

# Инженерный подход к выбору новых производителей СВЧ-компонентов из КНР

С. Конаков, к. т. н.<sup>1</sup>

Китайские производители СВЧ-компонентов все чаще рассматриваются сегодня в качестве наиболее приемлемых, а иногда единственно доступных поставщиков ЭКБ для российских разработчиков радиоэлектронной аппаратуры. Однако решение о выборе используемого компонента связано с необходимостью учета множества технических и организационно-экономических факторов. В статье показан методологический подход к проведению оценки и выбору производителя СВЧ-компонентов для возможного применения в изделиях РЭА. Подход основан на обобщении практического опыта работы и отражает те основные и характерные моменты, которые обычно принимает во внимание инженер-разработчик.

## ВВЕДЕНИЕ. ОСНОВНЫЕ КРИТЕРИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ НОВЫХ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ ЭКБ ИЗ КНР

Инженер-разработчик радиоэлектронной аппаратуры стоит перед нелегким выбором электронной компонентной базы, которую он планирует применять в своих текущих и новых разработках. В условиях неопределенности задача выбора того или иного компонента становится комплексной. Нужно принимать во внимание не только техническое совершенство изделий и стоимость, но и их доступность, как на текущий момент, так и в будущем. Для тех классов изделий, которые пока не имеют аналогов отечественного производства, естественным выбором разработчиков является поиск компонентов от производителей из Юго-Восточной Азии, в частности из Китая. При этом особенности работы с китайскими производителями, отсутствие опыта применения таких изделий в серийных приборах, трудности в получении технической информации, а также непрозрачная рыночная среда с высоким уровнем конкуренции среди поставщиков и их партнеров как на российском, так и на китайском рынке затрудняют проведение объективной оценки новых производителей из КНР. Сегодня рядовой инженер-разработчик, руководитель сектора или отдела должны самостоятельно принимать решения о выборе ЭКБ, с учетом всех указанных особенностей. Чтобы помочь с принятием решения, полезно детальнее разобраться в критериях выбора производителя ЭКБ и, опираясь на проверенные факты, провести оценку в соответствии с этими критериями.

Использование обобщенного опыта в отрасли и имеющихся лучших практик позволит принять решение о применении ЭКБ того или иного производителя в составе разрабатываемой РЭА. В данной статье на примере компании ChipWell покажем, как можно произвести комплексную оценку производителя, рассмотрим, какие данные нужны, чтобы принять решение, и в каком ключе нужно действовать в общении с производителем или его представителем в России.

Сформулируем основные критерии, по которым будем оценивать производителя ЭКБ, и разделим их на две группы: технические и организационно-экономические.

К техническим критериям относятся:

- номенклатура выпускаемых изделий (широкая или узкая и специализированная);
- объем стандартной технической документации (полнота спецификаций и даташитов);
- возможность получения дополнительных сведений по компоненту (измерения дополнительных параметров);
- наличие отладочных средств (платы, программное обеспечение);
- опыт применения компонентов этого производителя другими компаниями (референс-лист);
- результаты испытаний образцов ЭКБ.

К организационным критериям относятся:

- «факт существования» производителя;
- жизненный цикл развития компании;
- бизнес-модель и целевые рыночные ниши;
- техническая политика компании, интеллектуальная собственность и инновации;

<sup>1</sup> ООО «ИнТех.Рус», продукт-менеджер.

- экспортная политика;
- каналы поставки и формат работы.

Пользуясь терминологией ТРИЗ, можно ввести понятие идеального производителя ЭКБ и оценивать, насколько близко находится рассматриваемый производитель относительно идеального. Для разных заказчиков идеальным производителем будет компания с различными значениями параметров по указанным критериям. Для отечественной компании, которая выпускает измерительное СВЧ-оборудование, идеальной может стать небольшая фирма, работающая по модели *fabless*-компании и выпускающая в мелкой серии достаточно дорогие инновационные продукты, способные обеспечить разрабатываемым изделиям неоспоримое техническое превосходство над конкурентными решениями. Для предприятия, которое делает крупносерийную продукцию общепромышленного назначения, идеальным партнером будет завод в Китае, который предлагает прямые *pin-to-pin*-аналоги известных западных микросхем и снижает цены за счет агрессивного урезания издержек в ущерб качеству документации и технической поддержки, а также отказывается от расходов на разработку новых передовых компонентов. Несмотря на различия, общей для идеальных производителей является внятная экспортная политика, которая заключается в наличии стимулов работы с российскими заказчиками, которые могут проявляться как в экономических, так и в научно-технических аспектах.

Поскольку установление объективных фактов и получение информации по техническим критериям оценки производителя является более сложным процессом, требующим плотного взаимодействия с производителем или его представителем в России, целесообразно начинать рассматривать нового производителя именно с точки зрения организационно-экономических критериев. В следующем разделе покажем в деталях, как можно проводить такой анализ.

## ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ПРОИЗВОДИТЕЛЯ ЭКБ

Рассмотрим для примера, что инженерам-разработчикам на некотором типовом предприятии, производящем РЭА, в рамках научно-технического информирования была представлена информация о производителе СВЧ-компонентов из КНР, компании ChipWell. Проведем анализ этого производителя по организационно-экономическим критериям в первую очередь.

Доказательство «существования» производителя подразумевает проведение различий между такими понятиями, как разработчик ЭКБ, производитель полупроводниковых кристаллов, сборщик и тестирующий изделий, поставщик ЭКБ в Китае, поставщик ЭКБ в России, торговая марка (или бренд) в Китае или в России. Наличие как минимум семи вышеперечисленных разных сущностей

предопределяет множество возможных организационных структур, которые в обиходе обобщенно именуют термином «производитель ЭКБ». Важно разобраться в реальной структуре «производителя» и достоверно установить всех участников деловых отношений.

Информация о ChipWell дает понимание, что это дочерняя фирма крупной китайской компании и отдельная торговая марка, которая создана для работы с Россией. Сам производитель является частной негосударственной компанией из г. Хефэй. Компания обладает собственным дизайн-центром по разработке СВЧ-микросхем в г. Чэнду. Помимо разработки и производства СВЧ МИС в виде чипов, она занимается выпуском компонентов в таких корпусах, как SOT, QFN, MicroX. Технологическим партнером по производству СВЧ-микросхем по GaAs- и GaN-технологиям являются полупроводниковые фабрики в континентальном Китае. Преимуществами компании являются наличие склада готовой продукции и наличие отладочных плат. После проверки этой информации из независимых источников можно установить ее достоверность и, таким образом, сформировать ясное представление о структуре и всех ключевых элементах системы под наименованием «производитель ЭКБ», решив для себя вопрос о его реальном существовании.

