

УДК 621.315.592

## МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИЙ КОРПУС ТО-254 ДЛЯ ИЗДЕЛИЙ СИЛОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ С РАБОЧИМ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 2200 В И ТОКОМ ДО 50 А

**Е.М. Савченко<sup>1,2,3</sup>, В.А. Сидоров<sup>1</sup>, А.Г. Чупрунов<sup>1</sup>, И.А. Биларус<sup>1</sup>**

1 – АО «НПП «Пульсар», 105187, г. Москва, Окружной проезд, д. 27;

2 – ФГБОУ ВО РТУ МИРЭА, 119454, г. Москва, проспект Вернадского, д. 78.

3 – АО «ГЗ «Пульсар», 105187, Москва, Окружной проезд, д.27

Представлена конструкция герметичного металлокерамического корпуса типа ТО-254, являющегося аналогом металлостеклянного корпуса. Корпус может быть использован для многокристальных сборок на основе эпитаксиальных структур кремния и карбида кремния, а также для управляемых ключей на нитриде галлия с максимальным рабочим напряжением до 2200 В и током до 50 А.

**Ключевые слова:** металлопластмассовый корпус, металлокерамический корпус, металлостеклянный корпус, медный вывод, керамический изолятор, алюминитридная керамика

**Сведения об авторах:** Савченко Евгений Матвеевич, к.т.н., savchenko@pulsarnpp.ru; Сидоров Владимир Алексеевич, к.т.н., vlsidorov@pulsarnpp.ru; Чупрунов Алексей Геннадиевич, chuprunov\_ag @pulsarnpp.ru; Биларус Илья Александрович, bilarus\_ia@pulsarnpp.ru

## METAL-CERAMIC TO-254 CASE FOR 2200 W 50 A POWER ELECTRONIC DEVICES

**E.M. Savchenko<sup>1,2,3</sup>, V.A. Sidorov<sup>1</sup>, A.G. Chuprunov<sup>1</sup>, I.A. Bilarus<sup>1</sup>**

1 – S&PE Pulsar JSC, 105187, Moscow, Okruzhnoy pr., 27;

2 – FSBEI HE RTU MIREA, 119454, Moscow, Vernadsky ave., 78;

3 – GZ Pulsar JSC, 105187, Moscow, Okruzhnoy pr., 27

Structure of sealed metal-ceramic TO-254 case, which is similar to the metal-glass case, is described in this paper. This case is suitable for multi-die assemblies based on epitaxial silicon and silicon carbide structures, and for controlled gallium nitride switches with operating voltages up to 2200 V and current up to 50 A.

**Keywords:** metal-plastic case, metal-ceramic case, metal-glass case, copper wire, ceramic isolator, AlN-ceramics

**Authors:** Savchenko Evgeny Matveevich, Candidate of Engineering Sciences, savchenko@pulsarnpp.ru; Sidorov Vladimir Alekseevich, Candidate of Engineering Sciences, vlsidorov@pulsarnpp.ru; Chuprunov Aleksey Gennadievich, chuprunov\_ag @pulsarnpp.ru; Bilarus Ilya Aleksandrovich, bilarus\_ia@pulsarnpp.ru

### Введение

Инновации в силовой электронике связаны, в первую очередь, с внедрением новых широкозонных материалов, применение которых позволяет создавать силовые ключи с принципиально новыми свойствами. Использование карбида кремния (SiC) даёт возможность существенно снизить уровень рассеиваемой мощности и расширить температурный диапазон. Традиционные кремниевые диоды с мягкой характеристикой выключения с успехом могут быть вытеснены SiC-диодами с барьером Шоттки. Одним из

главных преимуществ компонентов на основе карбида кремния является высокая теплопроводность, которая в три раза выше, чем у кремниевых аналогов [1].

Ниже на примере корпуса типа ТО-254-8 показана возможность реализации корпусов типа ТО в металлокерамическом исполнении.

### Выбор конструктивного исполнения металлокерамического корпуса ТО-254-8

Разработка металлокерамического корпуса ТО-254 для многокристальных сборок на основе эпитаксиальных структур кремния и карбида кремния, а также для управляе-

мых ключей на нитриде галлия направлена на обеспечение максимального соответствия основных габаритных размеров металлостеклянному корпусу, один из вариантов которого [2] представлен на рисунке 1.

