

УДК 06.04

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ ОЦЕНКИ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ ПРИ СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ

А.П. Адамов¹, А.А. Адамова², А.И. Власов²

¹Дагестанский государственный технический университет, Махачкала, Российская Федерация

²МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация
e-mail: Arina.Adamova@rambler.ru

Рассмотрены особенности структурно-функционального моделирования конструкторско-технологического проектирования изделий электронной техники. Основное внимание уделено применению дифференциальных коэффициентов оценки технологичности электронных средств. Предложена "модель технологичности", которая содержит информацию о технологических особенностях будущего изделия на различных этапах создания. Приведены рекомендации по применению оценки технологичности по матрице парных соединений. Рассмотрена методика формирования матрицы парных соединений для оценки технологичности.

Ключевые слова: визуальная модель, производственная система, технологическая подготовка производства, технологичность, электронная аппаратура, системный анализ.

DIFFERENTIAL EVALUATION COEFFICIENTS OF TECHNOLOGICAL EFFECTIVENESS OF ELECTRONIC FACILITIES AND THEIR IMPLEMENTATION FOR STRUCTURAL AND FUNCTIONAL MODELING OF PRODUCTIVE SYSTEMS

A.P. Adamov¹, A.A. Adamova², A.I. Vlasov²

¹Daghestan State Technical University, Machachkala, Russian Federation

²Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation
e-mail: Arina.Adamova@rambler.ru

The paper analyzes some peculiarities of structural and functional modeling of electronic product design technology. It focuses on implementing differential coefficients for evaluating technological effectiveness of electronic facilities. A model of adaptability is presented, which contains information about technological characteristics of the future products at various stages of their development. The guidelines of using the evaluation of the technological effectiveness according to a matrix of tandem connections are given. The procedure of forming the matrix of tandem connections for evaluating the technological effectiveness is described.

Keywords: visual model, productive system, technological preproduction, technological effectiveness, electronic equipment, system analysis.

Введение. Отличающиеся большой сложностью современные радиоэлектронные устройства характеризуются широким набором различных свойств, которые определяют функциональные параметры: на-

дежность, устойчивость к воздействию внешней среды и др. С позиции системного анализа такие системы, как производственный и технологический процессы, описать достаточно трудно, так как они имеют сложную внутреннюю структуру и сложный характер взаимодействий между элементами этой структуры [1, 2]. Синтезируя сложные производственные системы невозможно получить одно единственное решение, отвечающее на все вопросы с позиции управления сложными системами [1–9]. Для детального анализа многогранной по формам и содержанию производственной системы, как правило, применяются методы визуального моделирования (рис. 1).

Проблема получения простого и информационного описания системы обычными средствами стоит достаточно остро. Актуальность применения дифференциальных коэффициентов оценки технологичности электронных средств обусловлена необходимостью анализа производственного процесса в зависимости от уровня иерархической декомпозиции для различных видов производства.

Особенности применения структурно-функционального моделирования в маршруте оценки технологичности электронных средств. Структурно-функциональное моделирование предполагает наличие в обязательном порядке установленного набора визуальных (выразительных) средств и правил, представленных в виде совокупности графической и текстовой нотаций [10–15].