Жизненный цикл развития компании – еще один важный параметр производителя для принятия решения о применении его изделий в разработках заказчика. Компания может быть молодой и растущей, крупной и стабильной, или, наоборот, стагнирующей. Нахождение компании на разных стадиях цикла влияет как на техническую политику в части номенклатуры выпускаемых изделий, так и на их цену. Компания ChipWell является молодой и развивающейся. Это предопределяет ее инвестиции в предоставление образцов СВЧ ЭКБ новым заказчикам, является причиной гибкой ценовой политики. Также можно ожидать, что номенклатура выпускаемых изделий будет расширяться. Производитель восприимчив к обратной связи с рынка и готов принимать предложения от заказчиков по части того, какие еще изделия нужно выпускать.

Из отрицательных моментов работы с молодыми растущими производителями можно отметить недостаточно большой опыт их применения. Технический уровень компонентов может немного недотягивать до конкурентов, давно существующих на рынке, вследствие просто недостаточно большого опыта разработки и производства изделий. Существующий высокий порог входа на рынок с любым технически сложным изделием (будь то ЭКБ или РЭА или системный комплекс) является объективно существующим препятствием для всех молодых команд. Преодолеть его можно только или осуществив большие инвестиции на начальном этапе, или за счет технических инноваций. Поэтому при работе с молодыми

компаниями важно понимать, какой из этих двух путей они выбрали в качестве основной тактики. В случае с компанией ChipWell видна очевидная мощная финансовая поддержка инвесторов для ускоренного развития продуктов компании и наработки опыта.

Работа со стабильными крупными компаниями также имеет плюсы и минусы. У таких компаний ассортимент устоявшийся и больше не растет, но на этом этапе компании часто начинают повышать цены на свои продукты, потому что они уже широко известны и применяются многими заказчиками. Этот факт, вместе с падением себестоимости изделий при росте серийности производства, приводит к повышению прибыли компании, и вложенные на начальном этапе инвестиции начинают приносить отдачу. Такие компании часто перестают уделять внимание заказчикам, особенно не очень крупным, перестают соглашаться выполнять какие-то нестандартные вещи. Начинают появляться требования по минимальным объемам заказов, что затрудняет покупку и приобретение образцов для новых разработок. К типичным представителям таких стабильных китайских компаний в области электронной компонентной базы СВЧ является компания Neditek, которой присуще все указанные особенности. Тем не менее, в крупносерийных проектах эти особенности могут быть несущественными, так что работа с такими компаниями также может быть целесообразной.

В зависимости от бизнес-модели производителя будет различаться техническая и ценовая политика. Существуют производители, работающие в одной очень узкой нише, но достигающие там очень больших успехов благодаря специализации. Из частных китайских компаний в области СВЧ-компонентов к ним можно отнести Renjian Microwave. Выбрав в качестве фокусной сферу синтезаторов частот для специальных применений, они только на этом типе изделий получают годовой оборот порядка 100 млн юаней, а по техническим параметрам их изделия не уступают аналогам от Teledyne, Micro Lambda и Narda-MITEQ.

Примером бизнес-модели, которая ориентируется на заказчиков в области телекоммуникации и связи может служить компания ChipWell. В этой нише есть как крупные серийные заказчики, так и множество небольших фирм, которые разрабатывают специализированные приборы и средства связи. Общими для них являются требования к минимизации цены электронных компонентов, а также акцент на ряде специфических параметров, таких как линейность, низкий уровень интермодуляционных искажений и др. Наличие склада готовых изделий является существенным условием работы на данном рынке, поскольку величина спроса на средства связи может варьироваться в больших пределах за короткий период. То есть для конечных заказчиков часто возникают ситуации, когда

можно получить большой интересный коммерческий заказ только при условии быстрой поставки изделий, что возможно только при комплектовании их электронной компонентной базой со склада. Дополнительным преимуществом для работы на данном рынке является комплексное предложение по ЭКБ, когда изделиями одного производителя можно закрыть 80% всей номенклатуры приемопередающего СВЧ-тракта. Это позволяет продавать относительно дорогие компоненты с уникальными техническими характеристиками, являющимися ключевыми элементами РЭА, совместно с обычными типовыми изделиями, как например драйверные усилители, минимизируя при этом общую стоимость компонентов для типового заказчика и регулируя загрузку собственного производства для повышения эффективности.

Анализ бизнес-модели компании ChipWell показывает, что в ее ассортименте есть множество изделий, специально предназначенных для телекоммуникационных применений в промышленном исполнении и в недорогих пластиковых корпусах. Политика компании заключается в установлении конкурентных цен на свои изделия, что при наличии склада готовой продукции позволяет нам уверенно делать выводы о том, что рынок телекоммуникационного оборудования и систем связи является одним из основных для компании. При этом, учитывая специфику работы в КНР, производитель решил на базе уже разработанных кристаллов СВЧ МИС выпускать изделия и для специальных применений. Усилив свои компетенции в части корпусирования СВЧ-изделий в герметичные металлокерамические корпуса, производитель уже давно предлагает их для заказчиков, чьи изделия работают в жестких условиях эксплуатации. Такой подход позволяет эффективно работать на рынке ЭКБ для специальных систем, когда при сопоставимых характеристиках изделий в части электрических параметров и надежности, есть возможность навязать конкурентную ценовую борьбу таким китайским компаниям, как METDA (SETC13) и Boweri.

Политика компании в области инновации и интеллектуальной собственности является хорошим критерием для оценки производителя. Если некоторая компания действительно является разработчиком и производителем, то с большой долей вероятности она будет иметь патенты, которые относятся к данной области техники. Основной мотив разработчиков и производителей защищать свою интеллектуальную собственность – это сильная конкурентная среда, а также широкое развитие международного патентного права, которое уже доказало свою эффективность во всем мире. Мы видим, что у лидеров отрасли из Европы и США есть сотни и тысячи патентов в тех сферах производства, которыми они занимаются.

На примере компании ChipWell можно легко показать, что материнская компания этого бренда имеет сильный

патентный портфель. За период с 2015 по 2022 год на их имя зарегистрировано 58 документов (полезных моделей и изобретений) и 48 топологий интегральных микросхем. Из общего числа 79% объектов относится к СВЧ-микросхемам, что подтверждает компетенции компании в части разработки. 14% охранных документов описывают технологию, оборудование или оснастку для проведения сборки, тестирования и других операций на производстве. Этот факт косвенно указывает на наличие собственных сборочных мощностей, то есть компания не является дизайн-центром в чистом виде, а обладает компетенциями, опытом и интеллектуальной собственностью и в части технологии корпусирования.

