой на промежуточную деталь, также имеет меньшую длину, принятую 30 мм.

Детали изготовлены из конструкционной стали 40 с последующей термообработкой – улучшением до твердости в пределах 280...320 НВ. Качество наружных поверхностей деталей для натурного эксперимента обеспечено на уровне высоты микронеровностей Rz = 0,4...0,8 мкм. Качество внутренних поверхностей деталей для натурного эксперимента не хуже, чем Rz = 2,6...2,8 мкм.

Исходя из условия отсутствия пластических деформаций в зоне контакта – $P_k \le [\sigma_т]$, а также в деталях соединения, предварительно определяли значение натяга по известной зависимости Ламе–Гадолина. Для минимальных натягов необходимо выполнение условия неподвижности соединения. Критерием выбора максимальных натягов явилось удовлетворение условию нахождения контактных напряжений в зоне упругости.

Расчетные значения натяга N_1 (внутренняя деталь – промежуточная деталь) варьируются нижним пределом в 4 мкм и верхним пределом в 25 мкм. Для N_2 (промежуточная деталь – внешняя деталь) эти значения 12 и 51 мкм. Образцы деталей для экспериментального исследования представлены на рис. 2 (на стр. 3 обл.).

Детали по разработанным эскизам были изготовлены совместно с отделом высоких технологий Ижевского государственного технического университета имени М.Т. Калашникова. В соответствии с ГОСТ 3328–95 детали выполнены с требуемыми твердостью, шероховатостью и точностью. Точность подбора натягов в цилиндрических соединениях обеспечивалась селективной подборкой в пределах допустимых отклонений.

Определение твердости образцов выполнено портативным твердомером TDM-3.

Выполнено измерение микрогеометрии (шероховатости и профилограммы) деталей. Измерение выполняли до сборки полисоединений на предмет удовлетворения требованиям эксперимента по шероховатости. С целью получения достоверной информации измерение шероховатости до сборки проводили дважды: в Институте механики Уральского отделения РАН на приборе для контроля шероховатости – профилометре цеховом 296 фирмы АСМА-прибор (рис. 3 на стр. 3 обл.). Измерение образцов производили щуповым методом с восемью точками трассирования при длине трассы 1,5 мм; стандарт измерения ISO.

В соответствии с теорией измерений были выполнены обмеры посадочных поверхностей деталей на 3D координатно-измерительной машине DuraMax фирмы Carl Zeiss.

Натурный эксперимент был проведен в следующей последовательности.

1. В нагревательной установке при температуре 300 °С в течение 8 мин нагревали комплект подготовленных образцов промежуточной детали соединения.

2. Установили внутреннюю деталь в отверстие нагретой промежуточной детали с необходимым базированием.

3. Собранное соединение выдержали не менее 120 мин.

4. В нагревательную установку поместили комплект подготовленных образцов внешней детали соединения и выдержали в течение 8 мин при температуре 300 °С.

5. Установили собранное ранее соединение внутренняя деталь – промежуточная деталь в отверстие нагретой внешней детали с необходимым базированием.

6. Собранное соединение выдержали в течение 120 мин.

7. Распрессовали детали соединения с учетом усилий распрессовки и соответствующих ему перемещений. Сначала из соединения впрессовали внешнюю деталь через специальное приспособление. Значение усилия распрессовки было зафиксировано, сигналы выведены на двухкоординатный самописец. По одной оси откладывалось значение силы, по другой оси – перемещение. По окончании сборки была построена диаграмма распрессовки.

8. Выпрессовали промежуточную деталь через специальное приспособление. Значение усилия распрессовки было фиксировано, сигналы выведены на двухкоординатный самописец. По одной оси откладывалось значение силы, по другой оси – перемещение. По окончании сборки была построена диаграмма распрессовки.

9. Все полученные в ходе эксперимента данные были документированы.

По данным натурного эксперимента построены зависимости нагрузочной способности F поликонтактного неравножесткого соединения от углов α и β относительного поворота деталей (рис. 4 на стр. 3 обл.).