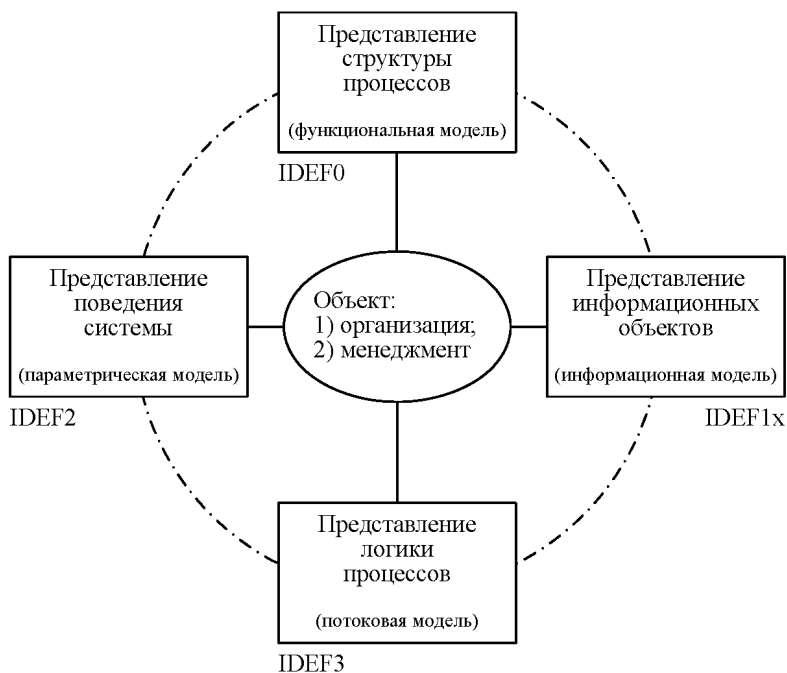


Рис. 1. Схема взаимосвязи методов визуального моделирования сложных производственных систем

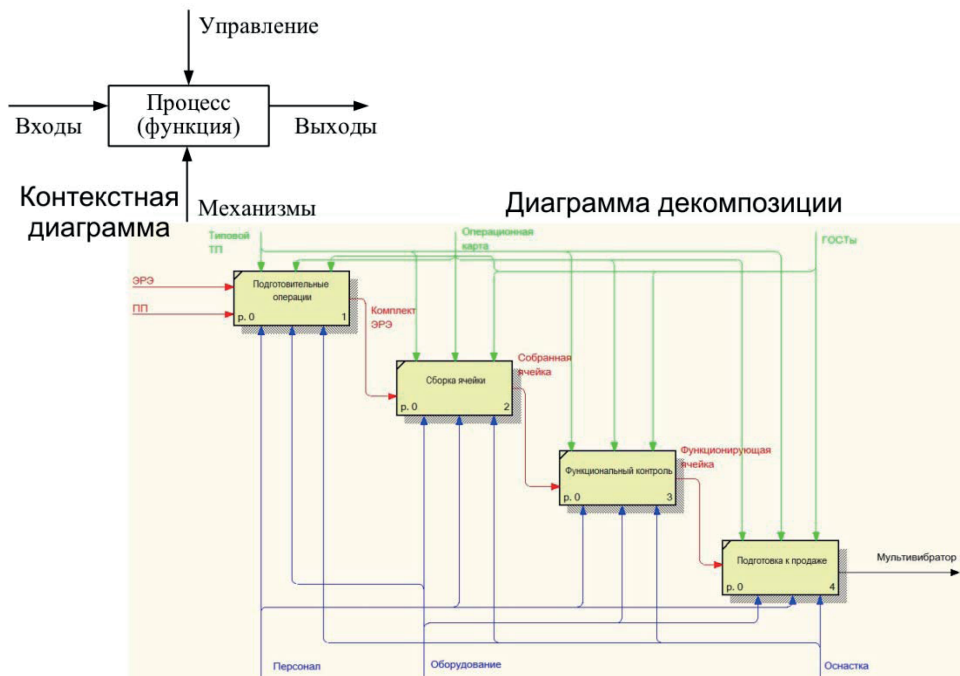


Рис. 2. Графическое представление процесса в IDEF0

Метод функционального моделирования IDEF0 для графического представления процесса использует графическую нотацию (рис. 2), встроенные инструменты количественного анализа по интегральным и дифференциальным критериям (UDP-коэффициентам, определяемым разработчиками) позволяют проводить анализ исследуемого процесса изделий электронной техники (ИЭТ).

