

Особенности разработки метода классификации плоских QFN-корпусов для применения в составе автоматизированных систем технической подготовки производства изделий микроэлектроники

Л. Г. Гагарина¹, Ю. В. Рубцов²

¹Национальный исследовательский университет «МИЭТ»,
г. Москва, Россия

²АО «Центральное конструкторское бюро «Дейтон», г. Москва,
Россия

gagar@bk.ru

Аннотация. Разнообразие QFN-корпусов (Quad-Flat No-leads) приводит к определенным трудностям при их выборе и оценке возможности применения, а также к проблемам управления номенклатурой параметров и контроля качества изделия. Классификация плоских QFN-корпусов необходима для унификации их номенклатуры, кодирования моделей корпусов, использования соответствующих параметров для повышения качества продукции и скорости принятия решения при выборе корпусов в автоматизированных системах технической подготовки производства изделий микроэлектроники. В работе предложен метод создания стандарта организации и утилиты для программной реализации алгоритма построения кода классификации плоских QFN-корпусов. Представлены результаты исследований метода классификации плоских QFN-корпусов с целью автоматизации их выбора в автоматизированных системах технической подготовки производства изделий микроэлектроники. Показано, что разработанный метод масштабируется на любые типы QFN-корпусов и обеспечивает правильность их применения в изделиях микроэлектроники.

Ключевые слова: классификация, QFN-корпус, изделия микроэлектроники, унификация

Для цитирования: Гагарина Л. Г., Рубцов Ю. В. Особенности разработки метода классификации плоских QFN-корпусов для применения в составе автоматизированных систем технической подготовки производства изделий микроэлектроники // Изв. вузов. Электроника. 2022. Т. 27. № 3. С. 322–332. doi: <https://doi.org/10.24151/1561-5405-2022-27-3-322-332>

Original article

Features of the development of a method for classifying flat QFN packages for use as part of design-for-manufacturing systems in microelectronics industry

L. G. Gagarina¹, Yu. V. Rubtsov²

¹National Research University of Electronic Technology, Moscow,
Russia

²JSC "Central Design Office "Deyton", Moscow, Russia

gagar@bk.ru

Abstract. The variety of QFN packages (Quad-Flat No-leads) causes some difficulties at their selection and assessment of the feasibility of their use, also in product line management and production quality control. Flat QFN packages classifying is necessary for product assortment commonality, package models coding, appropriate parameters use to improve production quality, as well as increasing the speed of decision-making when selecting packages in design-for-manufacturing systems in microelectronics industry. In this work, a method is proposed for creating an organization standard and a utility for software implementation of the algorithm for constructing a classification code for flat QFN packages. The results of flat QFN packages classification method aiming to automate their selection in design-for-manufacturing systems in microelectronics industry have been presented. It was shown that the developed method is scalable to any types of QFN packages and ensures their correct application in microelectronic products.

Keywords: classification, QFN package, microelectronic products, commonality, unification

Features of the development of a method for classifying flat QFN packages for use as part of design-for-manufacturing systems in microelectronics industry

For citation: Gagarina L. G., Rubtsov Yu. V. Features of the development of a method for classifying flat QFN packages for use as part of design-for-manufacturing systems in microelectronics industry. *Proc. Univ. Electronics*, 2022, vol. 27, no. 3, pp. 322–332. doi: <https://doi.org/10.24151/1561-5405-2022-27-3-322-332>

Введение. Мировой рынок корпусов для изделий микроэлектроники (ИМЭ), по прогнозам зарубежных аналитических компаний в области электроники, к 2030 г. достигнет 60 млрд долл. США по сравнению с 27 млрд долл. США в 2020 г., при этом среднегодовой темп роста с 2021 по 2030 г. составит более 9 %. Корпуса защищают ИМЭ от воздействий окружающей среды и обеспечивают электрические соединения с внешними цепями. Развитие информационных и сквозных технологий, искусственного интеллекта, облачных вычислений инициирует спрос на многофункциональные высокоскоростные ИМЭ с высокой степенью интеграции и низким энергопотреблением. Соответственно, появляются новые требования к корпусированию ИМЭ. В результате созданы новые технологии корпусирования: 2,5D- и 3D-интеграция кристаллов, корпус в корпусе, корпус на корпусе и др.

