

К ВОПРОСУ ОБ ОЦЕНКЕ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

В. Г. Новиков

Харьков

Основным критерием, определяющим в конечном итоге эффективность проектирования и изготовления аппаратуры, является обеспечение тактики технических требований и ее надежности. Все другие требования подчиняются этому, на наш взгляд, основному критерию. Проблема надежности охватывает комплекс вопросов проектирования, производства и эксплуатации.

Важную роль играют общие требования — экономические, социальные, эксплуатационные, технологические и производственные. Они характеризуют аппаратуру как объект эксплуатации и как объект производства.

Требования к аппаратуре как объекту эксплуатации определяются задаваемыми условиями эксплуатации. Они зависят от внешних факторов, определяемых температурой, влажностью, атмосферным давлением. Аппаратура, предназначенная для крайнего Севера, будет отличаться от той, которая готовится для Средней Азии.

Внутренние факторы зависят от работы конструкции и обычно характеризуются перегрузками, ударными нагрузками, вибрациями, нагревом и т. д.

Социальные требования определяются условиями обслуживания аппаратуры, стремлением создать наилучшие условия для обслуживающего персонала.

Рассмотренные требования обычно задаются специальными документами (ТТЗ), (ТЗ) и являются обязательными на стадиях проектирования и изготовления аппаратуры.

Технологические требования, предъявляемые к аппаратуре как объекту производства, связаны с процессом производства, в их основе лежат экономические и эксплуатационные показатели. Они предъявляются как к отдельным элементам, составляющим прибор, систему, так и к системе в целом. Оба вида показателей сводятся к определению путей уменьшения себестоимости деталей, процессов сборки и регулировки, а также разборки, транспортировки и монтажа на месте установки.

Главное производственное требование состоит в том, чтобы конструкция приборов радиоаппаратуры соответствовала оборудованию и производственным возможностям завода. Остальные производственные требования связаны главным образом с планированием и направлены на упрощение и удешевление производственного процесса. Наиболее важные из них — требование наименьшего количества деталей, наиболее короткого маршрута обработки, возможно большей унификации, наименьшего количества марок применяемых материалов, наиболее дешевых средств транспортировки деталей внутри цеха, завода и другие.

Понятие технологичности радиоэлектронной аппаратуры

Для оценки приборов как объекта производства служит понятие технологичность. Теоретических определений понятия технологичности существует в настоящее время довольно много. Однако дать какое-либо определение, годное для всех случаев, вряд ли возможно. Это объясняется тем, что технологичность определяется не только технологическими и производственными показателями, но также экономическими, эксплуатационными и социальными требованиями.

Наиболее приемлемой формулировкой технологичности аппаратуры следует считать такое свойство создаваемых приборов, которое позволяет обеспечить их изготовление, удовлетворяя заданные требования, при меньших затратах по сравнению с производством другой аппаратуры, обладающей аналогичными характеристиками. Технологичность, как требование к конструкции, должна рассматриваться в ТТЗ на разработку и определяется условиями эксплуатационной надежности.

Применять прогрессивные способы изготовления, снижать затраты рабочего времени, уменьшать расходы материалов и, следовательно, повышать экономичность производства можно при условии строгого соблюдения правил технологичности.

До настоящего времени нет систематизированных данных для оценки технологичности радиоэлектронной аппаратуры.

Конструкцию аппаратуры следует считать технологичной, если изготовление ее требует небольшого количества специального и уникального оборудования, а также специальной технологической оснастки, контрольно-измерительной аппаратуры и нестандартного оборудования. При этом конструкция приборов и блоков должна обеспечивать выгодные расчленения, получение заготовок прогрессивными методами, организацию сборочных и монтажных процессов на конвейерах. Элементы же, полуфабрикаты, крепежные детали и материалы должны применяться с учетом преемственности и наибольшей степени унификации.

Объективно оценить технологичность аппаратуры можно только при наличии технико-экономических показателей всех фаз производства, характеризующих изготовление не только деталей, но и изделия в целом. Они представляют собой систему качественных измерителей, всесторонне характеризующих производственные возможности спроектированного объекта и издержки на изготовление.

Содержание технико-экономических показателей можно условно разделить на следующие четыре группы:

1. Группа технических параметров характеризует основные тактико-технические свойства проектируемого объекта.
2. Группа технологических показателей охватывает уровень унификации, стандартизации и нормализации применяемых узлов и деталей.
3. Группа эксплуатационных показателей включает эксплуатационные издержки всех видов, расход энергии, рабочей силы, транспортабельность, неизменность свойств при хранении и др.
4. Группа экономических показателей включает в себя себестоимость, расход материалов и рабочей силы, длительность производственного цикла, рентабельность, сроки окупаемости и т. д.

