

А.С. Подстригаев, кандидат технических  
наук  
А.В. Смоляков

## Оценка экономического эффекта от использования универсального технологического приспособления для настройки СВЧ-устройств при изготовлении сложных радиоэлектронных комплексов

*Время производства опытного образца сложного радиоэлектронного комплекса может быть снижено за счет использования универсального технологического приспособления для настройки и проверки полосковых СВЧ-устройств. Получены выражения для оценки экономического эффекта от внедрения приспособления. Выполнена оценка экономического эффекта на примере станции помех.*

Создание опытного образца сложного радиоэлектронного комплекса, в отличие от серийного производства, сопровождается значительным объемом макетных и экспериментальных работ. Эти работы требуют изготовления разнообразной технологической оснастки, а также многократного переоборудования рабочих мест для настройки широкой номенклатуры узлов и, соответственно, по сравнению с серийным производством требуют больших временных затрат. Следовательно, для сокращения времени производства опытного образца и его приближения ко времени серийного производства процессы макетирования и регулировки узлов необходимо оптимизировать. С этой целью разработано универсальное технологическое приспособление<sup>1</sup> для настройки и проверки полосковых СВЧ-устройств из состава радиоэлектронного комплекса [2, 3].

Приспособление содержит металлическое основание для размещения на нем плат СВЧ-устройств. К закрепленным на основании платам присоединяют коаксиально-микрополосковые переходы, другие концы которых соединяют с радиоизмерительной аппаратурой. Приспособление снабжено подвижными элементами, обеспечивающими возможность установки устройств с различными габаритными и присоединительными размерами, что и обуславливает его универсальность.

Целью настоящей работы является оценка экономического эффекта от внедрения описанного приспособления.

Точное математическое описание всех существующих типов производств с учетом индивидуальных особенностей предприятий является затруднительным, а учет в таком описании всех особенностей конкретных изделий практически невозможен [4, 5]. Поэтому для определения экономического эффекта от внедрения приспособления целесообразно сделать несколько допущений. Примем, что в любом изделии имеется  $N_1$  СВЧ-узлов первого типа, которые производятся строго последовательно (т. е. для настройки последующих узлов необходимо знание выходных характеристик предыдущих узлов), и  $N_2$  СВЧ-узлов второго типа, которые производятся параллельно на  $P_0$  производственных линиях, каждая из которых оснащена одним рабочим местом регулировщика. Также будем считать, что производство любой оснастки и любого СВЧ-узла занимает некоторое среднее время ( $t_{osn}$  и  $t_y$  соответственно).

---

1 Патент 2577805 РФ, МПК G01R 29/00. Приспособление для снятия характеристик СВЧ-устройств / Подстригаев А.С., Фомченкова Н.И.; Открытое акционерное общество «Брянский электромеханический завод». № 2014151345/28; заявл. 17.12.2014; опубл. 20.03.2016.

Экономический эффект от внедрения описанного приспособления достигается за счет нескольких составляющих. Во-первых, за счет экономии времени на производстве индивидуальных оснасток. Положим, опытный образец содержит  $M=N_1+N_2$  СВЧ-узлов, требующих регулировки. Среди них можно выделить  $d=d_1+d_2$  групп однотипных узлов (для регулировки всех узлов группы достаточно одного комплекта оснастки) по  $K_i$  узлов в  $i$ -й группе, где  $d_1$ ,  $d_2$  – количество групп среди узлов первого и второго типов соответственно. Производство оснасток ведется на  $P_1$  производственных линиях. В таком случае потребуется произвести  $M-\sum_{i=1}^d(K_i-1)$ .