Анализ полученных зависимостей показал, что наибольшей нагрузочной способности соответствует положение деталей, повернутых относительно друг друга на угол $\alpha = 0°$. В данном положении возникают наибольшие напряжения, равные $9{,}57 \cdot 10^7$ Н.

Наименьшая нагрузочная способность соответствует положению деталей, повернутых относительно друг друга на угол $\alpha = 180°$. В данном положении возникают наибольшие напряжения, равные $1{,}44 \cdot 10^8$ Н.

Зависимость нагрузочной способности от относительного положения деталей носит нелинейный характер. Представление данных зависимостей в виде функций для всего диапазона относительных положений деталей в различных сочетаниях позволяет также скорректировать внешние нагрузки таким образом, чтобы они не выходили за рамки предельных с одной стороны, и с другой, были достаточными для требуемых условий эксплуатации.

С точки зрения работы соединения с течением времени режимы нагружения ПКНС могут меняться. Следовательно, при использовании полученного ранее графика нагрузочной способности ПКНС в зависимости от выбранного угла относительных поворотов деталей можно выбирать оптимальные режимы нагружения соединения в процессе его дальнейшей эксплуатации, что позволяет, например, более точно назначить параметры проходки бурильной колонны.

Библиографический список

1. **Высоконапряженные** соединения с гарантированным натягом / И.В. Абрамов и др. Ижевск: Изд-во ИжГТУ, 2002. 300 с.

2. **Зенкевич О., Морган К.** Конечные элементы и аппроксимация. М.: Мир, 1986. 310 с.

3. **Новиков А.Ф.** Адаптивное управление процессом сборки продольно-прессовых соединений: дис. ... канд. техн. наук. Самара, 2002. 194 с.

4. **Щенятский А.В.** Напряженно-деформированное состояние и нагрузочная способность многослойных соединений с натягом: дис. ... канд. техн. наук. Ижевск, 1993. 171 с.

5. **Щенятский А.В.** Теория и технология гидропрессовых соединений с натягом: дис. ... д-ра техн. наук: Ижевск, 2003. 311 с.

6. **Патент РФ** на полезную модель № 111878. Управляемый механизм перекоса / Е.С. Чухланцев, А.В. Щенятский. 2011.

7. **Дарков А.В., Шпиро Г.С.** Сопротивление материалов. М.: Высшая школа, 1989. 623 с.

УДК 621.03 + 67.03

Г.М. Волков, *д-р техн. наук (Московский государственный машиностроительный университет)*
E-mail: recom@list.ru

Композиты для санации изношенного оборудования заготовительных производств в машиностроении

По результатам активного маркетинга 25 тысяч промышленных предприятий практически всех отраслей и регионов России был сделан вывод о том, что работоспособность технологических машин и оборудования инфраструктуры предприятий любого профиля может быть обеспечена использованием трех марок отечественных ремонтных композитов в следующем соотношении: Реком-Б – 85 %, Реком-И – 5 %, Реком РА-У – 10 %. Для ремонтно-восстановительных работ технических устройств электротехнического назначения рекомендация дополнена маркой Реком-ЭИ. Для восстановления огнеупорной изоляции тепловых агрегатов рекомендуется Реком-НП.

According to the results of active marketing 25 thousand industrial enterprises of all branches and regions of Russia concluded that the usefulness of technological machines and equipment can be provided using three brands of domestic repair composite in the following ratio: Recom-B – 85 %, Recom-W – 5 % and Recom RA-U – 10 %. For the repair work of technological devices for electrical purposes recommendation supplemented brand Recom-E1. To restore fire-resistant insulation thermal units recommended Recom-NP.

Ключевые слова: ремонтный композит, изношенное оборудование.

Keywords: repair composite, worn-out equipment.