По одному и даже по группе отдельных показателей невозможно сделать аргументированный вывод о техническом и экономическом уровне разработки; он может быть сделан только в результате специального анализа всей системы показателей.

Наиболее убедительным методом технико-экономической оценки

достигнутых результатов в области технологичности является метод сравнения технико-экономических показателей спроектированного объекта с показателями ранее существовавших изделий или с принятыми отраслевыми нормами.

Для количественной оценки технологичности, применительно к механической обработке деталей и сборки узлов, обычно используют методику, основанную на законах теории вероятности и приемах математической статистики.

В основу расчета положена конструкторская себестоимость, которая устанавливается как сумма следующих величин:

- 1) себестоимость полуфабриката;
- 2) себестоимость механической обработки;
- 3) себестоимость сборки.

Стоимость покупных деталей во внимание не принимается как величина, всегда положительно влияющая на уменьшение себестоимости прибора.

Экономический коэффициент конструктивного оформления и пространственной компоновки, коэффициент повторяемости, уровень нормализации и унификации конструкции, коэффициент заимствования (преемственности) определяют с учетом соотношения в аппаратуре общего числа деталей, а также количества нормализованных, заимствованных, покупных и оригинальных деталей. При этом конструкцию аппаратуры можно считать более технологичной, если в ней широко применяются детали и узлы, ранее находившиеся в производстве.

Заимствованные детали и узлы не требуют проектирования технологических процессов и изготовления оснастки. Чем меньше в конструкции оригинальных деталей и узлов, тем меньше потребность в оснастке и, следовательно, короче календарный цикл подготовки производства.

Унификация, нормализация и преемственность — это радикальные средства повышения технологичности. Следовательно, повышение технологичности прямо зависит от постановки и решения в КБ этих вопросов.

При оценке технологичности конструкции прежде всего должна быть принята во внимание сложность оригинальных деталей, так как она влияет на объем подготовки производства.

Для характеристики сложности изделия вводится понятие коэффициента сложности и степени расчлененности на сборочные узлы. Детали и узлы при этом делятся на группы в зависимости от методов их изготовления, сложности сборки и количества необходимой оснастки. Коэффициенты, характеризующие их сложность, определяются дифференцированно.

Как уже указывалось выше, полная и объективная оценка технологичности радиоэлектронной аппаратуры может быть установлена только при рассмотрении значения комплекса показателей технологичности с учетом всех фаз проектирования и производства, а также степени их влияния на конструкцию и содержание технико-экономических показателей освоения и серийного выпуска.

До настоящего времени не выработаны методики и нормативы для комплексной оценки уровня технологичности радиоэлектронной аппаратуры. Конструкторы и технологи пытаются давать такую оценку в каждом отдельном случае методом сопоставления показателей для однородных систем, но это громоздкий и подчас совершенно неприемлемый метод. В то же время следует иметь в виду, что от технологичности аппаратуры в большой степени зависит успех осуществления замыслов конструктора по обеспечению заданных параметров, качества и надежности аппаратуры. Технологичность аппаратуры как объективная оценка качества конструкции должна находить отражение при передаче документации главным конструктором ведущему заводу.

К единой оценке технологичности изделий

При существующей системе оценки степени технологичности изделия одновременно используется несколько признаков. В этих условиях, как правило, невозможно из двух вариантов конструкции выбрать более технологичный, ибо по некоторым признакам лучшим может оказаться один, а по остальным — другой вариант. В таких случаях, когда неизвестно, какому из нескольких вариантов изделий следует отдать предпочтение по технологическим соображениям, следует выработать единый показатель технологичности T для всех изделий данного типа. При этом тип изделия определяется как совокупность изделий одного и того же (или сходного) назначения, к которым предъявляются одинаковые (или сходные) технические требования. Искомый показатель технологичности T не должен противоречить существующим представлениям о степени технологичности.

Требования, предъявляемые к показателю технологичности

Показатель технологичности T данного изделия зависит от величины S стоимости (или трудоемкости) его изготовления (в соответствии с принятой формулировкой). Не уточняя пока способа определения величины S , совершенно естественно выдвинуть следующие требования к показателю технологичности T как функции от S .