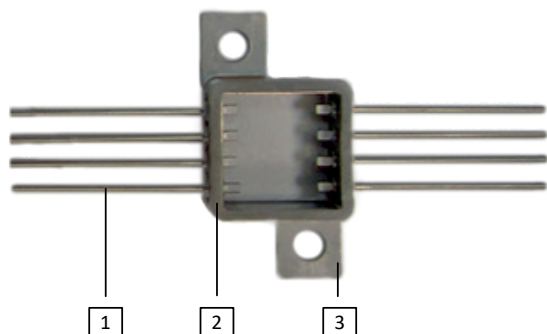


Рис. 1

### Металлостеклянный корпус TO-254-8

Корпус выполнен в металлостеклянном исполнении.

Основой конструкции корпуса является фланец 3 с припаянной металлической рамкой 2 с вводами 1. Выводы корпуса выполнены из сплава 29НК, имеющего высокое удельное сопротивление (в 30 раз выше, чем у меди), что существенно ограничивает величину пропускаемого через них тока. Например, в металлостеклянном корпусе КТ-107-1.04 (АО «Завод «Марс»), приближенном по общему конструктивному исполнению к корпусу TO-254, выпускается силовой интегральный ключ в монолитном исполнении 1358KT4T (функциональный аналог BTS941 Infineon Technologies) с номинальным током нагрузки 12 А.

Максимально допустимый ток транзистора 2Т935Б (ОАО «ФЗМТ») в металлостеклянном корпусе в импульсном режиме 30 А. Следует отметить, что длительность импульса при этом ограничена температурой нагрева участка вывода внутри стеклянного изолятора. При большой длительности импульса эта температура может достигать 100°С и более, что может привести к появлению трещин в стекле и нарушению герметичности прибора из-за чрезвычайно большого количества достаточно жёсткого циклического изменения температур.

На рис. 2 представлен корпус TO-254-8 выполненный в металлокерамическом исполнении. Отличительной особенностью данной конструкции от металлостеклянного исполнения является наличие керамического изо-

лятора и выводов из бескислородной меди, обеспечивающих низкое удельное сопротивление. Материалом теплоотводящего фланца могут быть псевдосплавы молибден-медь или вольфрам-медь, имеющие близкое значение коэффициента теплового линейного расширения (КТЛР) с КТЛР керамики. Одним из основных конструктивных элементов корпуса может быть теплоотводящая плата из алюмонитридной керамики, металлизированная пастой на основе тугоплавких металлов [3, 4, 5].

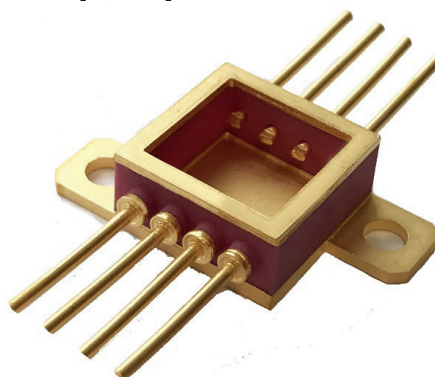


Рис. 2

### Металлокерамический корпус TO-254-8

Металлокерамический корпус в отличие от металлостеклянного имеет не только существенно меньшее электрическое сопротивление выводов, но и потенциально более стоек к циклическому изменению температур.

В табл. 1 приведены сравнительные характеристики металлокерамического и металлостеклянного корпусов по функциональным параметрам.

Таблица 1

#### Сравнительные характеристики металлокерамического и металлостеклянного корпусов по функциональным параметрам.

Конструкция корпуса типа TO-254	Сопротивление выводов на длине 5 мм, мОм	I макс. непрерывный, А	I макс. импульсный, А
Металлокерамическая	0,1	50	>150
Металлостеклянная	3,0	10	30

Для того, чтобы иметь экономичный в тепловом отношении корпус, необходимо минимизировать его тепловое сопротивление следующими мерами:

1. Максимальная площадь фланца.
2. Максимальная теплопроводность материала фланца.
3. Плоскостность опорной поверхности для наилучшей передачи тепла теплоотводу из бескислородной меди.

#### **Технологический процесс изготовления металлокерамических корпусов на примере корпуса ТО-254-8**

Освоение производства металлокерамических корпусов типа ТО можно проводить, используя традиционные технологические процессы изготовления керамических изоляторов посредством литья заготовок из шликера с последующим удалением связующего вещества, высокотемпературным обжигом и металлизацией пастами на основе тугоплавких металлов.

При изготовлении металлических деталей корпуса также применимы традиционные процессы штамповки и химических покрытий. Сборка корпуса проводится пайкой высокотемпературным припоем на основе серебра в среде водорода.