Существует группа корпусов, которая успешно развивается и массово применяется в настоящее время. В частности, в 1998 г. на рынке была представлена конструкция прямоугольного пластмассового плоского корпуса с выводными площадками по четырем сторонам типа QFN (Quad-Flat No-leads), которая отличалась от существующих малыми размерами, низкими затратами на разработку и отличными тепловыми и электрическими характеристиками. За последнее десятилетие новые разработки с одnorядными и многорядными выводными площадками позволили QFN-корпусам в составе ИМЭ поддерживать гораздо больше портов ввода-вывода и, таким образом, выйти в более широкий спектр сегментов комплектующих. На сегодняшний день разработаны и применяются сотни разновидностей QFN-корпусов, что приводит к определенным трудностям при их выборе и оценке возможности применения, а также к проблемам управления номенклатурой параметров и контроля качества изделий.

В настоящей работе представлены результаты исследований и разработки метода классификации плоских QFN-корпусов с целью автоматизации их выбора в автоматизированной системе технологической подготовки производства ИМЭ.

Систематизация QFN-корпусов. Основные применяемые конструкционные материалы. Основные конструкционные материалы, на основе которых изготавливаются QFN-корпуса, обеспечивают долговременную нагрузку и защищают элементы ИМЭ от воздействий окружающей среды. К таким материалам относятся керамика и пластмасса.

Керамические материалы, основой которых является Alumina (Al_2O_3), применяют при изготовлении корпусов такие компании, как Kyocera Corporate (Япония), AdTech Ceramics (США), Marki Microwave (США), StratEdge (США) и др. Alumina – неорганические материалы, которые обрабатываются при высоких температурах для достижения требуемых физических свойств, отличаются низким тепловым расширением. Электрическое сопротивление, диэлектрические характеристики, механическая прочность и устойчивость к тепловому удару делают керамические материалы незаменимыми для корпусирования ИМЭ, однако высокая стоимость затрат на изготовление QFN-корпусов мотивирует к поиску новых материалов.

Пластмассовые материалы для QFN-корпусов электрически стабильные, имеют высокую диэлектрическую прочность и низкую ионную проводимость. Пластмассовые корпуса изготавливаются на базе эпоксидного формовочного компаунда с наполнителями из диоксида кремния. Они дешевле, чем керамические, имеют меньший вес, но гигроскопичны, что вызывает их растрескивание при сжатии-расширении из-за накопившейся в микропорах влаги. Пластмассовые корпуса имеют низкую надежность соединения пластмассы с металлом (выводными площадками), что вызвано значительной разницей коэффициентов теплового расширения применяемых материалов. Низкая теплопроводность пластмасс является недостатком пластиковых корпусов, но этот недостаток устраняется наличием в их конструкции площадки рассеяния тепла.

Форма контура QFN-корпусов. Контур корпуса – замкнутая линия, ограничивающая его внешнее очертание. Если корпус имеет различные конструктивные элементы, контур определяется как совокупность контуров, образованных проекцией внешних границ его конструктивных элементов (оснований, стенок и крышек) на горизонтальную плоскость, проходящую на уровне примыкания корпуса к внешней поверхности его основания. Таким образом, контур корпуса – это совокупность контуров разного типа, которые могут полностью или частично совпадать и пересекаться в местах наиболее выступающих частей конструктивных элементов. Вместе с тем существует практика дополнительного пространственного описания выступающих частей конструктив-

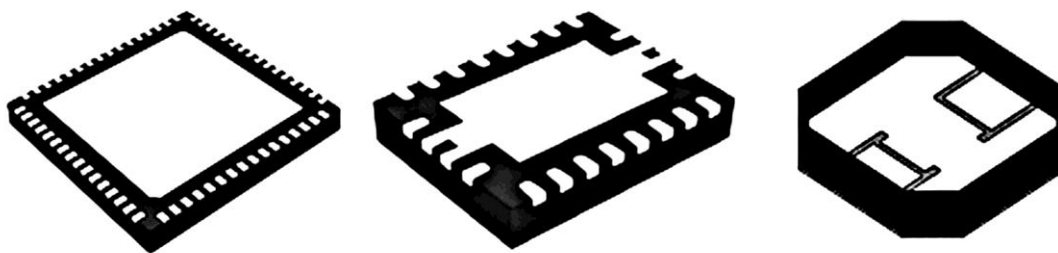


Рис. 1. Формы QFN-корпусов
Fig. 1. QFN package shapes

ных элементов корпуса, в том числе с учетом их длины, ширины и высоты. По форме контура различаются квадратные, прямоугольные и многоугольные (более четырех углов) QFN-корпуса (рис. 1).

Количество сторон с выводными площадками, их форма и количество рядов выводных площадок. Выводные площадки QFN-корпусов могут находиться на одной, двух (рис. 2, а), трех сторонах и более. При этом количество сторон не должно превышать количества углов контура внешнего очертания QFN-корпусов. Форма выводных площадок может быть в одной плоскости, параллельной основанию (рис. 2, а), или выступать на боковые стенки корпуса, создавая паяемую боковую кромку (рис. 2, б). Наличие такой кромки дает возможность паять выводные площадки на печатную плату в трех измерениях, что обеспечивает более прочное паяное соединение и лучшую надежность крепления выводных площадок.

