

Многоуровневая модель формирования технологичности электронных средств на этапах проектирования и производства

© А.А. Адамова¹, А.П. Адамов²

¹ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

² Дагестанский государственный технический университет,
Махачкала, 367015, Россия

Получены комплексные оценки конструктивно-технологического совершенства изделий, требующие широкого рассмотрения на всех этапах жизненного цикла от проектирования до эксплуатации. Показаны динамичность и развитие уровня технологичности изделия, которые связаны с постоянным совершенствованием его конструкции и изменением условий производства. Разработана многоуровневая модель формирования технологичности электронных средств на этапах проектирования и производства.

Ключевые слова: многоуровневая модель, комплексные оценки, технологичность изделия, электронные средства, серийное производство.

Введение. Исходным документом для разработки изделия на начальном уровне жизненного цикла является техническое задание (ТЗ), в котором определяются назначение, основные технические характеристики, показатели качества, в том числе технологичности, и другие технико-экономические требования. При этом ТЗ не дает, как правило, представления об устройстве изделия. Результаты предварительной проработки будущей конструкции электронного средства (ЭС) находят отражение на стадии технического предложения, когда выявляются возможные общие технические решения, различающиеся принципом действия или общей компоновкой основных функциональных узлов.

Необходимость получения комплексных оценок конструктивно-технологического совершенства изделий требует более широкого рассмотрения этого понятия на всех этапах жизненного цикла от проектирования до эксплуатации. На каждом из этапов разработки, технологической подготовки производства и серийного выпуска информация об изделии может быть интерпретирована как некоторая модель определенного уровня детализации. Причем эта модель динамическая, так как в процессе проектирования и производства меняется формирующая ее информация, что влечет изменение «моделей» технологичности, которая несет в себе информацию о технологических особенностях будущего изделия на различных этапах создания.

Значения основных технических параметров ЭС и показателей технологичности могут уточняться, но они несущественно отличаются от указанных в ТЗ. Глубина проработки конструкции на стадии эскизного проекта больше, чем на стадиях разработки ТЗ и технического предложения, что в определенной степени позволяет выявить внутреннее устройство изделия. Однако документация, создаваемая на этих стадиях, содержит весьма ограниченную информацию, на основе которой трудно провести количественный и качественный анализ технологичности ЭС.

Актуальность исследований определяется объективной необходимостью анализа состояния динамического процесса технологичности изделия на всех этапах посредством сформированной многоуровневой информационной модели. Аналогичные разработки существуют. Однако в них этапы разработки, обработки и конструирования изделия проводились на основе общих представлений и принципов функционирования без конкретного поэтапного рассмотрения применяемых комплектующих изделий и унифицированных блоков. Данная же модель является комплексной и динамической, отражает полную картину диалектического соответствия технического совершенства изделия согласно изменяющимся условиям его производства.

Проблема формирования технологичности ЭС на этапах проектирования и производства заключается не только в совершенствовании сложной системы управления отработкой и в обеспечении высокого уровня этой технологичности на всех этапах разработки изделия, но также в создании условий для совершенствования конструкции изделия при технологической подготовке его производства и серийного выпуска. Для решения этой задачи необходимо разработать многоуровневую модель.

Цель работы: создание принципиально новой многоуровневой модели, для чего необходимо обеспечить внесение конструкторско-технологических изменений на всех этапах разработки изделия, минимизацию общих затрат на разработку, технологическую подготовку производства, изменение требований к качеству изделия, совершенствование его конструкции.

Научная новизна заключается в представлении принципиально новой, динамической многоуровневой информационной модели формирования технологической конструкции (ТК) ЭС на различных этапах создания, отличающаяся высокой общностью и универсальностью.

Результаты исследований могут быть использованы при проектировании и освоении любых типов изделий приборо- и машиностроения, а также полезны для научных и инженерно-технических работников отрасли радиоаппаратостроения.