Одним из основных узлов герметичного металлокерамического корпуса типа ТО-254-8 является герметичный ввод. Герметичность медного ввода можно обеспечить посредством пайки припоем ПСр-72 при условии запрессовки ввода в отверстие шайбы из сплава 29НК (ковар). Формирование плоских площадок на выводах внутри корпуса для сборки полупроводникового прибора термокомпрессионной или ультразвуковой сваркой проводится на вводах, впаянных в изолятор в специальном приспособлении до пайки изолятора на фланец.

В конструкции корпуса использованы материалы, обеспечивающие минимальные остаточные напряжения в местах высокотемпературной пайки деталей корпуса [6]. Перед герметизацией корпуса целесообразно использовать предварительную фиксацию крышки [7].

#### **Расчетные параметры конструкции металлокерамического корпуса типа ТО-254**

Основными рассчитываемыми параметрами конструкции, подтверждающими её работоспособность, являются:

- напряжение пробоя между выводами, ободком для герметизации и фланцем;
- электрическое сопротивление выводов на длине 5 мм.

При проведении расчётов использованы следующие справочные данные [8, 9]:

- напряжение пробоя воздуха при давлении 760 мм рт.ст. 32 кВ/см (между двумя шарами диаметром 1 см);
- удельное электрическое сопротивление никеля  $6,18 \times 10^{-6}$  Ом·см;
- удельное электрическое сопротивление золота  $2,3 \times 10^{-6}$  Ом·см;
- удельное электрическое сопротивление меди  $1,63 \times 10^{-6}$  Ом·см.

Расчётное электрическое сопротивление силовых выводов корпусов типа ТО-254-8, диаметром 1 мм на длине 5 мм с учётом толщины покрытия 3 мкм никеля и 4 мкм золота порядка  $1 \times 10^{-4}$  Ом.

При измерении электрического сопротивления низкоомных выводов большую погрешность могут вносить контактные сопротивления, которые по величине могут превышать измеряемое сопротивление. Для исключения этой погрешности предлагается методика, заключающаяся в том, что через вывод пропускается ток, измеряемый амперметром. Этот ток ограничивается значением допустимого тока через вывод и может составлять десятки ампер.

Таким образом, для измерения падения напряжения на участке вывода длиной 5 мм можно использовать милливольтметр со шкалой 5 мВ. Падением напряжения контактов милливольтметра с выводом корпуса можно пренебречь из-за малой величины тока через милливольтметр.

Схема включения корпуса для измерения электрического сопротивления выводов приведена на рис. 3. Проводники, с помощью которых через вывод пропускаем ток  $I$ , можно присоединить к выводу на расстоянии, например, 10 мм. Поделив измеренное падение напряжения  $U$  между местами паяк на расстоянии 5 мм на значение пропускаемого через вывод тока  $I$ , определим измеренное сопротивление вывода на длине 5 мм.

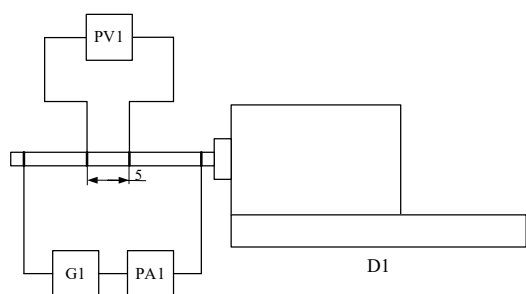


Рис. 3

**Рисунок 3 – Схема включения корпуса для определения электрического сопротивления выводов D1 – исследуемый корпус; G1 – источник тока; PA1 – амперметр; PV1 – милливольтметр.**

Напряжение пробоя зависит от расстояния между выводами, между выводами и фланцем, между выводами и рамкой для герметизации.

Результаты расчёта допустимых значений пробивного напряжения приведены в табл. 2.

Таблица 2

**Допустимые значения пробивного напряжения**

Корпус	Расстояние, мм		Напряжение между выводами, В		Напряжение, В Вывод-фланец Вывод-рамка
	Вывод-вывод	Вывод-фланец Вывод-рамка	Расчётное	Экспериментальное	
ТО-254-8	0,5	1,3	1600	2200	> 4500

Разницу в расчётном значении пробивного напряжения между выводами и измеренного можно объяснить тем, что справочное напряжение пробоя воздуха при давлении 760 мм рт.ст. 32 кВ/см измерялось между

двумя шарами диаметром 1 см [8], а выводы корпуса имеют другие размеры и форму.