В соответствии с методом IDEF0 процесс представляется в виде функционального блока, который преобразует входы в выходы при наличии необходимых ресурсов (механизмов) в управляемых условиях. Взаимосвязи и взаимодействия процессов в IDEF0 представляются связями: по входу; по выходу; по управлению; по механизмам; рекурсивными связями, соединяющими функциональные блоки.

Проблема количественной и качественной оценки компонентов модели и модели в целом наиболее актуальна. Для количественной оценки модели используют интегральные (стоимость, время) и дифференциальные (UDP) критерии (UDP-критерий – специальный, задаваемый пользователем показатель [8]). Дифференциальные критерии характеризуют непосредственно каждую “работу” модели, в качестве которых часто применяют различные коэффициенты комплексного показателя технологичности изготовления устройства (K – коэффициенты, H – количество):

– коэффициент использования ИМС: $K_{ИМС} = H_{ИМС} / H_{ИЭТ}$;

— коэффициент автоматизации монтажа

$$K_{\text{ав.монтаж}} = H_{\text{ав.монтаж}} / H_{\text{монтаж}};$$

— коэффициент механизации подготовки к монтажу

$$K_{\text{мех.н}} = H_{\text{мех.н}}^{\text{ИЭТ}} / H_{\text{ИЭТ}};$$

— коэффициент механизации контроля и настройки

$$K_{\text{к.н}} = H_{\text{к.н}} / H_{\text{к.н}};$$

— коэффициент повторяемости ИЭТ $K_{\text{пов}} = 1 - H_{\text{т}}^{\text{ИЭТ}} / H_{\text{ИЭТ}};$

— коэффициент применяемости ИЭТ $K_{\text{пр}}^{\text{ИЭТ}} = 1 - H_{\text{т.ор}}^{\text{ИЭТ}} / H_{\text{т}}^{\text{ИЭТ}};$

— коэффициент использования прогрессивных форм

$$K_{\text{ф}} = D_{\text{прогрес}} / D;$$

— комплексный показатель $K = \sum_n K_i \varphi_i / \sum_n \varphi_i$ (K_i — i -й показатель технологичности; φ_i — функция, нормирующая весовую значимость коэффициента; n — число этих показателей).

Полученный коэффициент определяет тип производства, при задании определенного объема выпуска его следует корректировать либо улучшением конструкции, либо совершенствованием технологии изготовления.

Оценка технологичности — один из самых удобных UDP-критериев. Различают три вида технологичности конструкции изделий (ТКИ):

1) производственную — при технологической подготовке производства, изготовлении, а также монтаже вне предприятия-изготовителя;

2) эксплуатационную — при подготовке изделия к использованию по назначению, техническом обслуживании, текущем ремонте и утилизации [10];

3) ремонтную — при всех видах ремонта, кроме текущего.

Важный компонент для решения проблемы обеспечения ТКИ — “Единая система технологической подготовки производства изделий машиностроения, приборостроения и средств автоматизации (ЕСТПП)”, разработанная в виде комплекса стандартов. Этими стандартами, внедренными в научные организации и предприятия, установлен единый порядок, а также обязательность отработки конструкции на технологичность и ее качественной оценки на всех этапах создания изделий [11]. ЕСТПП является базой для коренной перестройки не только технологической, но и технической подготовки производства в промышленности, поскольку обеспечивает единые требования для всех предприятий.

Приемлемое изделие, обладающее технологичной конструкцией, характеризуется низким уровнем затрат всех видов ресурсов на его изготовление и поддержание работоспособности в ходе эксплуатации [1].

Для достижения высокой технологичности разрабатываемого изделия необходимо уметь оценивать ее в процессе проектирования, когда еще можно вносить изменения в установившуюся технологию серийного производства. Такая оценка позволяет прогнозировать возможные затраты на дальнейших этапах жизненного цикла изделий и обеспечить снижение затрат путем своевременной корректировки схемотехнических, конструктивных или технологических решений.