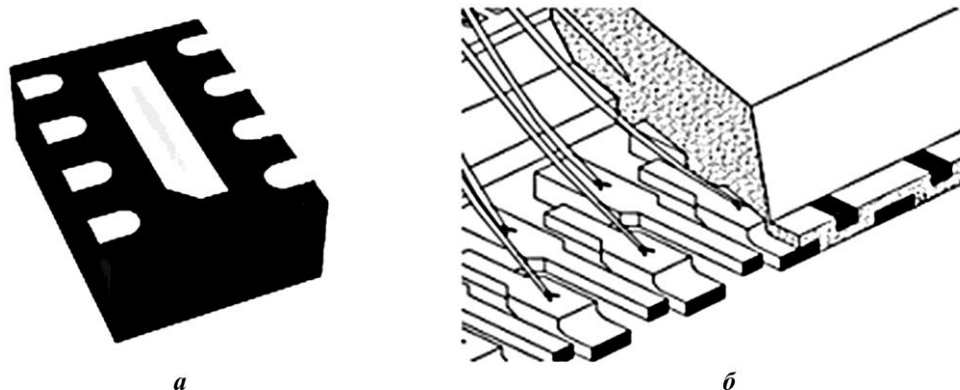


Рис. 2. Формы выводных площадок QFN-корпусов: а – нижняя сторона с выводными площадками в одной плоскости, параллельной основанию; б – выводные площадки с паяемой боковой кромкой
Fig. 2. Forms of terminal pads of QFN packages: а – bottom side with lead-out pads in one plane parallel to the base; б – lead pads with soldered side edge

QFN-корпуса изготавливаются с однорядной (рис. 3, а), двухрядной (рис. 3, б) и трехрядной (рис. 3, в) конструкциями выводных площадок. Это позволяет поддерживать требуемое число портов ввода-вывода для ИМЭ.

Способы соединения элементов с внешними цепями. Элементы ИМЭ в QFN-корпусах могут быть соединены с внешними цепями с помощью проволочных соединений или с использованием технологии Flip Chip.

Одно-, двух- и трехрядная конструкции QFN-корпусов с проволочными соединениями представлены на рис. 4. Проволочное соединение 1 электрически соединяет контактную площадку 3 кристалла 2 с выводными площадками 5. Кристалл крепится с помощью теплопроводного клея, слой которого создает термопрокладку 4, к площадке рассеяния тепла 6.

