

Д. т. н. И. Ш. НЕВЛЮДОВ, к. т. н. В. А. ПАЛАГИН,  
к. т. н. Е. А. РАЗУМОВ-ФРИЗЮК, к. т. н. И. В. ЖАРИКОВА

Украина, Харьковский национальный университет радиоэлектроники  
E-mail: iryna.zharikova@nure.ua

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ МНОГОЗОНДОВЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ТЕСТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ С ШАРИКОВЫМИ ВЫВОДАМИ

*В продолжение работ авторов по проектированию многозондового подключающего устройства для контроля изделий с матричными шариковыми выводами, представлены новые результаты исследований опытного образца устройства. Предложено изменить форму зонда для снижения трудоемкости проектирования МПУ. Разработана коммутационная плата с ZIP-разъемами для подключения МПУ к автоматизированному измерительному устройству.*

**Ключевые слова:** электронные компоненты, BGA, многозондовое подключающее устройство, тестирование, контактирование, гибкий шлейф, полиимид фольгированный.

Актуальным направлением совершенствования методов электрического контроля электронных компонентов является разработка многозондовых подключающих устройств (МПУ) [1, 2]. Такие устройства призваны решить проблему миниатюризации измерительного оборудования на приборостроительных предприятиях за счет новаторских конструктивно-технологических решений [3–5]. В частности, МПУ могут быть использованы для тестирования поверхностно-монтажных микросхем в корпусах BGA — микросхем с шариковыми выводами. Количество выводов таких компонентов постоянно увеличивается, что усложняет процесс их электрического контроля, повышая при этом стоимость устройств контроля [6].

Авторами разработаны МПУ, предназначенные для входного и функционального контроля электронных компонентов. Отличительной особенностью данных устройств является их исполнение в виде гибких многослойных шлейфов, изготовленных на основе фольгированного полиимиды. Предложенные конструктивно-технологические решения детально описаны в нескольких работах [7–11]. В данной статье представлены новые результаты, полученные при проектировании и изготовлении опытных образцов МПУ.

### Конструктивно-технологические особенности МПУ

Одним из преимуществ МПУ является специальная форма контактного зонда. В предыдущих наших работах описывались МПУ с зондами, расщепленными на четыре части [7–9, 11]. Они были запатентованы и предназначались для обеспечения возможности самомониторинга тестирующего устройства, а также для надежного

контактирования с шариковым выводом за счет достаточной площади контакта. Однако трудоемкость проектирования МПУ с такими зондами была большой за счет высокой сложности трассировки многослойного подключающего полиимидного шлейфа. Поэтому при разработке очередной топологии было принято решение перейти на новую форму зонда, состоящего из двух частей (рис. 1). Подобное расщепление зонда позволяет осуществить самотестирование системы контроля, поскольку сигнал на автоматизированном измерительном комплексе (АИК), куда подключается МПУ, будет регистрироваться только в том случае, если части зонда будут между собой соединены электрически — в момент контактирования с шариковым выводом микросхемы в корпусе BGA.

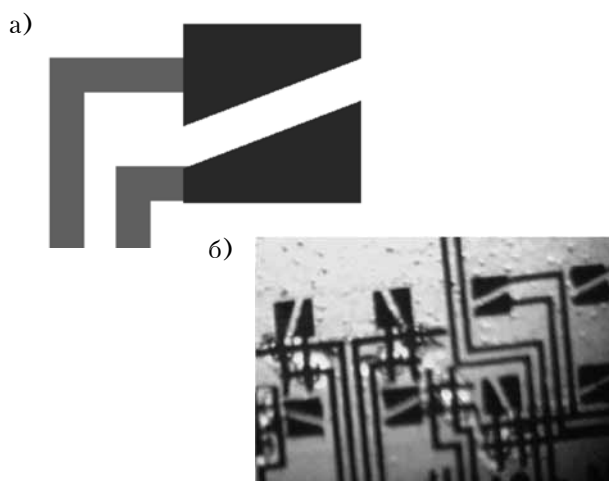


Рис. 1. Форма зонда (а) и фотография контактного поля (б) МПУ

Прижатие контактного поля с описанными зондами к объекту контроля осуществляется сжатым воздухом в специально спроектированном корпусе МПУ, что позволяет обеспечивать одинаковую силу прижатия всех зондов (0,03—0,3 Н на каждый контакт «зонд — шариковый вывод микросхемы») [7, 12]. Благодаря одинаковому контактному давлению в контактных парах количество ошибок во время контроля значительно снижается по сравнению с другими устройствами контроля с перемещаемыми контактами. Помимо этого, МПУ также обеспечивает отсутствие деформации шариковых выводов во время контактирования за счет использования плоской формы зондов вместо подпружиненных иголок, применяемых в конструкциях аналогичного назначения [6].