1. При возрастании S значение T должно убывать.

2. Показатель технологичности T должен быть безразмерной величиной, лежащей в пределах от нуля до единицы.

3. При $S = 0$ должно $T = 1$, т. е. изделию с нулевой себестоимостью изготовления следует приписать максимальную технологичность. Хотя такой случай невозможен, но реальный смысл имеет соотношение $\lim_{S \rightarrow 0} T = 1$ (т. е. при неограниченном убывании себестоимости показатель технологичности стремится к единице).

4. При $S = \infty$ должно $T = 0$, т. е. изделию с бесконечной себестоимостью следует приписать минимальную технологичность. На деле такой случай также нереален, но реальный смысл имеет соотношение $\lim_{S \rightarrow \infty} T = 0$ (т. е. при неограниченном возрастании себестоимости показатель технологичности стремится к нулю).

5. Если изделие данного класса проектируется впервые, т. е. существует только один вариант этого изделия и невозможно определить показатель его технологичности, то можно приписать любую технологичность T_0 , больше нуля, но меньше единицы. После этого показатели технологичности всех других вариантов должны определяться однозначно. Первый вариант изделия в некотором смысле определяет единицу измерения технологичности.

6. Значение показателя технологичности должно быть устойчивым по отношению к ошибкам вычисления величины S . Это означает, что относительная погрешность в определении T должна быть не больше относительной погрешности вычисления величины S . Более того, желательно, чтобы при переходе от S к T относительная погрешность существенно снижалась.

7. Определять показатель технологичности T необходимо в достаточно сжатые сроки и с достаточной точностью даже при ориентировочных данных о величине S . Первое из этих требований означает, что формула для определения T должна быть достаточно простой, а второе —

что неизбежные при вычислении S ошибки не должны существенно влиять на значение T .

Легко заметить, что всем перечисленным требованиям и пожеланиям удовлетворяет формула

$$T = \frac{S_0}{S_0 + S}, \quad (1)$$

где S_0 — себестоимость какого-нибудь произвольного варианта изделия, принятого за базовый.

Выполнение первых четырех требований очевидно, пятое требование также выполнено. При этом роль эталона играет базовый вариант и его показатель технологичности

$$T_0 = \frac{S_0}{S_0 + S_0} = \frac{1}{2}.$$

Свойства, соответствующие требованиям 6 и 7, вытекают из простоты формулы (1) и из соотношения, которое получается после логарифмирования и дифференцирования этой формулы. Действительно, имеем

$$\lg T = \lg S_0 - \lg (S_0 + S),$$

откуда

$$\frac{dT}{T} = - \frac{dS}{S_0 + S},$$

т. е.

$$dT = - \frac{S}{S_0 + S} \cdot \frac{dS}{S}$$

или

$$\frac{|dT|}{T} = \frac{S}{S_0 + S} \cdot \frac{|dS|}{S}. \quad (2)$$

Полученная формула показывает, что относительная погрешность $\frac{|dT|}{T}$ определения T в $\frac{S}{S_0 + S}$ раз меньше относительной погрешности $\frac{|dS|}{S}$

определения S . При себестоимостях, близких к S_0 , коэффициент $\frac{S}{S_0 + S}$ в формуле (2) близок к 0,5, а при убывании себестоимости S от S_0 до нуля этот коэффициент убывает от 0,5 до нуля. Это означает, что при себестоимости порядка S_0 относительная погрешность определения T будет в два раза меньше относительной погрешности определения S . Таким образом, пожелание, высказанное в пункте 6, также выполнено. Для определения T по формуле (1) следует предварительно определить S .

Схема определения себестоимости в общих чертах должна сводиться к следующему.

1. Разбиваем детали данного варианта изделия на четыре группы:

а) покупные детали, б) нормализованные, в) унифицированные, г) оригинальные.

2. Каждую группу деталей разбиваем на несколько категорий по признаку сложности. Число категорий должно быть таким, чтобы в пределах каждой категории данной группы деталей колебания себестоимости различных деталей не были значительными.

3. Подсчитываем число деталей каждой категории.

4. Разбиваем все сборки данного варианта изделия на несколько категорий по признаку сложности. Число категорий должно быть таким, чтобы в пределах каждой из них колебания себестоимости различных сборок не были значительными.

5. Подсчитываем число сборок каждой категории.

6. Определяем величину S как сумму произведений числа деталей и сборок каждой категории на их среднюю себестоимость.