Разработка многоуровневой информационной модели. Многоуровневая информационная модель формирования технологичности изделия в процессе его создания представлена на рис. 1. На нулевом уровне происходит разработка лишь общих принципов функционирования. Объект представляется в виде общего уравнения передачи и преобразования сигналов. Выбор метода решения этого уравнения задается структурой операторов, представленных в виде блок-схемы изделия. Как правило, вариантов блок-схемы может быть несколько. Выбор одного из них обусловлен как заданным качеством функционирования, так и возможностью его реализации в виде принципиальной схемы, построенной на уже применяемых комплектующих изделиях или унифицированных блоках.

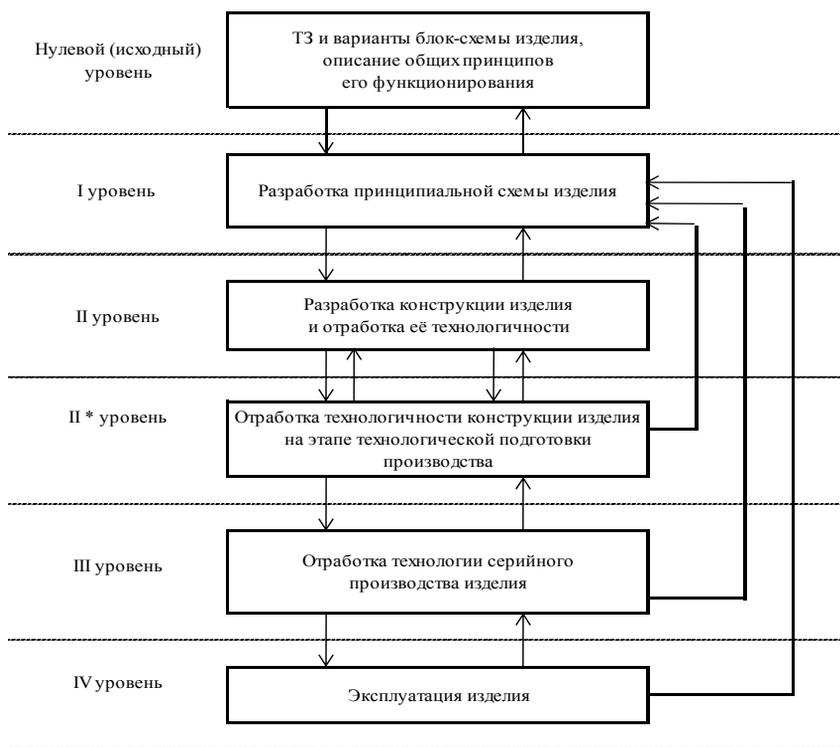


Рис. 1. Многоуровневая информационная модель формирования ТКЭС на различных этапах создания

Косвенно технологичность изделия закладывается уже на нулевом уровне, когда оптимальным решением является использование блоков с известными и хорошо отработанными функциями для создания структуры, выполняющей новую оригинальную функцию. Это положение хорошо иллюстрируется примерами, связанными с разработкой средств вычислительной техники, в которых качествен-

ная сторона функционирования новой системы полностью разрешается стандартным набором элементарных блоков (в частности, триггеров), а количественная сторона (быстродействие, оперативность и т. д.) целиком зависит от особенностей схемоконструктивного решения этих блоков. Блоком на нулевом уровне изделия является элемент блок-схемы с четко определенной функцией.

Таким образом, технологичность изделия на нулевом уровне моделей определяется отношением числа известных и отработанных блоков, реализующих отдельные новые функции и выполняющих известные и отработанные элементарные функции, к общему числу блоков и узлов в блок-схеме изделия и может быть оценена коэффициентом структурно-функциональной приемственности

$$K_{с.п} = \frac{n_{б.з}}{n_{б.и}}, \quad (1)$$

где $n_{б.з}$ — количество блоков с функциями, удовлетворяющими новому изделию, которые будут заимствованы из аналогов; $n_{б.и}$ — общее число блоков функциональных узлов в блок-схеме изделия.

На первом уровне моделей в процессе проектирования производится выбор и обоснование принципиальной схемы изделия. Уже здесь количество возможных вариантов схемного решения и их сочетаний резко возрастает, так как теоретически одна и та же система может быть построена по различным принципиальным схемам. На этом этапе проектирования наиболее технологичной, с точки зрения разработчика, будет схема, в которой использованы отработанные схемные решения, не требующие дополнительных решений.