Количественный анализ патентов и топологий интегральных микросхем позволяет оценить продуктовые направления, где производитель чувствует себя особенно хорошо. Для компании ChipWell к таким изделиям относятся маломощные усилители (18 охранных документов), усилители мощности (15), фильтры (15), переключатели (14). Большое количество изделий, относящихся к другим классам СВЧ-компонентов (16 охранных документов) косвенно говорит о том, что производитель имеет значительную номенклатуру выпускаемых микросхем, так как не каждая выпускаемая схема может быть запатентована или для нее есть смысл проводить мероприятия по защите интеллектуальной собственности.

Патентный портфель ChipWell является хорошим примером компании, которая нацелена на инновации и развитие своего ассортимента. Самое важное то, что инновационная политика является хорошо согласованной с текущим этапом жизненного цикла компании и ее бизнес-моделью. Отсутствие противоречий между этими основными аспектами деятельности компании является залогом ее долгосрочной стабильности.

Экспортная политика производителя ЭКБ в последнее время приобретает большую актуальность. Многие заводы и фабрики из Китая, имеющие техническую возможность производить ЭКБ мирового уровня, формулируют собственную политику работы с Россией. Некоторые, как например уже упомянутый производитель синтезаторов Renjian Microwave, делают свои микросборки только из компонентов, производимых в континентальном Китае, имея полную независимость от санкций. Другие, как например ChipWell, находятся в стадии строительства собственной полупроводниковой фабрики, пользуясь пока услугами foundry-компаний, которые частично могут быть подвержены санкционным рискам. Тем не менее, обе компании готовы полноценно работать с Россией, иногда дополнительно снижая риски за счет правильной комплексной работы с информацией или имея отдельный бренд для России, как в случае с ChipWell.

Прямым продолжением экспортной политики производителя является и его политика в области партнеров

и дистрибьюторов в России. Из всех возможных форм взаимодействия производителей с рынком, работа с дистрибьюторами показала себя наиболее удачной со всех сторон. Дистрибьютор, контролируя информационные, финансовые и товарные потоки между заказчиками и производителями и являясь, в пределе, в первую очередь ИТ, а уже потом финансовой и логистической компанией, создает ценность для всех участников рынка. Наличие такого надежного партнера у китайского производителя является сильным аргументом в пользу того, чтобы рассматривать это для плотной работы. Надо сказать, что попытки многих отечественных компаний выходить на производителей напрямую часто не приносят желаемого результата. Причиной этого является пресловутый сетевой эффект и эффект масштаба. Любой дистрибьютор, работая со множеством производителей и заказчиков, априори имеет больше информации о рынке, чем каждый из игроков по отдельности. Это преимущество в информации конвертируется в ту ценность, которую дистрибьютор несет всем участникам рынка.

Рассмотрев в комплексе все организационно-экономические моменты производителя, перейдем в следующей части к обсуждению технических вопросов.

## ТЕХНИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ПРОИЗВОДИТЕЛЯ ЭКБ

Первым техническим критерием, который инженер-разработчик РЭА может принять во внимание при рассмотрении нового производителя – это широта его номенклатуры. На примере ChipWell можно подсчитать число изделий по основным группам. В табл. 1 приведены данные для бескорпусных микросхем и GaN-транзисторов.

Выпускаемая номенклатура может быть оценена как широкая, поскольку включает 458 микросхем по 17 основным группам изделий. Они перекрывают практически все элементы радиочастотного тракта. В номенклатуре почти 90% микросхем относятся к GaAs-технологии и только 10% к GaN. Но для GaN внутрисогласованных транзисторов, которых заявлено 28 серийных изделий, номенклатура может быть легко расширена, поскольку пересогласование транзисторов на другие частотные диапазоны является достаточно типовой задачей для производителя. Также в рассмотрении мы не учитываем корпусированные компоненты, созданные на базе этих кристаллов, поскольку один и тот же кристалл может быть помещен как в пластиковый, так и в керамический корпус различных типоразмеров. Таким образом, реальная номенклатура выпускаемых производителем изделий составляет более 1000 различных наименований. По порядку величин это сопоставимо с номенклатурой таких крупных производителей как Qorvo, Cree, UMS, Macom, Mini-Circuits и др.

На следующем этапе исследования можно отметить граничные технические параметры, в пределах которых

**Таблица 1.** Анализ номенклатуры производителя СВЧ-компонентов ChipWell

Класс СВЧ-компонентов	Количество изделий
Маломощные усилители	54
Усилители средней мощности	29
Ультраширокополосные усилители	7
Предварительные усилители	31
Усилители высокой мощности	20
Переключатели (PIN и FET)	56
ГУН	8
Смесители частоты и умножители	18
Аттенюаторы (всех типов)	57
Фазовращатели	11
Ограничители мощности	15
Фильтры всех типов	22
Направленные ответвители и делители мощности	38
Эквалайзеры	32
Другие типы	14
GaN-усилители	18
Внутрисогласованные GaN-транзисторы	28
Всего	458

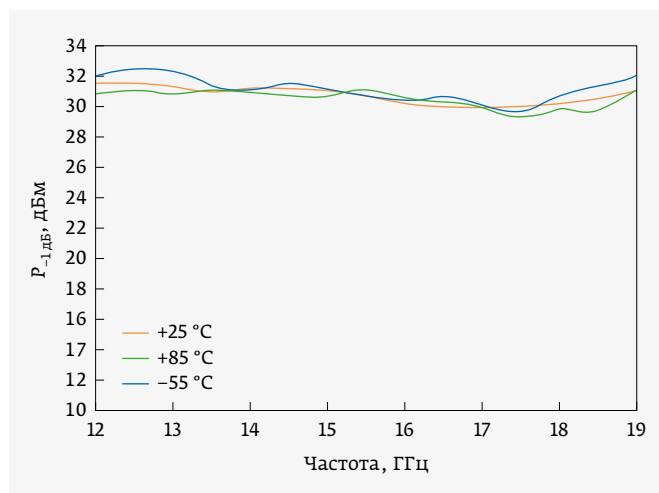
лежат все остальные изделия производителя. В табл. 2 указан перечень наименований изделий с описанием значения граничного, рекордного для данного производителя, параметра.

Анализируя табл. 2 можно отметить, что многие из параметров являются рекордными не только для данного производителя, но и очень близко подходят к лучшим параметрам СВЧ-изделий от признанных лидеров отрасли. Это говорит о высоком уровне зрелости как конструкторско-схемотехнических решений, так и технологии производства. Значения указаны для серийных изделий, которые выпускаются десятками тысяч штук в год.