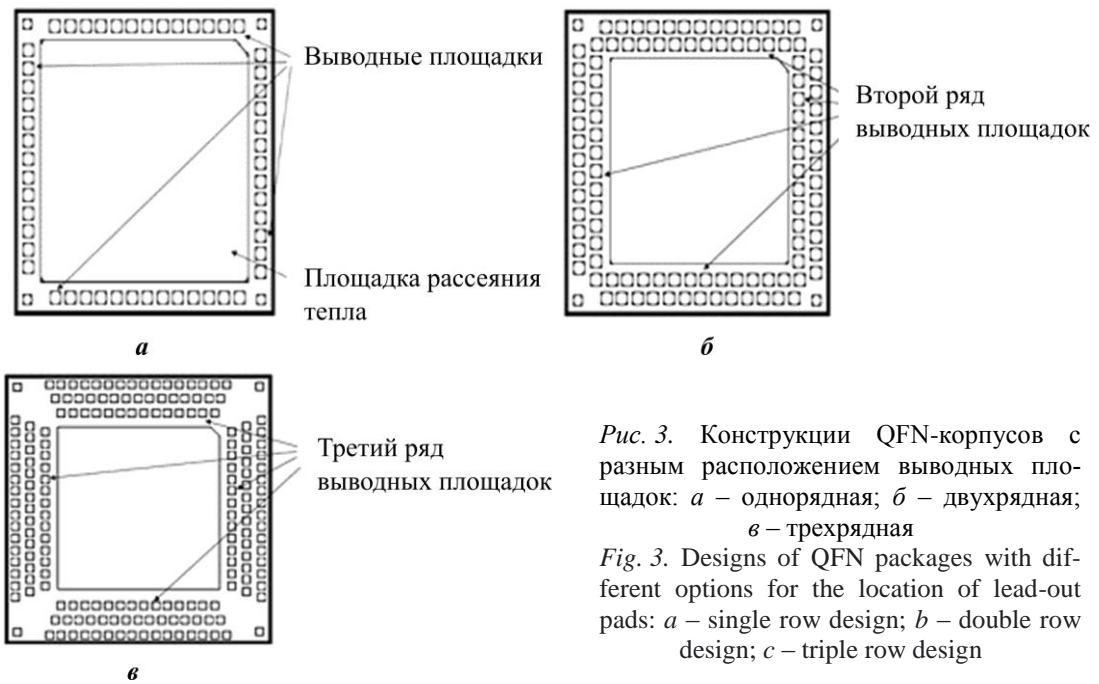


Рис. 3. Конструкции QFN-корпусов с разным расположением выводных площадок: *a* – однорядная; *б* – двухрядная; *в* – трехрядная
 Fig. 3. Designs of QFN packages with different options for the location of lead-out pads: *a* – single row design; *b* – double row design; *c* – triple row design

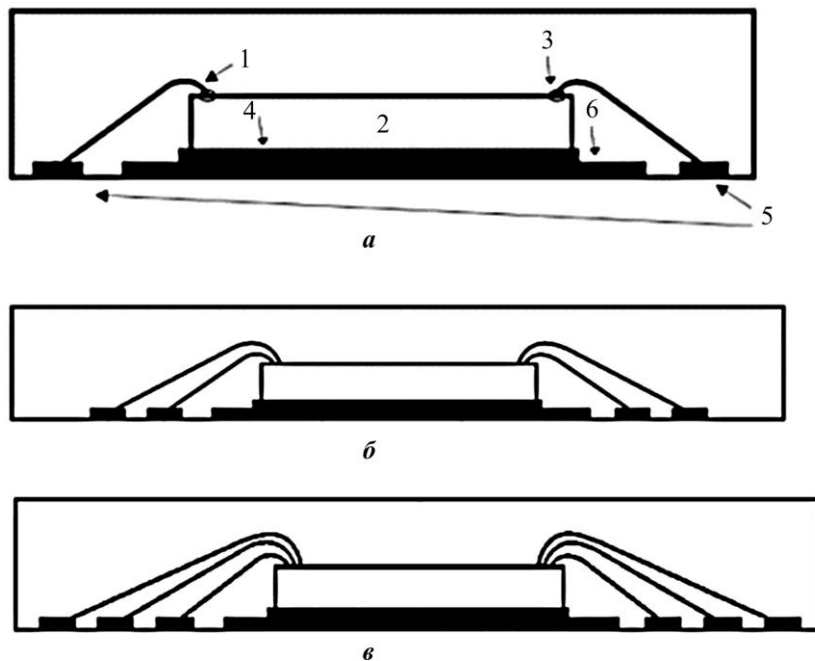


Рис. 4. Конструкции проволочного соединения QFN-корпусов: *a* – однорядная; *б* – двухрядная; *в* – трехрядная (1 – проволочное соединение; 2 – кристалл; 3 – контактные площадки; 4 – термопрокладка; 5 – выводные площадки; 6 – площадка рассеяния тепла)

Fig. 4. Wire connection design for QFN packages: *a* – single row design; *b* – double row design; *c* – triple row design (1 – wire connection; 2 – crystal; 3 – contact pads; 4 – thermal padding; 5 – lead-out pads; 6 – heat dissipation pad)

Конструктивное исполнение внутренней полости и герметизация. В зависимости от назначения, области применения, по конструктивному исполнению внутренней полости и герметизации QFN-корпуса подразделяются на корпуса с закрытой и открытой внутренними полостями. Первый тип корпуса формируется с присоединенными элементами изделий заливкой компаунда. У второго типа полость закрывается крышкой или остается открытой (рис. 5).

Количество площадок рассеяния тепла. В зависимости от требований и предполагаемого применения QFN-корпуса могут вообще не иметь площадок рассеяния тепла (рис. 6, а), содержать одну или несколько таких площадок (рис. 6, б). Конструкция из нескольких площадок рассеяния тепла используется в тех случаях, когда элементам изделия нужно другое заземление или необходимо другое напряжение.