### Прижимающая пластина МПУ

Для реализации преимуществ МПУ немаловажную роль играет топология прижимающей пластины, представляющей собой многослойный гибкий шлейф на основе фольгированного полиимида.

Варианты топологии опытного образца прижимающей пластины разрабатывались под тестирование микросхем в корпусах FG-320 с количеством выводов, равным 320, и шагом их размещения 1 мм. Диаметр шарикового вывода — 600 мкм [13].

В качестве материала прижимающей пластины для нового опытного образца выбран фольгированный полиимид ФДИ-А-35 (толщина слоя полиимида 15 мкм и алюминия 20 мкм) [14], который характеризуется достаточной гибкостью и при этом стабильностью электрических характеристик. Трассировка выполнена проводниками шириной 70 мкм, минимальное расстояние между которыми также составляет 70 мкм (рис. 2).

Методы создания многослойных фольгированных шлейфов из полиимида широко применяются в микроэлектронике, в частности, технология создания многослойных коммутационных плат на основе односторонней лакофольгированной полиимидной пленки разработана в харьковском НИТИ Приборостроения. Изготовление гибких носителей производится с помощью метода двусторонней фотолитографии.

Для разработки прижимающей пластины с указанными параметрами достаточно двухслойной трассировки. В первом (верхнем) слое находятся зонды и часть проводников. Поскольку алюминий быстро окисляется, для предотвращения окисления и обеспечения надежного соединения при контактировании с шариковыми выводами объекта контроля зонды МПУ гальваническим способом покрываются никелем тол-

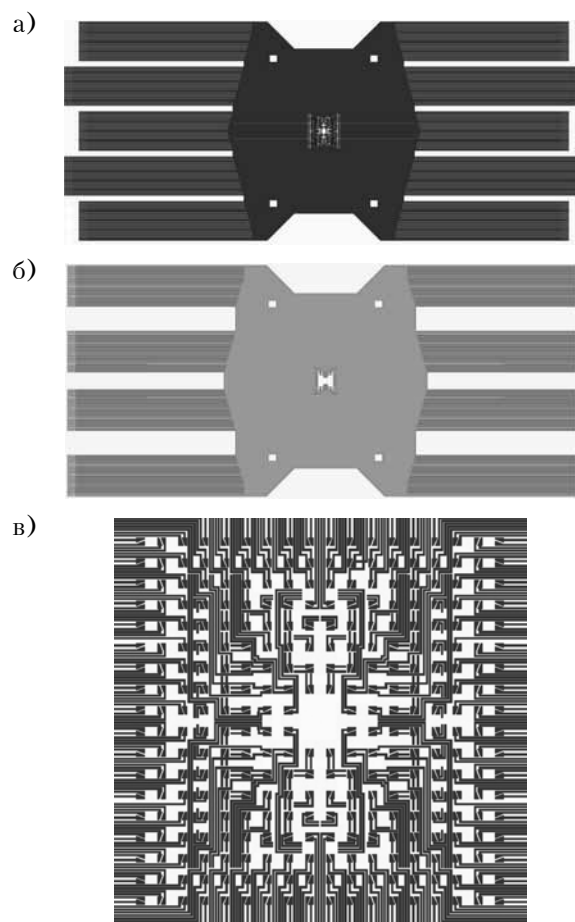


Рис. 2. Топология прижимающей пластины МПУ: а — первый слой; б — второй слой; в — контактные элементы

щиной 5—10 мкм. Второй слой используется для трассировки оставшейся части проводников. Межслойные соединения проводников осуществляются ультразвуковой сваркой через окна в изоляции размерами 200×200 мкм. Слои склеиваются полиимидным клеем.