При этом экономия времени составит:

$$T_{\vartheta 1}=\left[M-\sum_{i=1}^d(K_i-1)\right]\cdot\frac{t_{ocn}}{P_1}.$$

Во-вторых, время производства опытного образца сократится на этапе регулировки СВЧ-узлов, так как исключается необходимость повторной подготовки индивидуального рабочего места перед регулировкой каждого следующего узла. Подготовка занимает время  $t_{pm}$ . Среди узлов первого типа имеется  $d_1$  групп однотипных, а среди узлов второго типа –  $d_2$  групп. Тогда время регулировки узлов первого типа сократится на  $\left[N_1-\sum_{i=1}^{d_1}(K_i-1)\right]t_{pm}$ , а второго типа – на  $[N_2-\sum_{i=1}^{d_2}(K_i-1)](t_{pm}/P_0)$ . Таким образом, на этапе регулировки будет сэкономлено время:

$$T_{\vartheta 2}=\left[N_1-\sum_{i=1}^{d_1}(K_i-1)\right]t_{pm}+\left[N_2-\sum_{i=1}^{d_2}(K_i-1)\right]\cdot\frac{t_{pm}}{P_0}.$$

Дополнительное снижение временных затрат достигается введением входного контроля покупных СВЧ-модулей с использованием приспособления. Входной контроль позволяет исключить устранение неисправностей, выявляемых только после сборки узлов и обусловленных монтажом несоответствующих СВЧ-модулей. При этом под несоответствием СВЧ-модуля понимается отклонение какого-либо его параметра от заявленного значения во всем рабочем диапазоне частот. Как правило, время выполнения входного контроля одного модуля  $t_{ex}$  значительно меньше времени  $t_{ymp}$ , затрачиваемого на диагностику неисправности и замену покупного СВЧ-модуля. Считая, что изделие содержит  $n$  покупных модулей, а средняя доля брака в них  $s$ , на устранении неисправностей будет сэкономлено  $snt_{ymp}$  минут, а на входной контроль затрачено  $nt_{ex}$  минут. Итоговая экономия времени при введении входного контроля составит:

$$T_{\vartheta 3}=snt_{ymp}-nt_{ex}.$$

Суммируя экономию времени от всех вышеописанных эффектов, получаем формулу для приближенной оценки сокращения времени производства опытного образца сложного радиоэлектронного комплекса:

$$\begin{aligned} T_{\vartheta}=T_{\vartheta 1}+T_{\vartheta 2}+T_{\vartheta 3} &=\left[M-\sum_{i=1}^d(K_i-1)\right]\cdot\frac{t_{ocn}}{P_1}+\left[N_1-\sum_{i=1}^{d_1}(K_i-1)\right]\cdot t_{pm}+ \\ &+\left[N_2-\sum_{i=1}^{d_2}(K_i-1)\right]\cdot\frac{t_{pm}}{P_0}+snt_{ymp}-nt_{ex}. \end{aligned} \quad (1)$$

Оценить общее время производства СВЧ-части радиоэлектронного комплекса можно по формуле:

$$T = \left( N_1 + \frac{N_2}{P_0} \right) t_y.$$

Тогда относительную экономию времени можно рассчитать по выражению:

$$E = \frac{T_{\vartheta}}{T} \cdot 100\%. \quad (2)$$

Оценить вклад отдельного  $k$ -го составляющего в суммарную экономию времени можно, используя следующую формулу:

$$E_k = \frac{T_{\vartheta k}}{T_{\vartheta}} \cdot 100\%. \quad (3)$$

В качестве примера рассчитаем, на сколько сократится время производства опытного образца станции помех<sup>1</sup>, построенной по схемам, представленным в [1]. Станция помех содержит семь идентичных приемных каналов, каждый из которых содержит 20 частотных каналов, и одноканальный передатчик помех. Исходя из структуры станции помех ориентированное количество СВЧ-узлов в ней составляет 420 штук. Считая, что ввиду унификации 30% СВЧ-узлов не требуют настройки, настройка требуется для  $M=294$  СВЧ-узлов. Среди настраиваемых узлов 20 групп по семь ( $K_i=7$ ) однотипных узлов второго типа ( $d_1=0, d=d_2=20$ ). Считаем, что разработка и изготовление одного комплекта оснастки в условиях опытного производства в среднем занимает  $t_{och}=5$  дней, и одновременно может изготавливаться  $P_1=10$  оснасток.