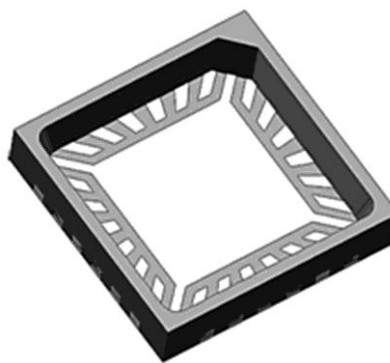
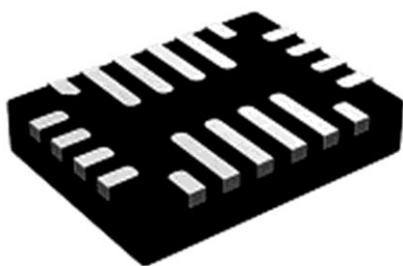
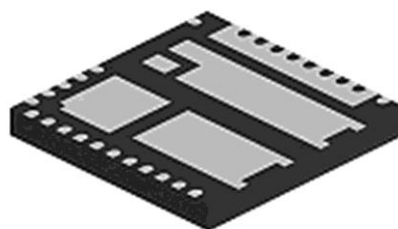


Рис. 5. QFN-корпус с открытой внутренней полостью
Fig. 5. QFN package with an open internal cavity



а



б

Рис. 6. QFN-корпуса без площадки (а) и с несколькими площадками (б) рассеяния тепла
Fig. 6. The presence of heat dissipation areas in QFN packages: а – no heat dissipation area; б – several heat dissipation areas

Линейные размеры, количество и шаг выводных площадок. Линейными размерами QFN-корпусов являются длина, ширина, высота. Длина – это наибольший линейный размер лицевой стороны корпуса, измеренный параллельно основанию корпуса. Ширина – линейный размер лицевой стороны корпуса, измеренный перпендикулярно длине и параллельно основанию корпуса. Для корпусов квадратной формы контура длина и ширина имеют одинаковое значение. Высота QFN-корпусов определяется как линейный размер лицевой стороны корпуса, измеренный перпендикулярно длине, ширине и основанию корпуса. Шаг выводных площадок – это расстояние между центральными точками соседних выводных площадок.

Для распределения QFN-корпусов по линейным размерам, количеству и шагу выводных площадок за основу приняты правила определений и методы расчета доверительного интервала. Учитывая, что количество исследуемых различных по линейным размерам, количеству и шагу выводных площадок QFN-корпусов более 500, они собраны в группы с одинаковыми значениями. При сборе и обобщении информации использованы методы ИСМН (Information classification, marking and handling) [1], которые апробированы в отношении информации об ИМЭ и комплектующих к ним – выводным рамкам [2].

Рассмотрим алгоритм построения двухсторонних доверительных интервалов.

1. Определение нижних и верхних границ интервалов L и M линейных размеров, количества и шагов выводных площадок QFN-корпусов.
2. Расчет средних значений исследуемых величин по формуле

$$x_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i,$$

где n – количество групп корпусов с одинаковыми значениями; x_i – значения исследуемых величин от $i = 1$ до n .

3. Расчет стандартных отклонений исследуемых величин для групп корпусов j по линейным размерам, количеству и шагу выводных площадок по формуле

$$S_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_{cp})^2}{n-1}}.$$

4. Расчет нижних L_{sj} и верхних M_{sj} границ доверительных интервалов по формулам

$$L_{sj} = L_j - S_j, \quad M_{sj} = M_j + S_j.$$

В результате реализованного алгоритма определены границы доверительных интервалов линейных размеров: ширина и длина от 1 до 15 мм; высота от 0,5 до 1,5 мм; количество выводных площадок QFN-корпусов от 2 до 700; шаг выводных площадок от 0,1 до 1,5 мм.

Если выводные площадки корпусов имеют разные шаги, то выполняется распределение по максимальному шагу выводных площадок. Дискретность распределяемости QFN-корпусов для ширины или длины равна 1 мм, высоты – 0,5 мм, числа выводных площадок – 10, шага выводных площадок – от 0,1 мм.

Стандарты разработки и изготовления QFN-корпусов. В национальной системе классификации корпусов для ИМЭ используются следующие стандарты: ГОСТ Р 54844-2011 «Микросхемы интегральные. Основные размеры» и ГОСТ Р 57439-2017 «Приборы полупроводниковые. Основные размеры». Отечественные предприятия разрабатывают и изготавливают QFN-корпуса, которые согласно ГОСТ Р 54844-2011 отнесены к типу 5, подтипу 51 или 52 с прямоугольной формой проекции корпуса на плоскость основания, расположением проекции выводов (выводных площадок) на проекции корпуса в пределах проекции корпуса или при наличии выводов до 4,0 мм за пределами проекции корпуса, параллельной плоскости основания, расположением выводов (выводных площадок) относительно плоскости основания по четырем сторонам (подтип 51) или по двум противоположным сторонам (подтип 52). С даты ввода в действие данных стандартов исправления, исключения в них не вносились, данные не добавлялись. В связи с этим рассмотренные стандарты устарели и не могут в должной мере обеспечивать распределение корпусов по типам и подтипам, поэтому отнесение QFN-корпусов к подтипам 51 или 52 недостаточно для их корректного однозначного выбора для применения в ИМЭ.