На втором уровне моделей при конструировании изделия согласно принципиальной схеме из радио- и электрокомпонентов и сборочных единиц создается макет, по структуре связей между элементами взаимнооднозначно соответствующий схеме. На этом уровне результаты технического проекта дают более полное представление о конструкции изделия, ее составных частей и других технических решениях (материалы, размеры, форма, тип соединений, вид специальных покрытий, элементная база и др.).

Модель конструкторского уровня отображает не только порядок соединения элементов структуры, но и их объем, а также присущие им тепловые, электрические и магнитные поля. Указанные характеристики существенным образом влияют на конструкцию изделий и их технологичность. Очевидно, что на втором уровне моделей изделие имеет более сложную структуру, полнее учитывающую связи между ее элементами. И чем больше подобных связей учтено в процессе конструирования, тем рациональнее может быть сконструировано изделие. Однако обеспечение надежной работы схемы с учетом такой

структуры взаимосвязей зачастую приводит к появлению новых конструктивных элементов, включающих экраны, металлы с высокой проводимостью и др., не выполняющих полезной функциональной электрической нагрузки [2].

Усложнение конструкции, связанное с учетом и устранением побочных (нефункциональных) связей между радиоэлементами и функциональными узлами прибора, можно отразить, вводя коэффициент функционального соответствия конструкции принципиальной схеме

$$K_{\text{ф.с}} = 1 - \left(\frac{n_{\text{п.с}}}{n_{\text{ф}}} \cdot \frac{n_{\text{п.э}}}{n_{\text{п.с}}} \right) = 1 - \frac{n_{\text{п.э}}}{n_{\text{ф}}}, \quad (2)$$

где $n_{\text{п.с}}$ — количество побочных связей, проанализированных по принципиальной схеме; $n_{\text{ф}}$ — общее количество функциональных узлов в принципиальной схеме; $n_{\text{п.э}}$ — количество дополнительных конструктивных элементов, разрывающих побочные связи между функциональными узлами.

Если проанализированы все побочные связи и конструкция сконструирована так, что дополнительных элементов не потребовалось, то $K_{\text{ф.с}} = 1$, что говорит о рациональности конструкции. Таким образом, конструктивные модели второго уровня отражают следующие свойства изделия как сложной схемы:

- функциональную модель нулевого уровня, т. е. блок-схему;
- структурно-функциональную модель первого уровня, т. е. принципиальную схему;
- побочные связи в модели второго уровня;
- физические свойства элементов в модели второго уровня;
- механическую, динамическую структуру объекта, т. е. распределение сил и узлов закрепления элементов;
- статистические свойства элементов объекта, выражаемые через допуски на электрические параметры и геометрические размеры.

На этом уровне моделей технологичность рассматривается с точки зрения разработчика, стремящегося создать оптимальную конструкцию, изоморфную модели нулевого и первого уровней, с учетом обеспечения технологии изготовления в минимальные сроки.

На третьем уровне моделей каждое конкретное изделие в процессе производства можно рассматривать как систему, подверженную влиянию различных технологических факторов. Колебания значений этих факторов отражаются на выходных параметрах изделия, вызывая их отклонения в пределах допусков. При этом известно, что отработанные технологические процессы являются стационарными и эр-

динамическими случайными процессами с известными и управляемыми параметрами.

Следовательно, модель третьего уровня отображает влияние случайных технологических факторов, а выходные параметры изделий можно рассматривать как усредненные по ансамблю, т. е. по серии параметров стационарного эргодического процесса [3]. В этом случае изделие представляется как некоторый усредненный объект, выходные параметры которого описываются функцией нормального распределения. При отработке технологии в системе «изделие — технологический процесс» наблюдаются колебания динамических процессов, существенно влияющих на качество изделия, его себестоимость. Для оценки влияния этих процессов на ТК изделия представляется целесообразным ввести коэффициент согласованности конструкции изделия с существующими технологическими условиями изготовителя [4]. В основу такой оценки положен принцип преемственности существующей технологии, которая включает типовые технологические процессы производства новых изделий. Принцип преемственности характеризуется следующими коэффициентами:

а) коэффициент согласованности технологичности деталей

$$K_{т.д} = \frac{D_{о.к} - D_{н.т}}{D_{о.к}} = 1 - \frac{D_{н.т}}{D_{о.к}}, \quad (3)$$

где $D_{о.к}$ — общее количество типоразмеров деталей; $D_{н.т}$ — количество типоразмеров деталей, изготовление которых сопряжено с освоением новых технологий;

б) коэффициент согласованности технологической сборки

$$K_{т.сб} = \frac{E_{сб}}{E_{сб} + E_{сб.о}} K_{сл.сб}, \quad (4)$$

где $E_{сб}$ — количество наименований сборочных единиц, для сборки которых используются технологические процессы, освоенные для данного типа изделий; $E_{сб.о}$ — количество наименований оригинальных сборочных единиц, для сборки которых в данном изделии требуется освоение новых технологических процессов; $K_{сл.сб}$ — нормативный коэффициент сложности сборки изделия, рассчитываемый опытным путем при сравнении с аналогом из отношения:

$$K_{сл.сб} = \frac{1}{K_{тр.сб}}, \quad (5)$$

где $K_{тр.сб}$ — показатель, характеризующий относительное увеличение трудоемкости всех сборочных работ в данном изделии по сравнению с

аналогом (обычно $K_{\text{тр.сб}} > 1$). При $K_{\text{тр.сб}} < 1$ или отсутствии аналога $K_{\text{тр.сб}}$ принимается равным 1;

в) коэффициент согласованности настройки изделия

$$K_n = \frac{n_{\text{у.т}}}{n_{\text{у.т}} + n_{\text{у.н}}} K_{\text{с.н}}, \quad (6)$$

где $n_{\text{у.т}}$ — количество наименований функциональных узлов изделия, которые могут быть настроены в соответствии с имеющимися для данного типа изделий технологическими процессами; $n_{\text{у.н}}$ — количество наименований функциональных узлов изделия, настройка которых требует организации новых рабочих мест; $K_{\text{с.н}}$ — нормативный коэффициент сложности настройки изделия, рассчитываемый опытным путем из соотношения:

$$K_{\text{с.н}} = \frac{1}{K_{\text{тр.н}}}, \quad (7)$$

где $K_{\text{тр.н}}$ — показатель, характеризующий относительное увеличение трудоемкости всех настроечных работ в данном изделии по сравнению с аналогом (обычно $K_{\text{тр.н}} > 1$). При $K_{\text{тр.н}} < 1$ или отсутствии аналога $K_{\text{с.н}}$ принимается равным 1;

г) коэффициент согласованности технологического оснащения

$$K_{\text{с.о}} = \frac{n_o}{n_o + n_{\text{о.п}}} \quad \text{или} \quad (8)$$

$$K_{\text{с.о}} = \frac{T_o}{T_o + T_{\text{о.п}}}, \quad (9)$$

где n_o — количество наименований имеющейся технологической оснастки, пригодной для выпуска нового изделия; $n_{\text{о.п}}$ — количество наименований специальной технологической оснастки, которую необходимо спроектировать и изготовить для выпуска изделия; $T_o, T_{\text{о.п}}$ — трудоемкость изготовления имеющейся и спроектированной специальной технологической оснастки соответственно.

Рациональность проектирования и изготовления специальной оснастки можно определить расчетом соответствующего коэффициента

$$K_{\text{р.о}} = \frac{N T_{\text{б.о}} - (N T_{\text{с.о}} + T_{\Sigma})}{N T_{\text{б.о}} + T_{\Sigma}}, \quad (10)$$

где N — количество изготавливаемых в партии новых изделий; $T_{\text{б.о}}$ — трудоемкость изготовления изделия без оснастки; $T_{\text{с.о}}$ — трудоем-

кость изготовления с оснасткой; T_{Σ} — трудоемкость изготовления всей требующейся для выпуска изделия оснастки.

Очевидно, что изготовление специальной оснастки целесообразно, если будет выполнено неравенство $MT_{6.0} > MT_{c.0} + T_{\Sigma}$.