Электрическая модель [10,11] корпуса типа ТО-254-8 представлена на рис. 4,

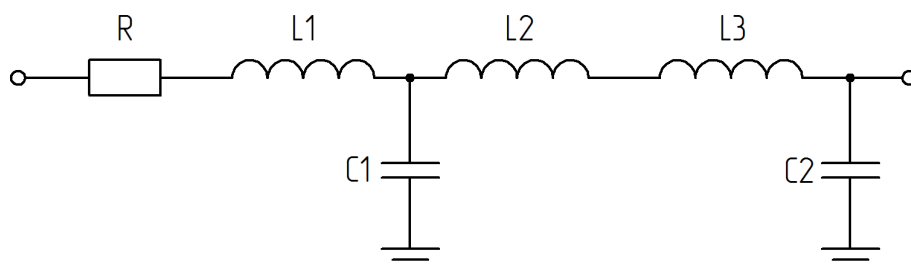


Рис. 4

**Электрическая модель корпуса типа ТО-254-8: L1 – индуктивность внешнего участка вывода; L2 – индуктивность участка вывода в керамическом изоляторе; L3 – индуктивность внутреннего участка вывода; C1 – ёмкость участка вывода в керамическом изоляторе; C2 – ёмкость внутреннего участка вывода; R – электрическое сопротивление вывода.**

В табл. 3 представлены расчётные значения  $L$ ,  $C$ ,  $R$  для корпуса типа ТО-254 [12-14].

Индуктивность вывода рассчитана по формуле [15]:

$$L = \frac{\mu_0 \cdot l}{2\pi} \cdot \left( \frac{\ln 2l}{r} - \frac{3}{4} \right),$$

где  $L$  - длина вывода,  $r$  - радиус вывода,  $\mu_0=1,257 \cdot 10^{-6}$  Гн/м - магнитная постоянная.

Таблица 3

**Расчетные значения L, C, R для металлокерамического корпуса типа ТО-254-8**

L1, нГн	L2, нГн	L3, нГн	C1, пФ	C2, пФ	R, Ом
7,8	0,9	0,2	0,1	0,014	$3,4 \cdot 10^{-4}$

Следует отметить, что в корпусе типа ТО выводы расположены на достаточно близком расстоянии и могут выполнять как функции управления, так и коммутации силовых цепей. В такой ситуации на выводе управления может наблюдаться напряжение импульсной помехи, сравнимое с уровнями управляющих импульсов, что может привести к наруше-

нию работоспособности силового модуля. Поэтому важным является разработка модели корпуса на основе эквивалентных схем с учётом влияния взаимной индуктивности [16].

Исследования макетных образцов корпусов проводились в соответствии с программой-методикой, положения которой приведены в табл. 4.

Таблица 4

Программа-методика испытаний

Наименование вида испытания, последовательность проведения испытания	Образцы	Режим испытания	Метод контроля
1. Контроль электрического сопротивления между токопроводящими элементами корпуса	Корпуса ТО-254-8	25±10 °С	ГОСТ РВ 5901-004 п.8.3.1
2. Испытание выводов на воздействие отрывающей силы		20 Н	ГОСТ РВ 5901-004 п.8.3.17
3. Испытание выводов на воздействие растягивающей силы			ГОСТ РВ 20.57.416 Метод 109-1
4. Испытание гибких выводов корпусов на изгиб		2 изгиба	ГОСТ РВ 20.57.416 Метод 110-3
5. Испытание выводов (выводных площадок) на способность к пайке		350±10 °С	ГОСТ РВ 20.57.416 Метод 402-1

В результате испытаний, проведённых в соответствии с программой-методикой, приведённой в табл. 4, установлено:

1. Электрическое сопротивление изоляции между изолированными токопроводящими элементами оснований корпусов составляет не менее  $2 \times 10^{10}$  Ом.

2. Выводы корпусов типа ТО-254-8 выдерживают отрывающее усилие не менее 20 Н.

3. Выводы корпусов выдерживают растягивающее усилие не менее 20 Н.

4. Выводы корпусов выдерживают испытание на изгиб.

5. Выводы корпусов выдерживают испытание на способность к пайке.

Тем не менее для установления граничных условий эксплуатации необходимо провести дополнительное сопоставление металлостеклянных и металлокерамических корпусов.