Введение

Реновация изношенных или поврежденных металлических деталей техники традиционно выполняют преимущественно методами термической сварки и наплавки. В последнее время все чаще для восстановления техники используют ремонтные композиционные материалы (далее – Реком). Технологически они скомпонованы в двух упаковках, содержимое которых смешивают в определенном соотношении. После нанесения на ремонтируемую поверхность пастообразная смесь затвердевает. Процесс твердения не требует термического и механического воздействия. Свойства затвердевшей смеси зависят от свойств компонентов, использованных для создания конкретной марки Реком.

Реком состоят из полимерной матрицы, в которой равномерно распределены дисперсные частицы наполнителя. Полимерная матрица обеспечивает адгезию Реком к ремонтируемой поверхности, т.е. является клеевой основой композиционного материала.

Все марки Реком обладают хорошей адгезией практически ко всем металлическим и неметаллическим машиностроительным материалам конструкционного и функционального назначения. Наличие наполнителя придает Реком новые свойства, предопределяющие их технологические преимущества как перед термическими, так и перед клеевыми способами соединения деталей в ремонтно-восстановительных работах:

- отсутствие нагрева исключает вероятность возникновения термических напряжений и деформирования восстановленной детали. При термических способах ремонта трудно избежать данного дефекта работ, устранение которого сопряжено с дополнительными материальными и трудовыми затратами;
- технология не нарушает заданный термической обработкой уровень физико-механических свойств материала восстанавливаемой детали. Это исключает необходимость дополнительной термической обработки восстановленных деталей, обязательной после термических способов ремонта;
- оптимальная по физико-механическим свойствам толщина слоя Реком между сопрягаемыми деталями составляет 0,5...1,0 мм в отличие от необходимого минимальнейшего расстояния в случае клеевого соединения. Это позволяет соединять детали без их предварительной геометрической под-

гонки, что особенно сложно для деталей с криволинейными поверхностями сопряжения;

• Реком позволяют соединять металлические детали с неметаллическими (полимеры, керамика, дерево и др.);

• Реком обладают комплексом объемных свойств на уровне силуминов, чего в принципе не могут иметь клеи;

• в отличие от клеев Реком позволяют заполнять выработку деталей машин и оборудования глубиной 10 и более мм;

• из Реком может быть изготовлена целиковая деталь методами литья, пластического деформирования на определенной стадии затвердевания композита или путем механической обработки затвердевшего композита;

• технология Реком не использует какое-либо оборудование. Единственный инструмент непосредственного исполнителя работ – шпатель для формирования конфигурации сварного шва;

• технология не предъявляет практически никаких требований к квалификации непосредственного исполнителя работ.

Немаловажным условием выбора оптимальной технологии ремонтно-восстановительных работ в современных условиях является экологическая безопасность технологических процессов, поскольку обеспечение работоспособности изношенной инфраструктуры технической деятельности носит массовый характер и затрагивает практически всю территорию страны.

Термические методы экологически характеризуются интенсивным тепловым излучением в инфракрасной и ультрафиолетовой областях спектра, которое воздействует преимущественно на исполнителя данной технологии. Кроме того, термические процессы протекают с выделением вредных для здоровья химических элементов в виде пыли, паров и аэрозолей, которые воздействуют не только на непосредственного исполнителя ремонтных работ, но и загрязняют окружающую среду.

Предлагаемая технология исключает экологическое загрязнение окружающей среды, чем выгодно отличается от термических способов ремонтно-восстановительных работ. Экологическая безопасность обеспечена исключением из состава Реком органических растворителей и отсутствием выделений побочных продуктов молекулярного взаимодействия компонентов Реком в процессе затвердевания сварного шва. Все компоненты Реком без остатка участвуют в формировании прочного сварного шва.

Экономические преимущества технологии Реком также достойны внимания. Стоимость такого ремонта обходится в 5 раз ниже аналогичных работ, выполненных с использованием методов традиционной термической сварки. Затраты на приобретение расходных материалов и освоение несложной технологии Реком окупаются после первого ремонта.

Научные основы процесса и его технические преимущества рассмотрены в работе [1]. Для ремонтно-восстановительных работ предлагаемым методом доступен большой арсенал отечественных Реком, которые по техническим и технологическим характеристикам не уступают более дорогим зарубежным аналогам [2].