В международной практике классификация QFN-корпусов и комплектующих к ним регламентируются Сообществом инженеров, специализирующихся в области электронных устройств, и стандартами Международной электротехнической комиссии [3]: Система условных обозначений для корпусов электронных изделий (Jedec descriptive designation system for electronic-device packages jeds30i aug 2019); Стандартные методы и процедуры – обозначения вариантов корпусов (JEDEC SPP-025C Standard practices and procedures – package variation designators).

Однако большинство зарубежных изготовителей не придерживаются рекомендаций данных стандартов, поэтому образовалось множество дублирований и обозначений QFN-корпусов, не дающих представления о свойствах корпусов. Цель классификации – разделение множества изделий по выбранному основанию, проведение унификации [3], управление номенклатурой параметров и контроль за качеством изделий.

Описание разработанного метода классификации QFN-корпусов. Разработанный метод классификации представляет собой набор правил распределения QFN-корпусов на классификационные группы в соответствии с признаками сходства или различия и присвоения им соответствующих кодов. Метод разработан на основании представленных результатов исследований с перспективой дальнейшего использования в координатно-параметрическом управлении для производства ИМЭ в автоматизированной системе управления технологическими процессами [4]. Метод предусматривает иерархическое соподчинение путем последовательного кодирования множества QFN-корпусов на подчиненные классификационные группировки. Код состоит из 33 символов в виде следующей структуры:

– XX – код класса. Указывает на основной конструкционный материал, применяемый в QFN-корпусах, который кодируется буквами К (корпус) и Х (основной конструкционный материал). Таким образом, КС – керамический корпус, КР – пластиковый корпус. Код класса отделен от следующих кодов пробелом;

– XX XX – код подкласса. Определяет форму контура корпуса. Состоит из двух цифр и коррелирует с ГОСТ Р 54844-2011 в части подтипов корпусов. Для квадратной формы корпусов – 51, для прямоугольной формы корпусов – 52, для многоугольной формы корпусов – 53. Код класса отделен от следующих кодов точкой;

– XX XX.XXX – код группы. Первая цифра кода указывает количество сторон в QFN-корпусе с выводными площадками (от 1 до 9, но не более количества углов в QFN-корпусе). Вторая цифра указывает конструкцию выводной площадки: в одной плоскости, параллельной основанию корпуса, указывается цифра 1; с выступом на боковые стенки корпуса, создавая паяемую боковую кромку, указывается цифра 2. Третья цифра указывает количество рядов с выводными площадками. Код группы отделен от следующих кодов точкой;

– XX XX.XXX.XXX – код подгруппы. Первая цифра указывает на конструкцию корпуса, обеспечивающую способ соединения элементов ИМЭ с внешними цепями: цифра 1 – соединение проволокой, цифра 2 – соединение с использованием технологии Flip Chip. Вторая цифра указывает на конструктивное исполнение внутренней полости: цифра 1 – с закрытой внутренней полостью, цифра 2 – с открытой внутренней полостью. Третья цифра указывает количество площадок рассеяния тепла в QFN-корпусе. Код подгруппы отделен от следующего кода вида изделия точкой;

– XX XX.XXX.XXX.XXXXXXXXXXXXXXXXXX – код вида. Первые три цифры указывают ширину QFN-корпуса размером 0,1 мм. Если ширина QFN-корпуса меньше 10 мм, то на месте первой цифры указывается 0, если ширина QFN-корпуса меньше 1 мм, то на месте второй цифры ставится 0. Если третья цифра – 0,1 мм – равна нулю, то на ее месте ставится 0. Вторые три цифры указывают длину QFN-корпуса размерностью 0,1 мм. Правило установки нулей в коде длины аналогично правилу для кода ширины. Третьи три цифры указывают высоту QFN-корпуса размером 0,1 мм. Правило установки нулей в коде высоты аналогично правилу для кода ширины. Четвертые три цифры указывают на количество выводных площадок. Если количество выводных площадок меньше ста, то на месте первой цифры указывается 0, если количество выводных площадок меньше десяти, то на месте второй цифры ставится 0. Если третья

цифра равна нулю, то на ее месте ставится 0. Пятая группа из трех цифр указывает на шаг выводных площадок размером 0,01 мм. Если шаг выводных площадок меньше 1 мм, то на месте первой цифры ставится 0, если вторая цифра равна 0, то на ее месте ставится 0, если третья цифра равна 0, то на ее месте ставится 0. В конце кода вида через пробел указывается общепринятый тип корпуса – QFN.