### Заключение

Металлокерамические корпуса типа ТО способны работать при значениях тока, в 3-5

раз превышающих значения в металлостеклянных корпусах, при обеспечении меньшего падения напряжения приблизительно в 30 раз.

Расчётная и экспериментальная оценки предложенных конструктивных и технологических решений позволяют сделать вывод о возможности использования разрабатываемых металлокерамических корпусов, аналогичных по основным габаритным размерам металлостеклянным, для изделий силовой электроники.

### Литература

1. Колпаков А. Интеллектуальные модули SEMIKRON с улучшенными тепловыми характеристиками // Компоненты и технологии. 2003. – №8. – С. 52-55.
2. Максимов А. Корпуса для полупроводниковых приборов. Металлостеклянные и металлокерамические // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. – 2010. – № 6(104). – С. 112-115.
3. Савченко Е.М., Катаев С.В., Сидоров В.А., Чупрунов А.Г. Технология толстоплёночной

- металлизации пастами на основе тугоплавких металлов // Электронная техника. Серия 2. Полупроводниковые приборы. – 2018. – № 2 (249) – С. 34-39.
4. Савченко Е.М., Чупрунов А.Г., Сидоров В.А., Катаев С.В. Освоение производства корпусов на основе алюмонитридной керамики для мощных биполярных СВЧ транзисторов с выходной мощностью до 500 Вт // Твердотельная электроника. Сложные функциональные блоки РЭА: материалы XV Всероссийской научно-технической конференции. 2017. – С. 84-87.
  5. Савченко Е.М., Гладких М.В., Першин А.Д., Шишкунова Е.В. Пассивные СВЧ аттенюаторы фиксированного номинала на основе материалов с высокой теплопроводностью // Твердотельная электроника. Сложные функциональные блоки РЭА: материалы XI научно-технической конференции. 2012. – С. 60-63.
  6. Груздов В.В., Крымко М.М., Савченко Е.М., Сидоров В.А., Пронин А.А., Першин А.Д., Попов М.С. Корпус мощной гибридной СВЧ интегральной схемы // патент на изобретение RUS 2659304 от 14.06.2017.
  7. Вагин А.В., Жмылев А.В., Пронин А.А., Савченко Е.М., Шишкунова Е.В. Оснастка для предварительной фиксации крышек металло-керамических корпусов перед герметизацией // Твердотельная электроника. Сложные функциональные блоки РЭА: материалы XI научно-технической конференции. 2012. – С. 216-218.
  8. Таблицы физических величин. Справочник. Под ред. Акад. И.К. Киконина. – М.: Атомиздат, 1976. – 328 с.
  9. Рот А. Вакуумные уплотнения. Пер. с англ. М.: Изд-во «Энергия», 1971. – 456 с.
  10. Будяков А.С., Конев Д.Н., Прокопенко Н.Н., Савченко Е.М. Методы автоматизированного проектирования индуктивных элементов в интегральном исполнении // Твердотельная электроника. Сложные функциональные блоки РЭА: материалы научно-технической конференции. 2008. – С. 120-122.
  11. Будяков А.С., Котельницкий А.В., Першин А.Д., Савченко Е.М. Расчетно-экспериментальные методы определения эквивалентной электрической схемы корпуса // Твердотельная электроника. Сложные функциональные блоки РЭА: материалы X научно-технической конференции. 2011. – С. 173-175.
  12. Поддубная Н.Н., Сопильняк А.А., Савченко Е.М., Фетисов Ю.К. Пьезоэлектрический датчик постоянного магнитного поля с планарной возбуждающей катушкой // INTERMATIC – 2011: материалы международной научно-технической конференции. 2011. – С. 115-117.
  13. Крутчинский С.Г., Прокопенко Н.Н., Будяков А.С., Савченко Е.М. Интегральные индуктивности и трансформаторы аналоговых микросхем СВЧ-диапазона: монография / Шахты: Изд-во Южно-Российский государственный университет экономики и сервиса, 2010. – 273 с.
  14. Савченко Е.М., Попов М.С., Пронин А.А., Вагин А.В., Гаврилов С.П. Разработка прижимной оснастки для измерения параметров СВЧ ИМС в безвыводных корпусах // Твердотельная электроника. Сложные функциональные блоки РЭА: материалы XI научно-технической конференции. 2012. – С. 219-221.
  15. Калантаров П.Л., Цейтлин Л.А. Расчёт индуктивностей: справочная книга / 3-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1986 – С.92.
  16. Савченко Е.М., Таран П.В., Телец А.В., Фурсов С.А., Щепанов А.Н. Основные подходы к разработке моделей аналоговой и СВЧ электронной компонентной базы для использования в САПР // Электронная техника. Серия 2: Полупроводниковые приборы. 2018. – № 3 (250). – С. 32-43.