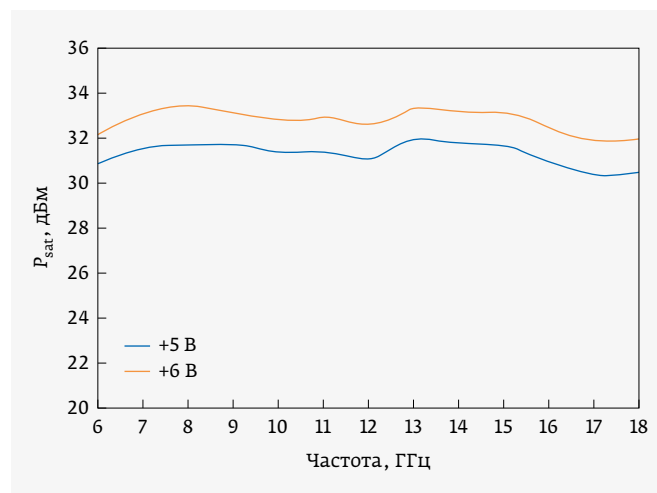
Еще один важный для разработчика критерий – это объем и качество технической документации на изделия, в частности полнота даташитов. Возвращаясь к примеру с компанией ChipWell, нужно отметить, что, по сравнению с некоторыми китайскими производителями, документация достаточно полная. Однако ее средний уровень все-таки не дотягивает до того, который мы видим у европейских и американских производителей. В типичном даташите на усилитель приведены основные графики. Например, как показано на рис. 1, для усилителя мощности есть график выходной мощности по уровню  $-1$  дБ ( $P_{-1\text{дБ}}$ ) при трех различных температурах во всем диапазоне частот. Во всех даташитах есть параметры  $S_{11}$  и  $S_{22}$ , правда измеренные обычно при  $25^\circ\text{C}$ . Для усилителей мощности также указываются графики выходной мощности ( $P_{\text{sat}}$ ), коэффициенты усиления в режиме слабого сигнала и коэффициент усиления по мощности. Для МШУ приводятся графики шума, в некоторых случаях показывается, как изменяется максимальная выходная мощность в зависимости от напряжения (рис. 2). Также для ряда нитрид-галлиевых усилителей приводятся графики выходной

**Таблица 2.** Граничные технические параметры СВЧ-компонентов ChipWell

Тип изделия	Номер изделия	Значение параметра
Маломощный усилитель	CWA2735-0.5-LNA	$NF=0,5$ дБ (макс.) в полосе 2,7–3,7 ГГц
Ультраширокополосный усилитель	CWA0067-17-BPA	Рабочая полоса частот DC – 50 ГГц
GaAs-усилитель мощности	CWA0812-P41-NPA	Выходная мощность $P_{\text{sat}} > 40$ дБм (CW) в полосе 8–12 ГГц
PIN диодный переключатель	CWA8-ISW	Переключатель 1 на 8 в полосе DC – 40 ГГц
Цифровой аттенюатор	CWA0050-7D-PD-DA	7 управляющих бит в полосе DC – 50 ГГц
GaN-усилитель	CWA0713P45C-NPA	Выходная мощность $P_{\text{sat}} > 44$ дБм в полосе 7–13 ГГц
GaN-транзистор	CWMPA0912P57C-S	Выходная мощность $P_{\text{sat}} > 57$ дБм (500 Вт) в полосе 960–1 220 МГц
Усилитель низких частот	CWA014B-GBA-S89M	Рабочая полоса частот от 1 МГц до 2 ГГц
GaAs-усилитель мощности	CWA1517-35-NPA	Коэффициент усиления $> 37$ дБ, выходная мощность $P_{\text{sat}} > 35$ дБм в полосе частот 15–17 ГГц



**Рис. 1.** График зависимости выходной мощности ( $P_{-1дБ}$ ) для усилителя CWA1219A-NPA

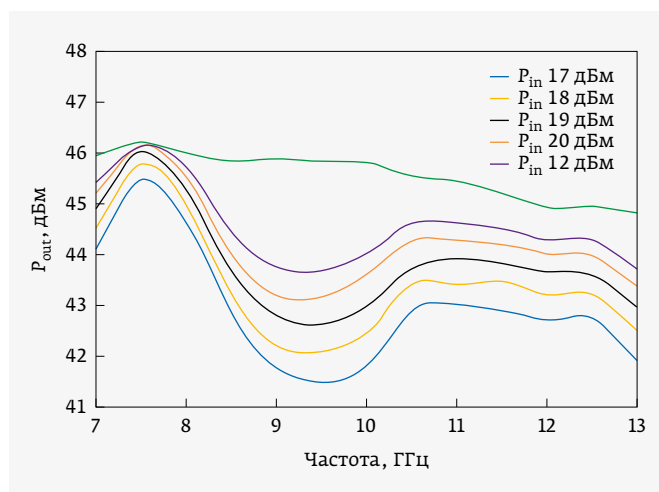


**Рис. 2.** График зависимости выходной мощности для усилителя CWA0618E-NPA в зависимости от напряжения

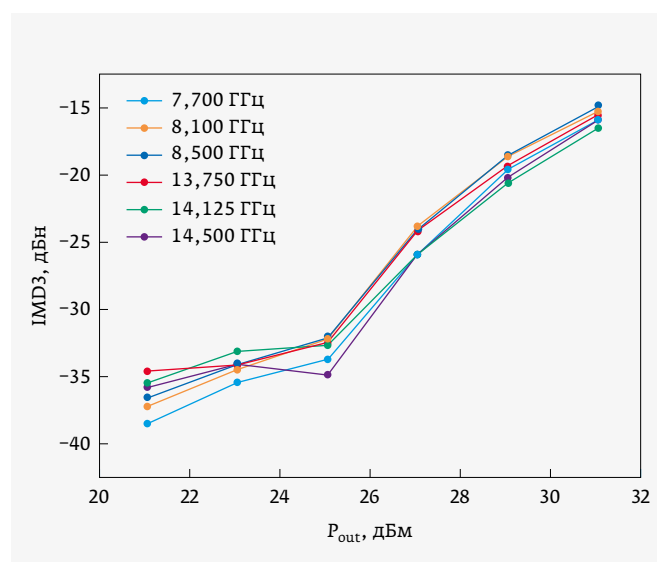
мощности ( $P_{out}$ ) в зависимости от входной ( $P_{in}$ ) во всей рабочей полосе частот (рис. 3).

Для других классов изделий приводятся типовые значения вносимых и возвратных потерь, диапазонов перестройки частот и фазовых шумов для ГУНов, ошибки установки фазы и аттенюации для фазовращателей и аттенюаторов, соответственно, АЧХ для фильтров и эквалайзеров. Во всех даташитах есть габаритные размеры кристаллов и рекомендованная схема их разварки, рекомендации по монтажу, особенно для высокоомощных усилителей. Для корпусированных компонентов также даны размеры корпусов.