Внешние концы прижимающей пластины МПУ армируются восемнадцатью 40-выводными ZIF-разъемами (шаг контактируемых проводников 500 мкм), необходимыми для подключения полиимидного шлейфа к АИК (рис. 3). Такое количество разъемов связано с тем, что от контактного поля МПУ к АИК идут 640 проводников (согласно конструкции зонда — по два от каждого из 320 контролируемых выводов микросхемы в корпусе FG-320). Эти проводники разведены на обе стороны подключающей пластины МПУ в двух слоях. Стоит отметить, что при разработке способа подключения МПУ к автоматизированному измерительному комплексу была разработана специальная коммутационная плата на жестком основании с установленными на ней 40-выводными ZIF-разъемами, предполагающая потенциальную возможность подключения

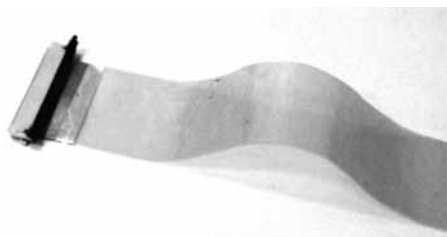


Рис. 3. Подключение шлейфа опытного образца к ZIF-разъему



Рис. 4. Коммутационный модуль

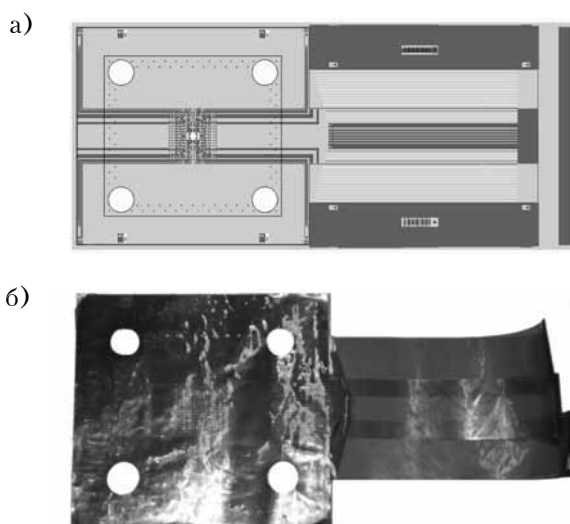


Рис. 5. Топология (а) и общий вид (б) опытного образца прижимающей пластины МПУ

МПУ к большому количеству выводов при контроле других электронных компонентов (рис. 4). Таким образом, общее количество проводников подключающей пластины МПУ равно 720, часть которых не несут информации, а служат для надежного механического соединения с имеющейся типовой оснасткой.

Разработанный шлейф имеет две оси симметрии, таким образом, проводниковая система и контактные элементы в каждой из четырех частей шлейфа повторяют друг друга. При этом наиболее дорогостоящей операцией при изготовлении подобных шлейфов является межслойная сварка. Поэтому при изготовлении опытного образца прижимающей пластины МПУ (рис. 5) с целью снижения его

себестоимости было принято решение отказаться от изготовления части шлейфов подключения к ZIF-разъемам и подключать к измерительному комплексу только четвертую часть проводников, чего вполне достаточно для проверки качества контактирования шариковых выводов контролируемой микросхемы с зондами МПУ.

#### Анализ качества контактирования зондов МПУ с шариковыми выводами

Важным требованием к МПУ является обеспечение необходимых электрических параметров: сопротивления проводников, паразитной емкости, временных и частотных характеристик.

Одной из основных проблем, возникающих во время контроля компонентов BGA, является получение стабильного переходного сопротивления в зоне контакта. Поэтому при оценивании эксплуатационной надежности подключающего устройства немаловажную роль играет исследование распределения сопротивления контактов [11, 15].

Нами было исследовано влияние давления в корпусе МПУ на величину переходного сопротивления в зоне контакта «шариковый вывод — полиимидный шлейф» [11].

Для измерения переходного сопротивления использовались макеты BGA-компонентов («dummies»), была вскрыта их крышка, что обеспечило доступ к контактам с двух сторон. Измерения проводились для разного числа подключаемых к МПУ выводов. К контактам постоянно были припаяны проводники.