## References

1. Kolpakov A. Smart SEMIKRON modules with improved thermal performance. Components and Technologies. 2003. No.8. pp.52-55.
2. Maksimov A. Semiconductor Device Cases. Metal-glass and metal-ceramics. ELECTRONICS: Science, Tekhnology, Business. 2010. No.6(104). pp.112-115.
3. Savchenko E.M., Kataev S.V., Sidorov V.A., Chuprunov A.G. Thick-film metallization technology for the AlN-ceramics using compounds based on refractory metals. Electronic Engineering. Ser.2. Semiconductor Devices. 2018. No.2(249). pp.34-39.
4. Savchenko E.M., Sidorov V.A., Chuprunov A.G., Kataev S.V. Mastering of the production of the AlN-ceramic cases for microwave power bipolar transistors with 500 W output power. Solid-state Electronics. Complex Functional Blocks of Radio-electronic Equipment. Proceedings of XV All-Russian Scientific and Technical Conference. 2017. pp.84-87.
5. Savchenko E.M., Gladkikh M.V., Pershin A.D., Shishkuniva E.V., Passive microwave nominal attenuators based on high thermally conductive materials. Solid-state Electronics. Complex Functional Blocks of Radio-electronic Equipment. Proceedings of XI Scientific and Technical Conference. 2012. pp.60-63.

6. Gruzlov V.V., Krymko M.M., Savchenko E.M., Sidorov V.A., Pronin A.A., Pershin A.D., Popov M.S. Case for Microwave Power Hybrid Integrated Circuit. Patent RUS 2659304 of 14 Jun 2017.
7. Vagin A.V., Zhmylev A.V., Pronin A.A., Savchenko E.M., Shishkunova E.V. Rigging for the preliminary fixation of metal-ceramic case leads before the sealing. Solid-state Electronics. Complex Functional Blocks of Radio-electronic Equipment. Proceedings of XI Scientific and Technical Conference. 2012. pp.216-218.
8. Table of Physical Quantities. Reference book. Edited by Academician I.K. Kikonin. M.: Atomizdat. 1976. p.328.
9. Roth A. Vacuum Seals. Translated from Engl. M.: Energiya. 1971. p.456.
10. Budyakov A.S., Konev D.N., Prokopenko N.N., Savchenko E.M. Methods of computer-aided design of the integrated inductive elements. Solid-state Electronics. Complex Functional Blocks of Radio-electronic Equipment. Proceedings of Scientific and Technical Conference. 2008. pp.120-122.
11. Budyakov A.S., Kotelnitskiy A.V., Pershin A.D., Savchenko E.M. Calculated and experimental methods to determine the equivalent electrical circuit of the case. Solid-state Electronics. Complex Functional Blocks of Radio-electronic Equipment. Proceedings of X Scientific and Technical Conference. 2011. pp.173-175.
12. Poddubnaya N.N., Sopilnyak A.A., Savchenko E.M., Fetisov Yu.K. Constant magnetic field piezoelectric sensor with planar excitation. INTERMATIC – 2011: Proceedings of X Scientific and Technical Conference. 2011. pp.115-117.
13. Krutchinskiy S.G., Prokopenko N.N., Budyakov A.S., Savchenko E.M. Integrated inductance and transformers of analog microwave circuits. Monograph. Mines: Publishing house South-Russian State University of Economics and Service. 2010. p.273.
14. Savchenko E.M., Popov M.S., Pronin A.A., Vagin A.V., Gavrilov S.P. Design of rigging for leadless cases for measuring performance of microwave IC. Solid-state Electronics. Complex Functional Blocks of Radio-electronic Equipment. Proceedings of XI Scientific and Technical Conference. 2012. pp.219-221.
15. Kalantarov P.L., Tseytlyn L.A., Inductance Simulation: Reference Book. 3<sup>rd</sup> Edition. L.L *Energoatomizdat*. Leningrad branch. 1986. p.92.
16. Savchenko E.M., Taran P.V., Telets A.V., Fursov S.A., Shchepanov A.N. Basic approach to the design of analog and microwave electronic component CAD models. Electronic Engineering. Ser.2. Semiconductor Devices. 2018. No.3(250). pp.32-43.