Из недостатков можно отметить, что часто нет данных по величинам IMD3, не всегда приводятся графики PAE или потребляемого тока, ограничиваясь только табличными значениями. Из-за общего более низкого качества технической документации, характерного для многих китайских производителей, в даташитах иногда встречаются опечатки, часть подписей может быть не переведена с китайского языка. Нечетко прописываются условия, при которых проводилось измерение тех или иных параметров. Для транзисторов в стандартной документации не



**Рис. 3.** График зависимости выходной мощности от входной мощности для GaN-усилителя CWA0713P45C-NPA



**Рис. 4.** График зависимости IMD3 от выходной мощности  $P_{out}$  на разных частотах для усилителя CWA0618E-NPA

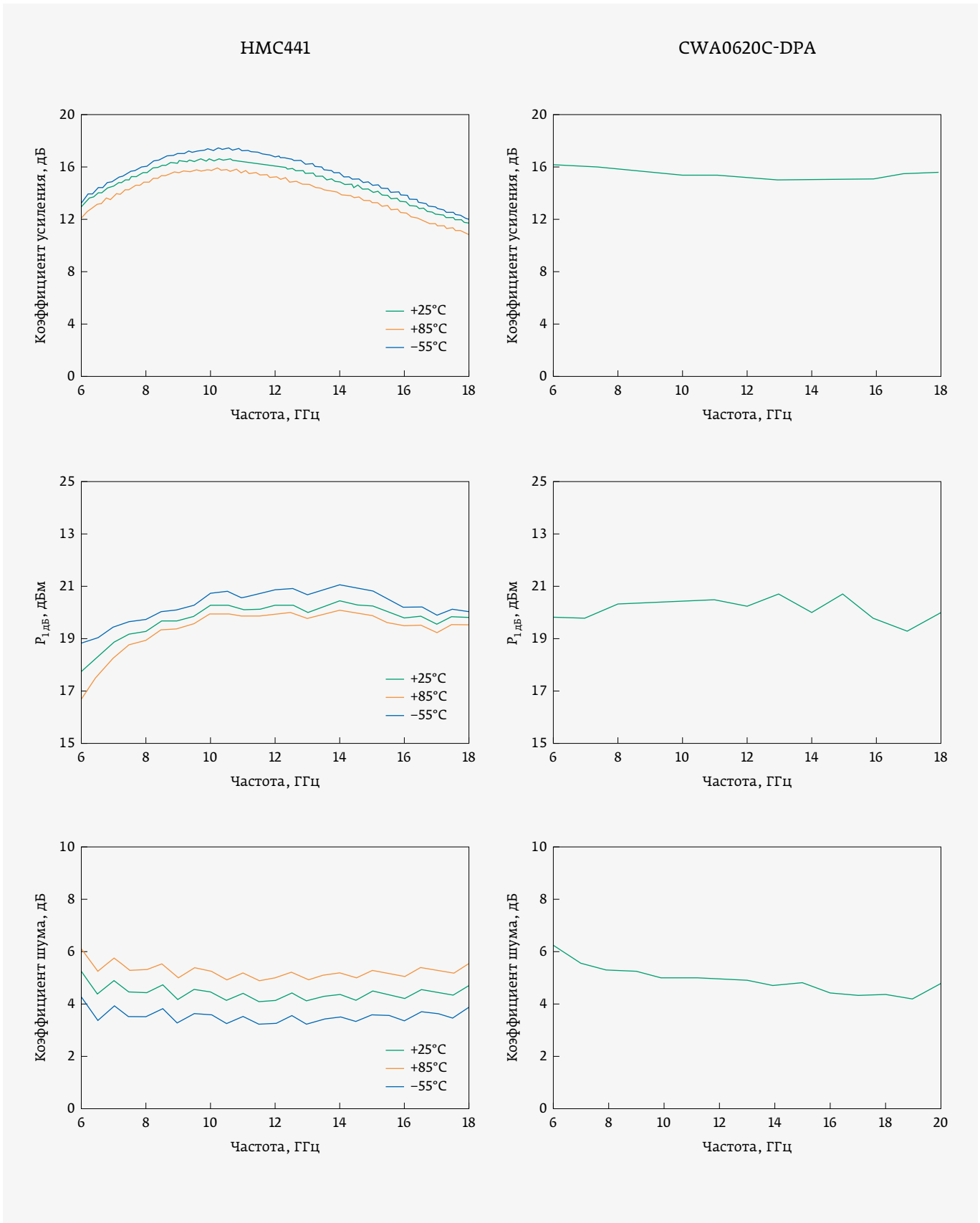


Рис. 5. Сравнение основных характеристик СВЧ МИС HMC441 и CWA0620C-DPA



**Рис. 6.** Заказная макетная плата усилителя в пластиковом корпусе типа SOT89

указываются load-pull-параметры. Моделей для САПР тоже нет в открытом доступе. Тем не менее по запросу в адрес производителя или дистрибьютора можно получить S-параметры для большинства серийных изделий. Эта отзывчивость производителя и его готовность работать с заказчиком является одним из перечисленных критериев, по которому стоит проводить оценку.

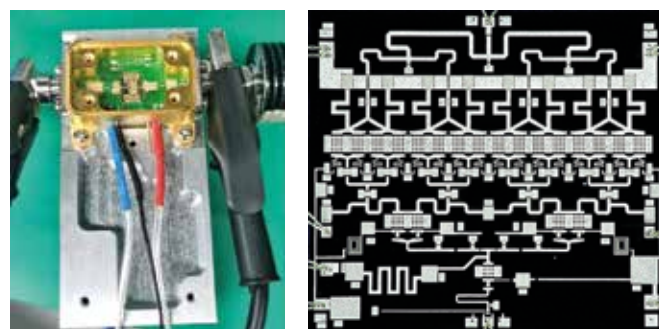
Для примера приведем случай из практики, когда один из заказчиков разрабатывал систему связи и ему нужно было выбрать предварительный усилитель мощности примерно на 0,3–0,5 Вт. Для целей унификации была высказана идея использовать широкополосный усилитель сразу для двух приборов, работающих в полосах X и Ku. Рассматривался усилитель ChipWell модели CWA0618E-NPA. В стандартном даташите не были приведены данные по интермодуляционным искажениям. По просьбе заказчика производитель согласился провести измерения этого параметра в нужных диапазонах и при обговоренных условиях (25 °C,  $f_1 - f_2 = 10$  МГц). После проведения измерений, на что ушло около двух недель, были представлены данные, по которым можно было построить график, показанный на рис. 4. В этом случае производитель показал свою заинтересованность в работе с заказчиком и безвозмездно провел эти измерения, а заказчик получил все необходимые данные для принятия обоснованного технического решения о применении данных компонентов в своих приборах.