Для проведения измерений был использован четырехзондовый метод, который позволяет исключить влияние сопротивления соединительных проводов вольтметра ввиду его большого входного сопротивления, а сопротивления соединительных проводов источника тока — путем подстройки нужной величины тока, обеспечивая устранение погрешностей измерений.

Суть эксперимента заключается в анализе изменения сопротивления в зависимости от изменения давления в контактной группе «шариковый вывод — полиимидная пленка». Для обеспечения необходимого давления использовались разновесы от 1 до 150 г.

На рис. 6, а представлены кривые, построенные по результатам шести измерений, для группы контролируемых выводов из двадцати контактов в целом, а на рис. 6, б — усредненные результаты полученных значений, исходя из расчета давления на каждый контактный элемент в отдельности.

Из полученных зависимостей следует, что при силе прижатия каждого контакта от 0,01 до 0,03 Н сопротивление в области контакта резко падает,

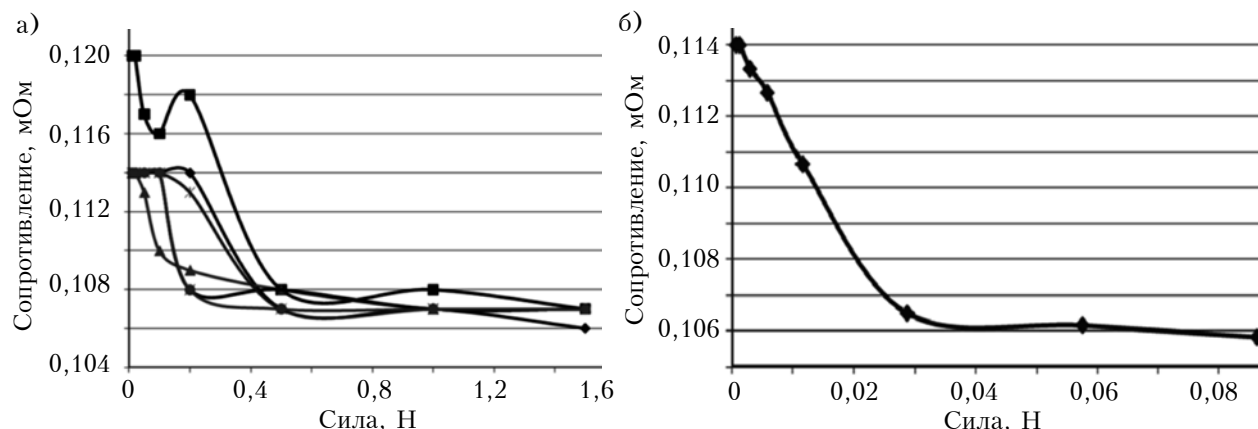


Рис. 6. Изменение величины переходного сопротивления в зависимости от давления в корпусе МПУ, построенные по результатам шести измерений (а), и усредненные результаты (б)

а в интервале от 0,03 до 0,09 Н — также продолжает падать, но уже достаточно медленно.

Проанализировав полученные результаты, а также требования стандарта [12] к величине контактного усилия при контроле электронных компонентов с использованием многозондовых подключающих устройств, можно сделать вывод, что в корпусе разработанного МПУ при прижатии подключающего шлейфа к BGA-компоненту сжатым воздухом значение силы, действующей на один шариковый вывод, должно составлять не менее 0,03 Н. При этом для контроля микросхемы в корпусе FG-320, площадь контактной зоны которой составляет около 400 мм<sup>2</sup>, минимальное давление в корпусе МПУ должно быть равным 0,024 МПа.

Важным параметром с точки зрения надежности контактирования зонда МПУ с контролируемым шариковым выводом является точность их совмещения. Исследование данного параметра проводилось авторами для зондов, разделен-

ных на четыре части [11]. Очевидно, что при переходе от такой контактной площадки к зонду, состоящему из двух частей, существенных изменений в работе МПУ наблюдаться не будет, поскольку в обоих случаях контакты изготовлены из одинаковых материалов, а размеры контактов отличаются незначительно.