Обобщенный коэффициент конструктивно-технологической согласованности изделия с технологией изготовления $K_{c.т}$ выражается

$$K_{c.т} = \frac{K_{т.д}\varphi_1 + K_{т.сб}\varphi_2 + K_{н}\varphi_3 + K_{c.0}\varphi_4}{\sum_{i=1}^4 \varphi_i}, \quad (11)$$

где φ_i — ранг значимости каждого входящего коэффициента, который находится экспертным путем для конкретных условий производства.

Если $K_{c.т}$ для данного предприятия равен 1, то технологию изготовления можно считать полностью освоенной и стационарной. Если $K_{c.т} \neq 1$, то имеет место динамический процесс согласования конструкции анализируемого изделия и технологии изготовления, т. е. осуществляется необходимая отработка конструкции ЭС и технологическая подготовка производства. В этом случае целесообразно ввести в рассмотрение модель изделия уровня IIа как динамическую, изменяющуюся модель перехода от уровня II* к уровню III. Таким образом, на этапе технологической подготовки производства можно отметить две встречно действующие обратные связи в системе «изделие — технологический процесс». Изменение конструкции — модель уровня II, а технологического процесса — модель уровня III. Выделение уровня II* обусловлено тем, что после окончания согласования конструкции изделия и технологии изготовления она преобразуется в модель уровня III.

Этап технологической подготовки производства также является динамичным, поскольку в ее процессе меняется уровень технологичности как с точки зрения конструктора, так и с точки зрения технолога. Это изменение происходит при проведении конструкторско-технологических согласований, в результате которых вырабатывается компромиссное решение, приемлемое и для конструкторов и для технологов. К IV уровню моделей изделия следует отнести период эксплуатации, когда совокупность эксплуатируемых объектов можно представить как некоторый обобщенный объект. Любые отказы при этом рассматриваются как выходные сигналы обобщенного объекта, имеющие случайный характер и поддающиеся анализу методами теории надежности. Эксплуатация изделий происходит одновременно с продолжающимся

их серийным выпуском, причем эти два процесса взаимосвязаны. В процессе эксплуатации изделий у потребителей возникают предложения о конструктивных изменениях, которые поступают к изготовителю.

В процессе серийного выпуска изделий почти всегда происходит изменение конструкции с целью улучшения ее технологичности с учетом изменения производственно-технологических и эксплуатационных факторов. В дополнение к существующим показателям по оценке технологичности изделия на этом уровне можно рекомендовать коэффициент ремонтпригодности конструкции

$$K_{p.n} = \frac{t_{o.n}}{t_{o.n} + t_{y.n}}, \quad (12)$$

где $t_{o.n}$ и $t_{y.n}$ — время обнаружения и устранения неисправности соответственно.

Обобщенный алгоритм принятия решений по технологичности. Следовательно, на этапе серийного выпуска при эксплуатации изделия также происходит отработка технологичности его конструкции, которая, в свою очередь, существенно влияет на технико-экономические показатели изделия, и в том числе на его себестоимость. Алгоритм анализа информации и принятия решения отображен на рис. 2.



Рис. 2. Алгоритм анализа информации и принятия решения

Данная модель является непосредственным исполнителем обработки информации в соответствии с алгоритмом анализа обработки данных и принятия решений.

Заключение. Исследования входных информационных потоков на этапах освоения и серийного производства дали возможность автоматизировать на этих этапах систему управления технологичностью электронных средств с их дальнейшим внедрением. ТК является понятием комплексным и динамическим, развивающимся во времени и отражающим соответствие технического совершенства изделия изменяющимся условиям его производства. Исходя из этого можно предложить системную трактовку понятия ТК.

Технологичной конструкцией изделия является относительно законченная система, отвечающая всем эксплуатационным требованиям и представляющая такую композицию элементов и сборочных единиц, которая обеспечивает ее изготовление в объеме заданной серии и требуемого качества, в минимальные сроки при минимальных общих затратах в условиях конкретного и развивающегося технологического уровня.