Отмеченные достоинства Реком находят практическое применение преимущественно в ремонтно-восстановительных работах машиностроительной продукции и технологического оборудования разнообразного назначения как на специализированных ремонтных предприятиях (Славянский судоремонтный завод, Новосибирский и Ростовский-на-Дону электровозоремонтные заводы), так и ремонтных подразделениях крупных машиностроительных (КамАЗ, Волгоградский Атоммаш, Первомайский завод химического машиностроения, Свердловский завод путевых машин), химических (Алтайский завод кровельных материалов), литейных (Мценский литейный завод) предприятий. Однако на всех этих и других предприятиях технологии Реком преимущественно используют для восстановления вышедшего из строя технологического оборудования основного производства и устранения дефектов машиностроительной продукции.

Такой перекос между потенциальными возможностями рассматриваемой технологии и уровнем потребления расходных материалов для ее осуществления в санации изношенного оборудования и инфраструктуры заготовительных производств можно объяснить только отсутствием доступной для потенциальных потребителей Реком информации. Большая загруженность текущей производственной деятельностью не позволяет инженерно-техническому персоналу заготовительных производств активно следить за используемыми в смежных отраслях промышленности современны-

ми технологиями ремонтно-восстановительных работ.

В данной работе предпринята попытка восполнить данный информационный вакуум путем анализа результатов нашего многолетнего сотрудничества с промышленностью в области технологии Реком.

Экспериментальная часть

С целью разработки оптимальной номенклатуры был проведен маркетинг производственного спроса промышленных предприятий на отечественные марки Реком.

Маркетинг проводился с 1993 г. по настоящее время и охватил 25 тыс. функционирующих предприятий всех регионов и отраслей производств, что является достаточно представительным объемом выборки генеральной совокупности и позволяет надеяться на объективность полученных результатов. Всем предприятиям была предоставлена информация о предлагаемой технологии и технико-экономических преимуществах отечественных марок Реком для ее осуществления.

Первичный отклик составил 4,6 % от объема выборки. С откликнувшимися предприятиями была проведена активная работа по выявлению сферы технико-экономически эффективного использования предлагаемой технологии.

Научно-техническая продукция была поставлена 39,4 % предприятий, откликнувшимся на первичную рассылку информационных сообщений. Поставка сопровождалась консультациями по организации ремонтно-восстановительных работ в производственных условиях данного предприятия и регламенту работ по ремонту конкретной детали. По виду ремонтных работ поставленная продукция была распределена следующим образом.

Поставка расходного материала универсального назначения марки Реком-Б (табл. 1) составляет 85,6 % от общего объема поставок. Рекомендуемые виды ремонтных работ сознательно указаны применительно к автомобильной технике, поскольку ни одно предприятие или учреждение не обходится без услуг автотранспорта, а многие сотрудники этих организаций имеют личные автомобили. Хотя с не меньшим успехом Реком-Б используют для ремонтов широкой номенклатуры машиностроительной продукции разнообразного назначения. Следующим по рангу распределения идет расходный материал марки Реком-И (5,6 %).

Таблица 1

Характеристики основных расходных материалов холодной молекулярной сварки

Характеристика	Реком-Б	Реком-И
Предел прочности при сдвиге по стыку со сталью, МПа	25	20
Предел прочности при сжатии, МПа	135	100
Температура эксплуатации, °С:		
рабочая	150	150
кратковременно	200	200
Коэффициент трения по стали	0,06	0,035
Время, ч:		
жизни смеси . .	1	1
полного набора прочности	24	24
Материал обрабатывающего инструмента	Углеродистая сталь	Твердый сплав
Ремонтируемые детали, поверхности (соединения)	Корпусные детали; радиаторы; бензобаки; кузова; косметический ремонт	Поверхности трения; подвижные посадки; разъемные соединения
Адгезия	Хорошее сцепление с сухой обезжиренной поверхностью всех черных (углеродистые и легированные стали и чугуны) и цветных металлов и сплавов (силумины, дюралюминий, латуни, бронзы и др.), большинства полимеров, а также практически всех других неметаллических материалов (стекло, керамика, дерево и др.).	