Геометрическая модель смещения шарикового вывода относительно зонда МПУ показана на рис. 7.

Рассчитав значение приращения переходного сопротивления  $\Delta R$  в контактной группе относительно начальной величины сопротивления (при нулевом смещении), можно определить максимально возможные значения горизонтального смещения шарикового вывода относительно зонда МПУ вдоль оси X и углового смещения  $\alpha$  шарикового вывода относительно зонда МПУ вдоль оси Y, при которых будет сохраняться стабильный электрический контакт. Таким образом, максимально допустимое значение приращения переходного сопротивления  $\Delta R_{гр}$  в области контакта будет составлять около 0,001 Ом [11]. Как уже отмечалось, данные, полученные для зонда, расщепленного на четыре части, отображают также реальный диапазон величин переходного сопротивления при контактировании с контролируемым выводом микросхемы с использованием предложенного МПУ с новой формой зонда.

### Заключение

Таким образом, благодаря предложенной новой форме зонда МПУ для контроля микросхем с шариковыми выводами удалось упростить топологию прижимающей пластины.

Разработанная коммутационная плата с ZIF-разъемами позволяет реализовать подключение МПУ к автоматизированному измерительному

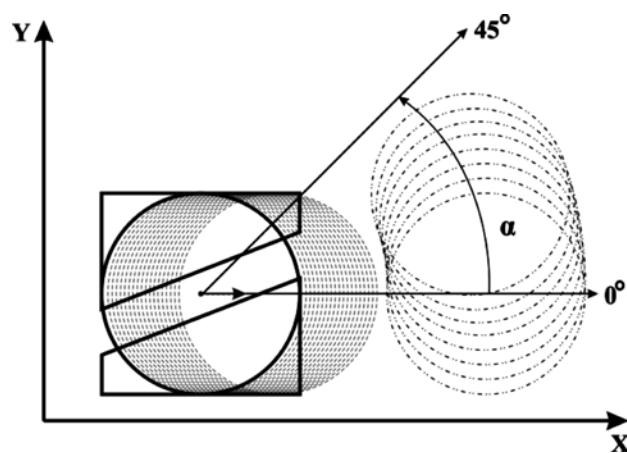


Рис. 7. Смещение вывода микросхемы относительно зонда МПУ

комплексу, забезпечиваючи також можливість застосування МПУ в майбутньому для тестування інших електронних компонентів з великою кількістю виводів.

Отримані в ході експериментальних досліджень і моделювання результати обґрунтовують основні вимоги до МПУ, які необхідно виконувати при його підключенні до об'єкта контролю.

#### ВІКОРИСТАНІ ІСТОЧНИКИ

1. Семенец В. В., Кратц Дж., Невлюдов І. Ш., Палагін В. А. Технологія між'єднань електронної апаратури: Учеб. для вузів. — Харків: СМІТ, 2005.
2. Невлюдов І. Ш., Андрусеви́ч А. А., Палагін В. А. Мікроелектромеханічні системи і нанотехнології. — Харків: Колле́гіум, 2007.
3. Пат. 95190 України. Мікроелектромеханічний багатозондовий підмикальний пристрій / В. Н. Борщов та ін. — 2011. — Бюл. № 13.
4. Пат. 97538 України. Мікроелектромеханічний багатозондовий контактний пристрій / В. Н. Борщов та ін. — 2012. — Бюл. № 18.
5. Пат. 98539 України. МЕМС-інтерфейс багатоточкових автоматичних контролюючих комплексів / І. В. Жарікова та ін. — 2012. — Бюл. № 10.
6. Чин-Май Ко, Минг-Кун Чень, Ю-Цзунг Хуанг, Шень-Ли Фу. Надійність тестування BGA-компонентів // Технології в електронній промисловості. — 2009. — № 4. — С. 38–42.
7. Невлюдов І. Ш., Палагін В. А., Разумов-Фризюк Е. А. і др. Підключаюче МЭМС-устройство для контролю BGA-компонентів // Технологія і конструювання в електронній апаратурі. — 2012. — № 1. — С. 54–56.