Еще один пример такого рода работы. В серийное изделие заказчик искал замену микросхем HMC441 от Analog Devices – усилителя на полосу частот 6–18 ГГц. Из основных параметров, которые были важны для заказчика, ключевыми являлись выходная мощность, коэффициент усиления и коэффициент шума. Габариты кристалла этого широкополосного усилителя должны были быть близки к оригиналу. На замену рассматривалась МИС от ChipWell модели CWA0620C-DPA. При рассмотрении документации обнаружилось, что в ней не приведены значения для коэффициента шума. Производитель очень оперативно прислал

недостающие данные, в результате чего получилось сделать сравнение параметров двух микросхем (рис. 5). При сопоставимых размерах кристаллов – 0,95×0,95 мм у HMC441 и 1,05×1,025 мм у CWA0620C-DPA, основные характеристики усилителя оказались очень близки. При этом у изделия от ChipWell в полосе рабочих частот лучше равномерность коэффициента усиления и меньше вариации выходной мощности.

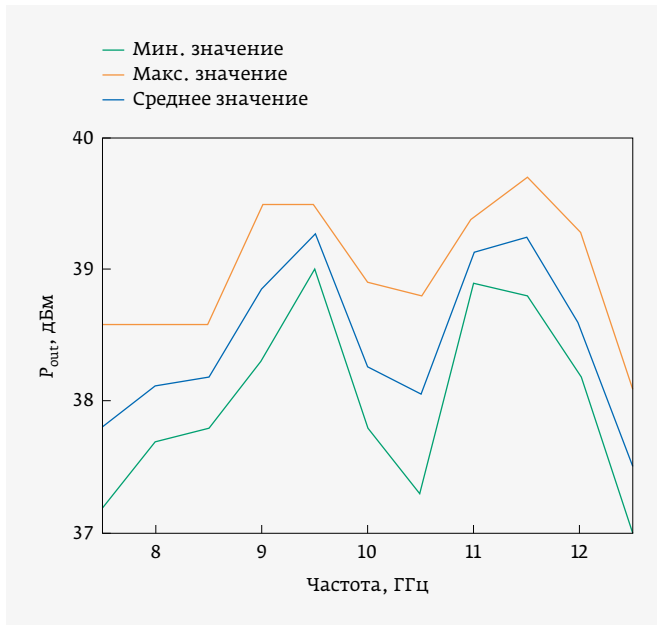
Наличие отладочных средств на изделия от рассматриваемого производителя является существенным критерием для проведения технической оценки. При этом для СВЧ-компонентов важным является наличие отладочных плат, которые могут быть изготовлены как по специальному заказу для конкретного заказчика, так и быть типовыми для серийных изделий. На рис. 6 показана макетная плата, сделанная для одного из заказчиков. Отдельно нужно сказать, что у компании ChipWell есть отладочные платы даже для бескорпусных микросхем, в которых СВЧ МИС установлена в большой корпус со съемной крышкой. На рис. 7 показан общий вид такой платы и кристалл усилителя.

Следующим важным этапом детального исследования производителя и его производственных возможностей является изучение опыта применения его изделий в серийных проектах. Закрытость китайских производителей и специфика их работы с государственными заказчиками не всегда позволяют раскрывать детали применения той или иной микросхемы, а также делиться другой конфиденциальной информацией. При необходимости производитель готов озвучить как общий перечень тех заказчиков, с которыми они работают, как например Huawei, ZTE, Philips Medical для производителя ChipWell, так и показать какие-то обезличенные данные по опыту применения своих изделий. Собрав достаточно много информации можно провести статистический анализ и на его основе сделать выводы как об уровне качества самой ЭКБ, так и о стабильности технологии. Для примера рассмотрим данные измерения выходной мощности изделия CWA7114 – GaAs-усилителя мощности от компании ChipWell. Для 100 микросхем



**Рис. 7.** Макетная плата и кристалл МИС 10-Вт GaAs-усилителя CWA7114



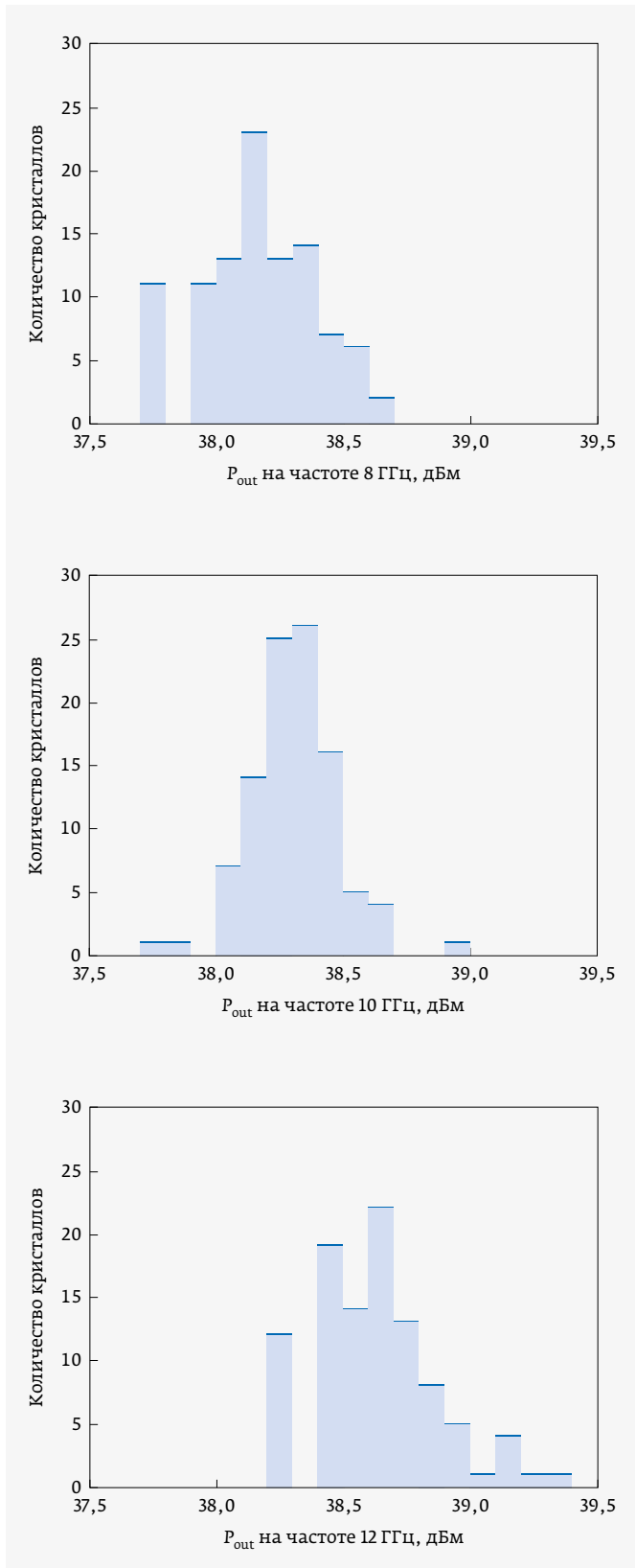


**Рис. 8.** Графики максимальной, минимальной и средней выходной мощности для партии из 100 кристаллов GaAs СВЧ МИС SWPA7114