Отмеченные марки рекомендованы для обеспечения работоспособности автотранспорта, а также основного производственного оборудования и инфраструктуры промышленных предприятий любого профиля, т.е. для этих целей востребовано 91,2 % предложенной продукции. Оставшаяся часть поставок представлена Реком специального назначения (табл. 2), в которых усилена одна из эксплуатационных или технологических характеристик Реком универсального назначения. Реком специального назначения используют для решения специфических ремонтных задач (требующих химической стойкости, электроизоляционных свойств, абразивостойкости, адгезии к мокрой, ржавой или замасленной поверхностям и других свойств). Для ремонта электрооборудования представляет интерес марка Реком-ЭИ, в течение многих лет используемая Новосибирским электровозоремонтным заводом.

Новейшей разработкой является расходный материал нового поколения марки Реком РА-У, который не только заменяет большинство Реком специального назначения, но и может быть использован в качестве быстроотверждаемого ремкомплекта аварийного назначения, поскольку время отверждения смеси его компонентов не превышает 15 мин. Этот материал:

- позволяет выполнять аварийный ремонт в полевых условиях при любых плюсовых температурах, в туман, дождь, заменяя Реком-Б+;
- схватывается с мокрой поверхностью, заменяя Реком-В. Рекомендуется для аварийного ремонта инженерного оборудования систем тепло- и водоснабжения;
- схватывается с ржавой поверхностью металлов и сплавов, заменяя Реком-Р. Рекомендуется для аварийного ремонта прокорродированных труб и резервуаров;
- обладает повышенной стойкостью к химически активным средам, заменяя Реком-Х. Рекомендуется для аварийного ремонта деталей машин и оборудования химических производств;
- является электроизолятором, заменяя Реком-ЭИ. Рекомендуется для аварийного ремонта токонесущих деталей машин и оборудования;
- схватывается с поверхностью, загрязненной нефтью, маслом и другими нефтепродуктами. Рекомендуется для аварийного ремонта емкостей и трубопроводов нефти и нефтепродуктов.

Таблица 2

Расходные материалы специального назначения

Маркировка	Назначение
Реком-А	Для восстановления деталей, работающих в абразивной среде. Обрабатывается алмазным или боразоновым инструментом
Реком-Б+	Для ремонта в полевых условиях (любые плюсовые температуры, туман и дождь)
Реком-В	Для ремонта мокрых деталей инженерного оборудования систем тепло- и водоснабжения
Реком-Д	Обладает демпфирующими свойствами. Для восстановления деталей гидромашин, изнашиваемых в условиях кавитационной эрозии и ударного воздействия частиц суспензии
Реком-ИМ	Имеет повышенную твердость и низкий коэффициент трения. Обрабатывается твердосплавным инструментом. Для восстановления изнашиваемых контртелом поверхностей трения, в том числе для безразборного ремонта штоков гидроцилиндров
Реком-ПМ	Схватывается с поверхностью полимеров. Для ремонта стеклопластиковых и полиэтиленовых деталей, полиэтиленовой изоляции металлических трубопроводов
Реком-Р	Схватывается с сухой ржавой поверхностью. Для ремонта прокорродированных труб и резервуаров. Возможна упрочняющая пропитка любых пористых материалов для придания им герметичности и коррозионной стойкости
Реком-У	Допускает деформирование металлической подложки без нарушения адгезионной прочности покрытия. Для ремонта крупногабаритных металлических конструкций, испытывающих в процессе эксплуатации деформации
Реком-Х	Обладает повышенной стойкостью к химически активным средам. Для ремонта деталей машин и оборудования химических производств
Реком-Э	Имеет относительное удлинение до 400 %. Бензо-, кислото-, водостоек. Для обрезинивания металлических поверхностей и герметизации резервуаров
Реком-ЭИ	Обладает электроизоляционными свойствами. Для ремонта токонесущих деталей машин и оборудования

Аварийное разрушение огнеупорной изоляции тепловых агрегатов заготовительных производств нарушает производственный цикл машиностроительного предприятия. Заказ, изготовление, поставка и монтаж огнеупорной детали занимают много времени.