8. Nevliudov I. Sh., Palagin V. A., Razumov-Frizjuk E. A., Zharikova I. V. MEMS intellect multiprobes contacting devices for electrical checking-up of multilayers commutative boards and BGA/CSP electronic components // Proc. of IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2012). — Ukraine, Kharkov. — 2013. — P. 483–485.

9. Невлюдов І. Ш., Палагін В. А., Разумов-Фризюк Е. А. і др. Топологія гнучкого шлейфа для підключення до автоматизованих вимірних комплексів мікросхем корпусу FG-320 // Технологія приборостроєння. — 2012. — № 1. — С. 21–25.

10. Жарікова І. В., Курапов С. В., Невлюдов І. Ш. і др. Трасировка підключаючої пластини багатозондового пристрою контролю BGA-компонентів // Вісник Запорізького національного університету. Фізико-математичні науки. — 2013. — № 2. — С. 28–36.

11. Жарікова І. В. Багатозондові підмикальні пристрої для електричного контролю виробів електронної техніки / Автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Харк. нац. ун-т радіоелектроніки. — 2013.

12. ОСТ 1114.1011-99. Мікросхеми інтегральні. Система і методи статистичного контролю і регулювання технологічного процесу. — Москва: ЦНІИ 22, 1999.

13. Fine Pitch BGA (FG320/ FG320) Package // Xilinx, Inc. — PK071 (v1.2.1). — 2005.

14. ТУ 11-83 БУО.037.108 ТУ «ФДІ-А».

15. Lumbantobing A., Kogut L., Komvopoulos K. Electrical Contact Resistance as a Diagnostic Tool for MEMS Contact Interfaces // Journal of Microelectromechanical Systems. — 2004. — Vol. 13, iss. 6. — P. 977–987. — <http://dx.doi.org/10.1109/JMEMS.2004.838388>

Дата отримання рукопису  
в редакцію 09.02 2016 г.

І. Ш. НЕВЛЮДОВ, В. А. ПАЛАГІН, Є. А. РАЗУМОВ-ФРИЗЮК, І. В. ЖАРІКОВА

Україна, Харківський національний університет радіоелектроніки  
E-mail: iryna.zharikova@nure.ua

## ПРОЕКТУВАННЯ БАГАТОЗОНДОВИХ ПРИСТРОЇВ ДЛЯ ТЕСТУВАННЯ ЕЛЕКТРОННИХ КОМПОНЕНТІВ З КУЛЬКОВИМИ ВИВОДАМИ

*В продовження робіт авторів з проектування багатозондового підмикального пристрою (БПП) для контролю виробів з матричними кульковими виводами, представлено нові результати досліджень експериментального зразка пристрою. Запропоновано змінити форму зонда для зниження трудомісткості проектування БПП. Розроблено комутаційну плату з ZIF-роз'ємами для підключення БПП до автоматизованого вимірювального пристрою.*

**Ключові слова:** електронні компоненти, BGA, багатозондовий підмикальний пристрій, тестування, конструювання, гнучкий шлейф, полімід.

DOI: 10.15222/TKEA2016.2-3.15  
UDC 621.317

I. Sh. NEVLYUDOV, V. A. PALAGIN,  
E. A. RAZUMOV-FRIZYUK, I. V. ZHARIKOVA

Ukraine, Kharkiv National University of Radio Electronics  
E-mail: iryna.zharikova@nure.ua

## DESIGN OF MULTIPROBE DEVICES FOR ELECTRONIC COMPONENTS WITH BALL LEADS TESTING

*In the article design and technological features of multiprobe connecting device for testing the electronic components with matrix ball leads are described and substantiated. Such test fixture has probes made as two separated flatcontact lands that can be used for testing BGA/CSP components or microelectromechanical devices. Only in case, when two parts of probe contact lands are pressed to according lead of electronic component, electrical circuit between them closes. This fact confirms presence of contact between testing fixture probe and tested lead of BGA device and can be considered as way of testing reliability increasing. Due to the proposed new form of contact probe for electronic component testing it became possible to simplify the topology of connecting circuit board.*

*Developed commutative board with ZIF connectors allows realizing multiprobe device connection to automated measuring systems, providing also the possibility of its future application to test other electronic components with more leads. Also the results of experimental and modeling research of developed device prototype are presented and explained. Obtained results substantiate the basic requirements for the multiprobe connecting device that should be observed during its contacting to the unit under test.*