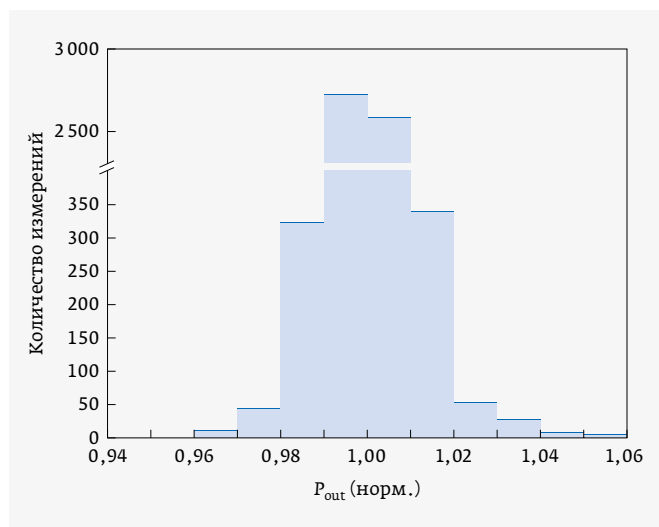
были проведены зондовые измерения в полосе частот от 7 до 13 ГГц с шагом 100 МГц. На рис. 8 показаны графики максимальной и минимальной выходной мощности в полосе рабочих частот для этой партии кристаллов, а также график среднего значения выходной мощности. Можно заметить вариации выходной мощности в полосе частот 8–12 ГГц в пределах  $\pm 0,8$  дБм. Максимальная разница между минимальными и максимальными значениями мощности в партии составляет 1,6 дБм при средней величине 0,9 дБм.

Интересным инструментом для анализа статистического разброса параметров в партии микросхем является рассмотрение распределений измеряемых значений по партии. На рис. 9 показаны гистограммы для выходной мощности при частотах 8, 10 и 12 ГГц.

Их анализ позволяет говорить о том, что распределение имеет один максимум, что косвенно свидетельствует о проведении технологического процесса без сбоев. Малое число измерений для одной частоты не позволяет по приведенным данным увидеть нормальное распределение параметров, как должно быть в стабильном технологическом процессе. Чтобы обобщить результаты измерений для этой партии можно провести нормализацию данных по значению средней выходной мощности для каждой частоты и объединить эти данные в один массив. Это позволяет исключить реально существующую зависимость выходной мощности микросхемы от частоты и сконцентрироваться на рассмотрении только отклонений от среднего значения. При таком подходе для статистического расчета используются



**Рис. 9.** Гистограммы распределения выходной мощности для партии из 100 кристаллов GaAs СВЧ МИС SWPA7114

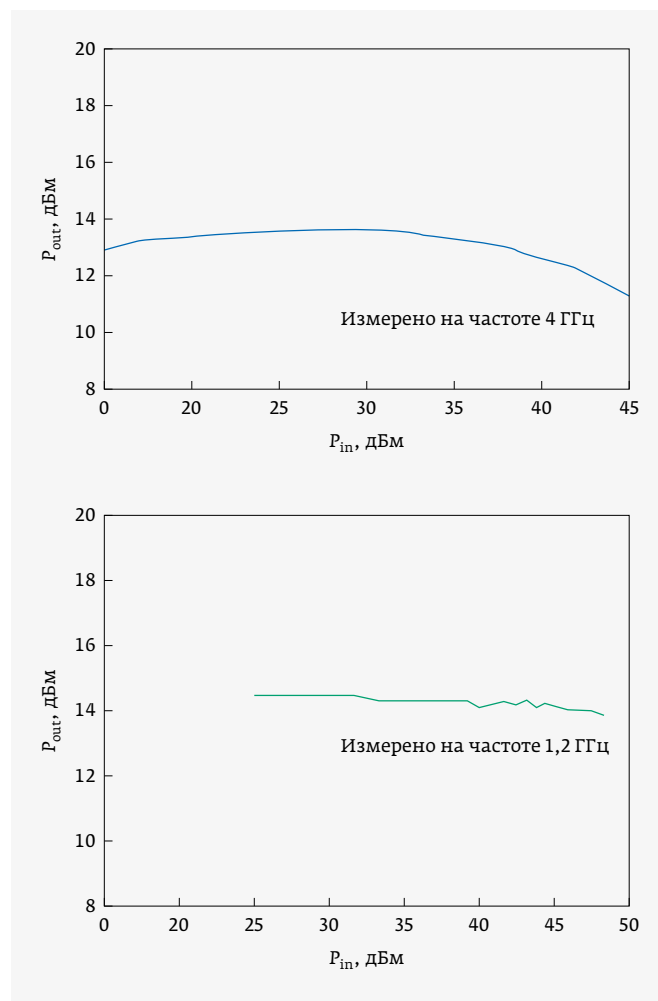


**Рис. 10.** Гистограмма распределения нормализованной выходной мощности для партии из 100 кристаллов GaAs СВЧ МИС CWP47114

все 6100 измерений. На рис. 10 показана гистограмма распределения нормализованной выходной мощности.

Из приведенных данных следует, что 5299 значений (86%) лежат в пределах только двух интервалов, отстоящих на  $\pm 1\%$  от среднего значения. Стандартное среднеквадратичное отклонение составляет 0,7%, а абсолютно все измеренные величины лежат в пределах от  $-4$  до  $6\%$ . Все вместе это указывает на достаточно высокую повторяемость параметров изделий и стабильность технологии рассматриваемого производителя. Работая с этими данными разработчики РЭА могут обоснованно прогнозировать выходные параметры своих систем при серийном производстве. Кроме того, дополнительным бонусом работы с некоторыми производителями является то, что они предоставляют своим заказчикам данные с автоматического выходного электрического контроля совместно с партией товаров, как это делает ChipWell. Это позволяет непосредственно на производстве контролировать статистику параметров поставляемой ЭКБ и накапливать данные для последующего анализа.