Пример классификационного кода QFN-корпуса и его расшифровка приведены на рис. 7.

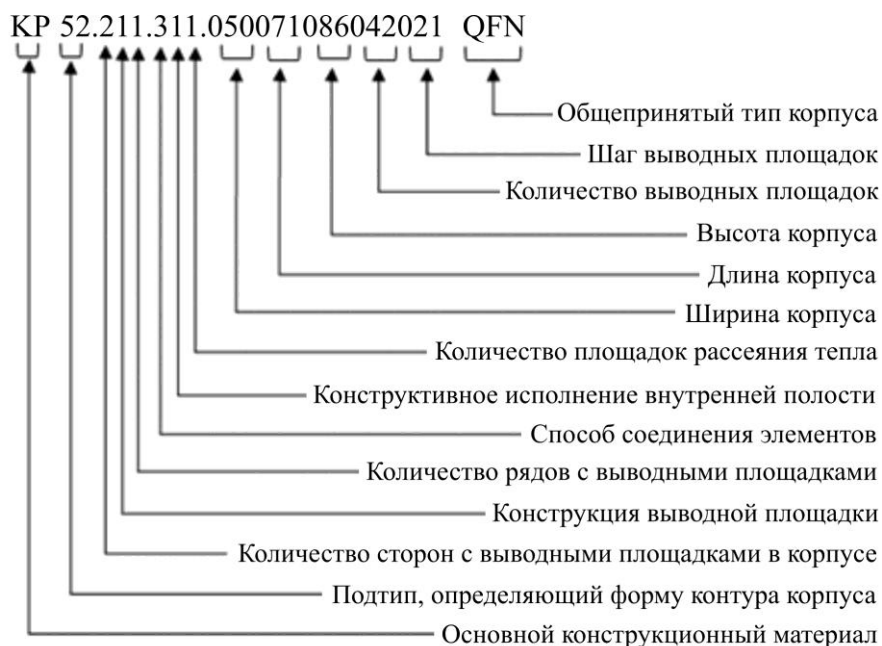


Рис. 7. Полная кодировка QFN-корпуса
Fig. 7. Full QFN package encoding

Приведем результаты расшифровки классификационного кода на рис. 7 QFN-корпуса: KP – пластиковый; 52 – прямоугольной формы; 2 – имеет две стороны с выводными площадками; 1 – конструкция выводной площадки – в одной плоскости, параллельной основанию корпуса; 1 – имеет один ряд с выводными площадками; 3 – конструкция корпуса предназначена для соединения с использованием технологии Flip Chip; 1 – с закрытой внутренней полостью; 1 – с одной площадкой рассеяния тепла; 050 – ширина корпуса 5 мм; 071 – длина корпуса 7,1 мм; 086 – высота корпуса 0,86 мм; 042 – имеет 42 выводных площадки; 021 – шаг выводных площадок 0,21 мм.

Применение разработанного метода классификации QFN-корпусов. Для повышения эффективности процесса производства ИМЭ при наличии автоматизированной системы технологической подготовки производства предложено дальнейшее использование разработанного метода классификации. При использовании метода в отношении геометрических, физико-механических и процессных моделей [5] QFN-корпусов обеспечивается автоматизация их выбора из библиотек моделей в составе САПР. Поставленная задача предполагает следующие этапы выполнения:

1. Разработка информационного обеспечения для реализации предложенного метода.
2. Разработка базы данных «Модели QFN-корпусов»:
 - разработка инфологической и даталогической моделей;
 - создание схемы данных.

3. Программная реализация, тестирование и отладка базы данных «Модели QFN-корпусов» с использованием определенной архитектуры программного обеспечения [7].

4. Моделирование технологического процесса подготовки производства ИМЭ с имитацией запросов по выбору QFN-корпуса.

5. Опытная эксплуатация прототипа.

6. Подготовка технической документации: руководство оператора, руководство программиста.

7. Внедрение информационного обеспечения в состав автоматизированной системы технологической подготовки производства ИМЭ.

Заключение. Применение разработанного метода классификации позволит обеспечить оптимальный выбор QFN-корпусов в процессе производства ИМЭ. Тестирование метода классификации выполнено на базе АО «Завод «МАРС» (Тверская область, г. Торжок). Для реализации метода планируется разработка стандарта организации и информационного обеспечения в виде специализированной базы данных, встраиваемой в библиотеки моделей САПР (геометрических, физико-механических и процессных). Разработанный метод может быть масштабирован для классификации других типов корпусов.