*Designed test fixture is more simple and cheap in comparison with its analogues. Also developed method of testing effectively provides the necessary contact pressure between test fixture and unit under test without hazard of its deformation which can appear in similar devices.*

**Keywords:** electronic components, BGA, multiprobe connecting device, testing, contacting, flexible PCB, polyimide.

### REFERENCES

1. Semenets V. V., Kratts Dzh., Nevlyudov I. Sh., Palagin V. A. *Tekhnologiya mezhsoedinenii elektronnoi apparatury. Ucheb. dlya vuzov* [Interconnection technology of electronic devices]. Kharkov, SMIT, 2005, 432 p. (Rus)
2. Nevlyudov I. Sh., Andrushevich A. A., Palagin V. A. *Mikroelektromekhanicheskie sistemy i nanotekhnologii* [Microelectromechanical systems and nanotechnologies]. Kharkov, Collegium, 2007, 268 p. (Rus)
3. Borshchov V. N. et al. [Microelectromechanical multiprobes connecting device]. Patent UA no. 95190, 2011. (Ukr)
4. Borshchov V. N. et al. [Microelectromechanical multiprobes contact device]. Patent UA no. 97538, 2011. (Ukr)
5. Zharikova I. V. et al. [MEMS-interface of multipoint automatic testing equipment]. Patent UA no. 98539, 2012.
6. Ching-Mai Ko, Ming-Kun Chen, Yu-Jung Huang, Shen-Li Fu. [BGA-components testing reliability]. *Tekhnologii v elektronnoi promyshlennosti*, 2009, no. 4, pp. 38-42. (Rus)
7. Nevlyudov I. Sh., Martynyak R. M., Palagin V. A., Slobodyan B. S., Razumov-Frizyuk E. A., Zharikova I. V., Dmytriv M. I., Belyaev A. S. [Connecting MEMS device for BGA components functional testing]. *Tekhnologiya i Konstruirovaniye v Elektronnoi Apparature*, 2012, no. 1, pp. 54-56. (Rus)
8. Nevlyudov I. Sh., Palagin V. A., Razumov-Frizyuk E. A., Zharikova I. V. MEMS intellect multiprobes contacting devices for electrical checking-up of multilayers commutative boards and BGA/CSP electronic components. *Proc. of IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2012)*. Ukraine, Kharkov, 2013, pp. 483-485.
9. Nevlyudov I. Sh., Palagin V. A., Razumov-Frizyuk E. A., Zharikova I. V., Borshchov V. N. [Flexible PCB topology for chip package FG-320 connection to automated measuring complexes]. *Tekhnologia Priborostroenia*, 2012, no. 1, pp. 21-25. (Rus)
10. Zharikova I. V., Kurapov S. V., Nevlyudov I. S., Palagin V. A., Razumov-Frizyuk E. A., Chechenia V. S. [Tracing of connecting plate of multiprobe device of control of BGA-components]. *Visnyk of Zaporizhzhya National University. Physical and mathematical Sciences*, 2013, no. 2, pp. 28-36. (Rus)
11. Zharikova I. V. *Bagatozondovi pidmikal'ni pristroyi dlya elektrichnogo kontrolyu virobiv elektronnoyi tekhniki. Avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk.* [The multiprobes connecting devices for electrical testing of electronic devices. PhD diss.]. Kharkiv, 2013, 22 p. (Ukr)
12. Standard 1114.1011-99 [Microcircuits integrated. The system and methods of statistical control and process control]. Moscow, TzNII 22, 1999, 78 p.
13. Fine Pitch BGA (FG320/ FGG320) Package. Xilinx, Inc., PK071 (v1.2.1), 2005.
14. Tekhnicheskie usloviya 11-83 BYO.037.108 TY «ФДИ-А».
15. Lumbantobing A., Kogut L., Komvopoulos K. Electrical contact resistance as a diagnostic tool for MEMS contact interfaces. *Journal of Microelectromechanical Systems*, 2004, vol. 13, iss. 6, pp. 977-987. <http://dx.doi.org/10.1109/JMEMS.2004.838388>