Повторная сборка рабочего места перед регулировкой каждого следующего узла занимает около  $t_{pm}=10$  минут, и в среднем производится  $P_0=2$  узла одновременно.

Считая, что усилитель промежуточной частоты в каждом из 20 частотных каналов приемника станции помех выбирается, учитывая экспериментально полученное значение коэффициента передачи широкополосного смесителя, а приемные каналы идентичны и после изготовления первого из них остальные могут изготавливаться параллельно, количество узлов первого типа в станции помех  $N_1=20$ .

Согласно выбранной структуре станции помех при производстве ее опытного образца используется ориентировочно  $n=420$  покупных СВЧ-модулей (СВЧ-микросборок усилителей высокой и промежуточной частоты, преобразователей частоты). Согласно имеющейся статистике процент брака СВЧ-модулей составляет приблизительно  $s=15\%$ . Входной контроль одного модуля занимает около  $t_{bx}=3$  мин. На поиск неисправного элемента, отключение от рабочего места, демонтаж, разборку, установку исправного элемента, повторную сборку, подключение к рабочему месту и быструю проверку типового узла средней сложности затрачивается около  $t_{usmp}=90$  мин.

Без использования универсального приспособления для регулировки СВЧ-устройств производство каждого узла занимает в среднем  $t_y=3$  дня.

Таким образом, согласно выражениям (1) и (2) время производства СВЧ-части опытного образца станции помех при внедрении универсального технологического приспособления для регулировки СВЧ-устройств сократится на  $T_{\vartheta}=89$  дней, или на  $E=18,9\%$ .

1 Патент 2237372 РФ, МПК H04K 3/00. Устройство формирования ответных помех радиолокационным станциям / Вернигора В.Н., Володин А.В., Дятлов А.П., Поляниченко В.П.; ФГУП «ВНИИ «Градиент». № 2002100954/09; заявл. 08.01.2002; опубл. 27.09.2004; Патент 2329603 РФ, МПК H04K 3/00. Устройство для создания прицельных помех радиолокационным станциям / Володин А.В., Токарев В.А.; ФГУП «ВНИИ «Градиент». № 2006114266/09; заявл. 26.04.2006; опубл. 20.11.2007.

Наибольшее количество времени при этом будет сэкономлено на производстве индивидуальных оснасток. Согласно (3) вклад этого этапа в общую экономию времени составит  $E_1=97,8\%$ .

Выполненные расчеты показали, что внедрение описанного приспособления имеет значительный экономический эффект и позволяет приблизить временные затраты при изготовлении опытного образца сложного радиоэлектронного комплекса к времененным затратам при изготовлении серийного образца.

#### **Список использованных источников**

1. Перунов Ю.М., Куприянов А.И. Радиоэлектронная борьба: радиотехническая разведка. – М.: Вузовская книга, 2016. – 190 с.
2. Подстригаев А.С., Лихачев В.П., Рязанцев Л.Б. Технология настройки полосковых СВЧ-устройств // Измерительная техника. – 2016. – № 5. – С. 66-68.
3. Podstrigaev A.S. All-purpose adjuster for microwave microstrip devices // Proceedings of 24th International Crimean Conference Microwave & Telecommunication Technology (CriMiCo), 2014, September 7-14. Vol., pp.896-897. doi: 10.1109/CRMICO.2014.6959682.
4. Кротова Е.И. Основы конструирования и технологии производства РЭС: Учеб. пособие. – Ярославль: Изд-во Яросл. гос. ун-та им. П. Г. Демидова, 2013. – 192 с.
5. Тупик В.А. Технология и организация производства радиоэлектронной аппаратуры: Учеб. пособие. – СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2004. – 144 с.
6. Перунов Ю.М., Куприянов А.И. Радиоэлектронная борьба: радиотехническая разведка. – М.: Вузовская книга, 2016. – 190 с.