Также эти данные нужно учитывать и при проведении тестирования образцов изделий от нового производителя. Понятно, что эти образцы могут быть выбраны из производственной партии случайным образом, поэтому их параметры могут отличаться в указанных пределах. Тестирование образцов силами заказчиков или испытательных центров может дать много информации об изделиях, их качестве, а также об особенностях применения с учетом специфики работы ЭКБ в приборах заказчика. Приведем результаты тестирования микросхемы ограничителя мощности CWP0004B-LM-CQ4 в керамическом корпусе



**Рис. 11.** Графики выходной мощности ограничителя CWP0004B-LM-CQ4

4×4 мм и с предельной допустимой входной мощностью в 45 дБм, которая серийно выпускается компанией ChipWell. На рис. 11 показаны графики выходной мощности ограничителя, указанные в даташите и измеренные при тестировании заказчиком. Основные параметры сохранены, но из-за разницы частот, 4 ГГц при измерениях производителем и 1,2 ГГц в аппаратуре заказчика, есть отличие в уровне выходной мощности на величину примерно 1 дБм. Заказчик тестировал ограничитель далеко за пределами максимальной величины, указанной в спецификации (45 дБм). Это позволило ему опытным путем понять реальные возможности микросхемы, поскольку она сохраняла свою работоспособность при уровнях входной мощности 48 дБм. Тепловизионные исследования позволили оценить температуру ограничителя при различных значениях входной мощности (рис. 12). В первом случае при входной мощности 48 дБм микросхема еще сохраняла свою работоспособность. При повышении мощности до 49 дБм происходит

локальный перегрев структуры, что запускает процессы, приводящие к необратимому нарушению ее функционирования даже после снятия входного сигнала.

Тестирования образцов – это эффективный инструмент для получения информации о реальных характеристиках ЭКБ, планируемой к применению в РЭА. На этом этапе можно проверить и учесть все особенности как в части схемотехники и конструкции, так и в части условий эксплуатации приборов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье на примере нового производителя СВЧ-компонентов из КНР, компании ChipWell, показано, какими критериями можно руководствоваться разработчикам аппаратуры при выборе ЭКБ иностранного производства для своих изделий. Были предложены организационно-экономические критерии оценки производителя, которые ранее практически не принимались во внимание разработчиками, в выборе которых у них нет достаточного опыта и детального понимания особенностей ведения экономической деятельности производителями ЭКБ. Приведен пример того, как можно рассматривать возможности потенциального поставщика компонентов и оценивать его с технической точки зрения. Здесь

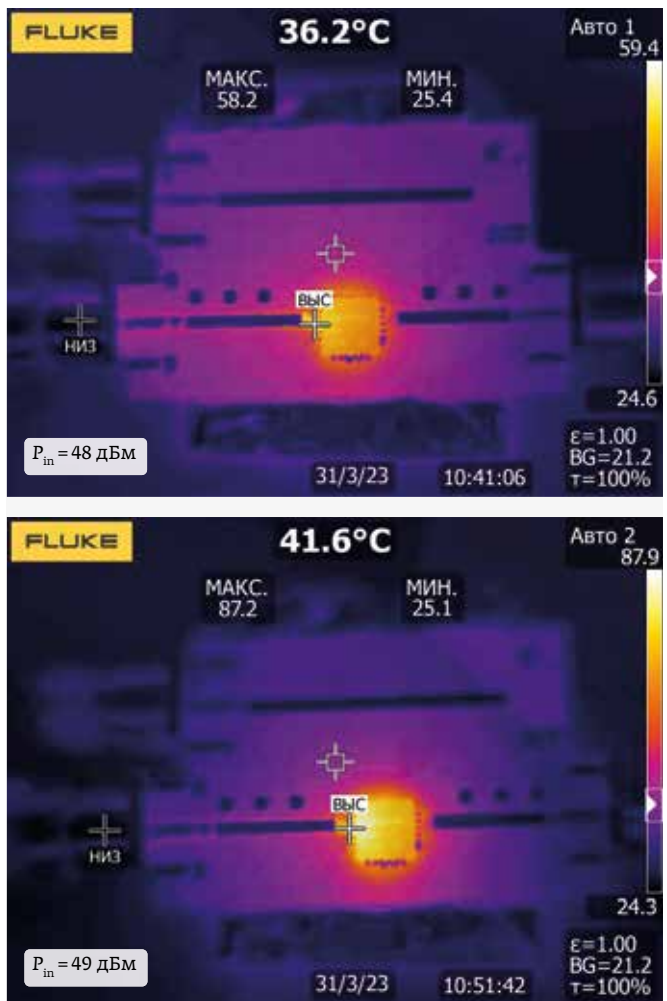


Рис. 12. Тепловизионные изображения ограничителя SWP0004B-LM-CQ4 при различных величинах мощности входного сигнала

во внимание принимаются общие характеристики выпускаемой номенклатуры, достигаемый уровень качества производимой ЭКБ относительно мирового уровня, что находит свое отражение в деятельности по защите интеллектуальной собственности. Рассмотрены вопросы качества технической документации и поддержки, приведен пример оценки характеристик изделий и стабильности технологии при помощи методов статистической обработки данных, которые производитель предоставляет совместно с поставляемыми изделиями. Приведена техническая информация по некоторым электронным компонентам, которые рассматриваются к применению реальными заказчиками. Описанные в статье подходы к оценке производителей ЭКБ являются обобщением практического опыта, они могут применяться инженерами-разработчиками при принятии решения об использовании той или иной компонентой базы. ●

ЭЛЕКТРОНИКА НАНОТЕХНОЛОГИИ ФОТОНИКА СВЧ-ЭЛЕКТРОНИКА АУДИТИВНО-СТАБИЛИЗИРОВАННЫЙ

ИНФОПРОСТРАНСТВО  
ФЕССИОНАЛОВ

 ТЕХНОСФЕРА

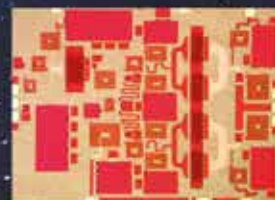
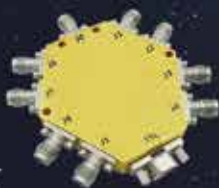
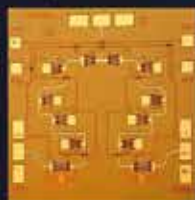
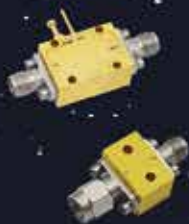
Мы на  YouTube



Подписывайтесь

# SDS

КВАЛИФИЦИРОВАННЫЙ ПОСТАВЩИК ВЫСОКОНАДЕЖНЫХ  
ЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ И РЕШЕНИЙ



## ТЕХНОЛОГИИ:

- GaN,
- GaAs,
- SiGe

## КЛЮЧЕВЫЕ ПАРТНЕРЫ:

- ChipWell
- NewNovo
- Renjian

- Усилители
- Транзисторы
- Смесители
- Переключатели
- Синтезаторы частот
- Атенюаторы
- Ограничители
- Фазовращатели
- Генераторы
- Фильтры

- Кристаллы и пластины МИС
- Компоненты в пластиковых корпусах
- Компоненты в металлокерамических корпусах
- Модули