Анализ данного определения показывает, что:

— соответствие конструкции эксплуатационным требованиям задается группой параметров в технических условиях на изделие, согласно которым производится его приемка;

— относительная законченность конструкции — понятие условное, указывающее на возможность введения в него конструктивных и технологических изменений, повышающих его полезные свойства и снижающих себестоимость без ухудшения эксплуатационных характеристик;

— конструкция является композицией отдельных или интегрированных элементов, которые могут быть изготовлены на базе известных технологических методов, позволяющих получить заданное качество функционирования изделия;

— задание серии выпуска изделий определяет выбор элементов (унификация) и способ их композиции в изделии таким образом, что устанавливается близкое соответствие конструкции данному типу существующего в настоящее время серийного производства у изготовителя, т. е. соответствие типовой технологии;

— уровень требуемого качества рассматривается как мера соответствия процесса изготовления и комплектования всех составных частей изделия требованиям технической документации и ГОСТов;

— требование минимизации времени объединяет ограничение времени разработки конструкции, времени технологической подготовки производства и времени выпуска заданной серии изделий, напри-

мер установочной серии, головной партии и установившегося серийного производства;

— требование минимизации общих затрат включает в себя минимизацию общих затрат на разработку, технологическую подготовку производства и выпуск заданной серии изделий;

— комплекс понятия технологичности указывает на то, что в ее оценке необходимым и взаимосвязанным образом участвуют показатели временных, материальных затрат и другие;

— динамичность и развитие уровня технологичности изделия связаны с постоянным совершенствованием конструкции в соответствии с требованиями эксплуатации и производства, а также с изменением условий производства вследствие его адаптации к изделию.

Таким образом, из определения технологичной конструкции следует объективная необходимость анализа уровня технологичности изделия и динамического процесса его формирования как во времени, так и в пространстве, т. е. во всех подсистемах.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Адамов А.П. Системный анализ процесса формирования технологичности радиоизмерительных приборов на различных этапах создания. *Актуальные вопросы совершенствования управления производством на современном этапе. Сб. науч. тр.* Махачкала, 1975, с. 113–120.
- [2] *Функционально-стоимостной анализ в электротехнической промышленности.* Карпунин М.Г., ред. Москва, Энергоиздат, 1984, с. 23–66.
- [3] Тихонов В.Н. *Статистическая радиотехника.* Москва, Сов. радио, 1966, с. 15–98.
- [4] Адамов А.П., Ирзаев Г.Х. К вопросу о роли творческой интеграции разработчика и изготовителя по повышению технологичности радиоэлектронных средств. *Фундаментальные проблемы приборостроения, информатики, экономики и права. Сб. науч. тр. IX международной НПК.* Москва, МГАПИ, 2006, с. 15–21.
- [5] Orr J.N. The Rocky From CADD/CAM to CIM. *The S.Klein Computer Graphics Review, Jnaugural Jssue*, 1986, pp. 13–44.
- [6] Gebhardt W., Tschierschke P. Optimisierung bei der Konstruktion von Bauteilen. *Werkstattstechnik*, 1977, vol. 3, pp. 151–154.

Статья поступила в редакцию 24.06.2013

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Адамова А.А., Адамов А.П. Многоуровневая модель формирования технологичности электронных средств на этапах проектирования и производства. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2013, вып. 11. URL: <http://engjournal.ru/catalog/it/hidden/1044.html>

Адамова Арина Александровна окончила МАТИ-РГТУ им. К.Э. Циолковского в 1999 г. Канд. техн. наук, доцент кафедры «Проектирование и технология производства электронной аппаратуры» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 45 научных работ в области информационно-управляющих технологических систем, систем обработки данных и знаний, технологической подготовки производства и САПР. e-mail: Arina.Adamova @ rambler.ru

Адамов Александр Петрович — д-р техн. наук, профессор, кафедры «Микроэлектроника» Дагестанского государственного технического университета, заслуженный деятель науки Республики Дагестан. Автор более 300 научных работ в области информационно-управляющих технологических систем, систем обработки данных и знаний, технологической подготовки производства и САПР, комплексной автоматизации в системах обеспечения технологичности изделий на всех этапах их жизненного цикла.