Для восстановления разрушенной огнеупорной детали используют марку Реком-НП [3]. Основой композита является мономер, который позволяет получать полимеры принципиально нового класса со следующими свойствами:

• химическая инертность в окислительных средах при нормальной и повышенных температурах. Рабочая температура до 2000 °С;

• низкая плотность. Реком-НП легче алюминия и его сплавов в 1,5 раза;

• затвердевание не требует последующей термической обработки;

• компоненты не токсичны, технология экологически безопасна.

Реком-НП скомпанован в двух упаковках. Смесь компонентов (порошок + наноразмерные добавки + жидкость) затвердевает в результате химической реакции при цеховой температуре.

Предлагаемый композит позволяет восстановить разрушенную огнеупорную деталь термического оборудования путем связывания измельченных до порошкообразного состояния остатков детали. Ремонт выполняется в цеховых условиях по месту расположения аварийного оборудования.

Выводы

1. Работоспособность изношенного оборудования и инфраструктуры предприятий любого профиля может быть обеспечена поставками трех марок ремонтных композитов отечественного производства в следующем соотношении: Реком-Б – 85 %, Реком-И – 5 %, Реком РА-У – 10 %.

2. Представленный производственный опыт смежных отраслей может быть полезным для практической деятельности специалистов, ремонтирующих или эксплуатирующих оборудование заготовительных производств машиностроительных предприятий.

Библиографический список

1. **Волков Г.М.** Особенности холодной молекулярной сварки как ключевой технологии реновации действующих машин и оборудования // Ремонт, восстановление, модернизация. 2002. № 8. С. 22–29.

2. **Волков Г.М.** Расходные материалы нового поколения для холодной молекулярной сварки // Конверсия в машиностроении. 1999. № 1. С. 49–52.

3. **Волков Г.М.** Жаростойкий полимер: тез. докл. конф. "Нанотехнологии – производству – 2008". г. Фрязино: Янус-К, 2008.

ООО "Издательство Машиностроение"
продолжает подписку на журнал

"СБОРКА В МАШИНОСТРОЕНИИ, ПРИБОРОСТРОЕНИИ"

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

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

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

31.08.1922

08.01.2014

С глубоким прискорбием сообщаем, что на 92-м году жизни скончался доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки и техники РСФСР Антон Михайлович ДАЛЬСКИЙ.

Научные достижения А.М. Дальского связаны с разработкой учения о технологической наследственности при изготовлении деталей и сборке машин, созданием перспективных технологических процессов механической обработки резанием в прецизионном машиностроении. Им опубликовано более 150 научных работ, в том числе семь монографий и пять учебников.

С 1970 по 1984 г. А.М. Дальский работал заведующим кафедрой "Технология металлов", а с 1984 по 1990 г. заведующим кафедрой "Технология механосборочного производства". Антон Михайлович Дальский подготовил 32 аспиранта, успешно защитивших кандидатские диссертации. Под его руководством выполнено более 40 научно-исследовательских работ для предприятий и институтов различных отраслей промышленности. Результаты большинства работ внедрены в производство. Являлся участником ВДНХ по шести выставочным работам (золотая и бронзовая медали). За выполнение научно-исследовательской работы в области высокоточных прецизионных шпинделей удостоен звания "Лауреат премии Совета министров СССР" (1984 г.). В 1981 г. удостоен почетного звания "Заслуженный деятель науки и техники РСФСР". В 1987 г. А.М. Дальский удостоен звания лауреата премии Совета Министров СССР в области науки и техники, а в 2002 г. – звания лауреата премии Правительства РФ в области образования.