Литература

1. *Дормидошина Д. А., Рубцов Ю. В., Савин М. Л.* Применение ИСМН в процессах сбора, обработки и анализа информации о надежности изделий микроэлектроники // Нано- и микросистемная техника. 2020. Т. 22. № 9. С. 485–488. doi: <https://doi.org/10.17587/nmst.22.485-488>

2. *Дормидошина Д. А., Рубцов Ю. В., Савин М. Л.* Исследования и результаты сбора, анализа и обобщения информации о выводных рамках, применяемых в изделиях микроэлектроники // Нано- и микросистемная техника. 2020. Т. 22. № 7. С. 381–385. doi: <https://doi.org/10.17587/nmst.22.381-385>

3. *Рубцов Ю. В., Савин М. Л.* Унификация многовыводных рамок и использование международных стандартов для их применения // Радиоэлектронная отрасль: проблемы и их решения. 2021. № 2. С. 28–30.

4. *Гагарина Л. Г., Лебедев А. В.* Разработка метода координатно-параметрического управления для автоматизированных производств изделий микроэлектроники // Современные наукоемкие технологии. 2021. № 8. С. 52–57. doi: <https://doi.org/10.17513/snt.38779>

5. ГОСТ Р 57412-2017. Компьютерные модели в процессах разработки, производства и эксплуатации изделий. Общие положения. 2-е изд. М.: Стандартинформ, 2018. IV, 10 с.

Статья поступила в редакцию 31.01.2022 г.; одобрена после рецензирования 14.03.2022 г.; принята к публикации 04.05.2022 г.

Информация об авторах

Гагарина Лариса Геннадьевна – доктор технических наук, профессор, директор Института системной и программной инженерии и информационных технологий Национального исследовательского университета «МИЭТ» (Россия, 124498, г. Москва, г. Зеленоград, пл. Шокина, 1), gagar@bk.ru

Рубцов Юрий Васильевич – генеральный директор АО «Центральное конструкторское бюро «Дейтон» (Россия, 124460, г. Москва, г. Зеленоград, корп. 100, помещение 230), rubtsov@deyton.ru

References

1. Dormidoshina D. A., Rubtsov Yu. V., Savin M. L. The application of ICMH in the collection, processing and analysis of information on the reliability of microelectronic products. *Nano- i mikrosistemnaya tekhnika = Nano- and Microsystems Technology*, 2020, vol. 22, no. 9, pp. 485–488. (In Russian). doi: <https://doi.org/10.17587/nmst.22.485-488>
2. Dormidoshina D. A., Rubtsov Yu. V., Savin M. L. Research and the results of the collection, analysis and summarize of information on the lead frame used in microelectronics products. *Nano- i mikrosistemnaya tekhnika = Nano- and Microsystems Technology*, 2020, vol. 22, no. 7, pp. 381–385. (In Russian). doi: <https://doi.org/10.17587/nmst.22.381-385>
3. Rubtsov Yu. V., Savin M. L. Unification of multi-terminal frames and the use of international standards for their application. *Radioelektronnaya otrasl': problemy i ikh resheniya = Radioelectronic Industry: Problems and their Solutions*, 2021, No. 2, pp. 28–30. (In Russian).
4. Gagarina L. G., Lebedev A. V. Development of the method coordinate-parametric control automated process control system for production of microelectronic products. *Sovremennyye naukoymkiye tekhnologii = Modern High Technologies*, 2021, no. 8, pp. 52–57. (In Russian). doi: <https://doi.org/10.17513/snt.38779>
5. GOST R 57412-2017. *Computer models of products in design, manufacturing and maintenance. General*. 2nd ed. Moscow, Standartinform Publ., 2018. iv, 10 p. (In Russian).

The article was submitted 31.01.2022; approved after reviewing 14.03.2022;
accepted for publication 04.05.2022.

Information about the authors

Larisa G. Gagarina – Dr. Sci. (Eng.), Prof., Director of the Institute of System and Software Engineering and Information Technology, National Research University of Electronic Technology (Russia, 124498, Moscow, Zelenograd, Shokin sq., 1), gagar@bk.ru

Yuri V. Rubtsov – General Director, JSC “Central Design Office “Deyton” (Russia, 124498, Moscow, Zelenograd, bld. 100, room 230), rubtsov@deyton.ru

Внимание читателей журнала «Известия высших учебных заведений. Электроника»

Подписку на электронную версию журнала
можно оформить на сайтах:

- Научной электронной библиотеки: www.elibrary.ru
- ООО «Агентство «Книга-Сервис»»: www.rucont.ru; www.akc.ru;
www.pressa-rf.ru
- ООО «Урал-Пресс Округ»: www.delpress.ru
- ООО «ИВИС»: www.ivis.ru