В 1996 г. под руководством А.М. Дальского в МГТУ им. Н.Э. Баумана начала работу лаборатория технологической наследственности.

Профессор А.М. Дальский являлся председателем двух специализированных советов в МГТУ им. Н.Э. Баумана по присуждению степеней доктора и кандидата технических наук, членом Экспертного совета ВАК СССР, членом ряда ученых советов МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Редакция журнала выражает глубокие соболезнования
родным и близким ***Антона Михайловича.***

ООО "Издательство **Машиностроение**", 107076, Москва, Стромынский пер., 4
Учредитель ООО "Издательство **Машиностроение**".
Адрес электронной почты издательства: **mashpubl@mashin.ru**;
редакции журнала: **sborka@mashin.ru, http://www.mashin.ru**
Телефон редакции журнала: (499) 268-38-42; тел./факс (499) 268-85-26; факс 269-48-97.
Технический редактор *Жиркина С.А.* Корректоры *Сажина Л.И., Сонюшкина Л.Е.*
Сдано в набор 04.12.13 г. Подписано в печать 28.01.14 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.

К сведению авторов журнала

"СБОРКА В МАШИНОСТРОЕНИИ, ПРИБОРОСТРОЕНИИ"

В редакцию предоставляются:

1. Статья в электронном виде – файл (с расширением .doc, .docx) с набором текста (шрифт Times New Roman).

Объем статьи (текст статьи, рисунки, таблицы), предлагаемой к публикации, не должен превышать 15 страниц, набранных 12-м кеглем через полтора интервала.

Все страницы в статье должны быть пронумерованы.

2. Сведения об авторах:

- фамилии, имена и отчества авторов;
- ученая степень (если есть);
- место работы;
- контактный телефон, e-mail, почтовый адрес;
- страну (для иностранных авторов)

Названия учреждений, в которых выполнялись исследования, необходимо раскрывать полностью, указывать город.

3. Обязательно предоставлять на русском и английском языках:

- фамилии и инициалы авторов;
- название статьи;
- аннотацию к статье;
- ключевые слова

Требования к оформлению статьи

1. На первой странице указывать УДК (Индекс статьи по Универсальной десятичной классификации http://teacode.com/online/udc/).

2. Сведения о грантах необходимо давать ссылкой, обозначенной звездочкой (*), на первой странице.

3. Статья должна быть структурирована:

- *Введение,* содержащее реферативное изложение постановки задачи и возможного применения полученных результатов, актуальность рассматриваемой проблемы.
- *Основная часть* должна иметь несколько внутренних разделов и содержать формализованную постановку задачи и предлагаемый метод ее решения; отличие предлагаемой постановки задачи от уже известных; преимущество развиваемого метода по сравнению с существующими; содержать пример, подтверждающий работоспособность и эффективность предложенного решения.
- *Заключение,* содержащее обсуждение полученных результатов, рекомендации.

4. Формулы, буквенные обозначения (прописные и строчные, латинского (не готического) и греческого алфавитов), цифры, знаки и их расположение должны быть четкими и различимыми.

Для набора формул и буквенных обозначений следует использовать программу MathType или редактор формул Equation в офисном редакторе Microsoft Office Word.

5. После текста должен быть приведен библиографический список, составленный по порядку ссылок в тексте и оформленный по ГОСТ 7.0.5–2008. Ссылки на иностранную литературу следует писать на языке оригинала без сокращений. Количество литературных источников не должно превышать 10 наименований.

6. Иллюстрации представляются в виде отдельных файлов (с расширением .doc, .tiff, .pdf, .jpeg и разрешением 600 dpi), размер не должен превышать 186 мм.

Рисунок должен быть четким и иметь подрисуночную подпись. Подрисуночные подписи следует предоставлять отдельным списком в виде файла Microsoft Word.

Все статьи, поступающие в редакцию, проходят рецензирование.

В случае отклонения статьи редакционным советом журнала редакция оставляет за собой право сообщать автору о решении редакционного совета без предоставления рецензии.