Существуют различные методы оценки ТКИ. По виду используемой при этом информации методы подразделяются на количественные и качественные [3]. Качественной, например, является оценка технологичности, проводимая технологом в процессе технологического контроля чертежа. К количественным относятся методы, основанные на расчете числовых показателей, характеризующих различные технологические свойства проектируемого изделия. Следует отметить, что такая классификация методов оценки ТКИ является условной, так как, с одной стороны, качественная информация допускает количественное представление [4], а с другой — качественные оценки типа “хорошо–плохо” или “допустимо–недопустимо” зачастую выполняются экспертом-технологом или экспертом-конструктором на основе анализа количественных характеристик изделий. В то же время упомянутые методы удобны и могут использоваться как для оценки учебного процесса, так и производства изделий электронной техники.

Оценка технологичности разбита на два этапа, на первом этапе описывается принятый подход к оценке ТКИ и общая ее методика, а на втором — содержание и последовательность работ по количественной ее оценке с использованием программного комплекса системы обработки технологичности конструкции (СО ТКИ) [7].

В соответствии с ЕСТПП комплексная количественная оценка технологичности изделия является основной и выполняется на узловых этапах проектирования. Состав комплексов показателей обычно регламентирован соответствующим стандартом для определенного вида изделий и стадии разработки документации. Однако оценку можно сделать более гибкой, если использовать экспертный выбор состава коэффициентов показателей, включенных в расчет комплексного.

В этом случае количественная оценка делается более дифференциальной, в большей степени соответствующей функциональной и конструктивной специфике разрабатываемого изделия и условиям его производства. Подобные системы базируются на основе ОСТ4.091.171–81 “ОСТПП — “Номенклатура базовых показателей для бытовой радиоэлектронной аппаратуры и метод их расчета”.

Концепция оценки технологичности по матрице парных сравнений. В настоящей работе для решения проблемы выбора дифференциальных коэффициентов оценки технологичности предложена матрица парных соединений (рис. 3) [13].

ФИО _____ Отдел _____ Отношение к изделию (разрабатывал, модернизировал, подавал рац. предп. и др. _____)		Наименование фактора	Оригинальность схемных решений	Группа прибора по ГОСТ 22261-76	Конструкция шасси	Конструкция кожуха	Тип межблочных электрических соединений	Конструкция деталей из металла	Конструкция деталей из пластмассы	Конструкция намоточных изделий
№ п/п	Присвоенное место	Наименование фактора	X01	X02	X03	X04	X05	X06	X07	X08
1		Оригинальность схемных решений	X01							
2		Группа прибора по ГОСТ 22261-76	X02							
3		Конструкция шасси	X03							
4		Конструкция кожуха	X04							
5		Тип межблочных электрических соединений	X05							
6		Конструкция деталей из металла	X06							
7		Конструкция деталей из пластмассы	X07							
8		Конструкция намоточных изделий	X09							
9		Конструкция креплений (стойки, кронштейны и др.)	X10							
10		Конструкция экранов	X11							
11		Разъемные соединения	X12							
12		Применение сварных и паяных соединений	X13							
13		Допуски на геометрические размеры	X14							
14		Допуски на электрические параметры блоков и изделия	X15							
15		Регулировочные радиоэлементы	X16							
16		Подборочные радиоэлементы	X17							
17		Щероховатость обработки поверхности деталей	X18							
18		Тип и способ нанесения надписей	X19							
19		Унифицированные детали и сборочные единицы изготовления	X20							
20		Имеющаяся у изготовителя оснастка	X21							
21		Имеющееся у изготовителя оборудование	X22							
22		Влагоэлектрозащита сборочных единиц	X23							
23		Наличие жгутов, вид обработки и маркировка проводов	X24							
24		Вид защитно-декоративных покрытий	X25							
25		Конструкторские ошибки в чертежах	X26							
26		Токсичность технологических процессов	X27							
27		Термообработка деталей	X28							
28		Степень типизации технологии процессов у изготовителя	X29							
29		Ошибки технологов	X30							
30		Квалификация монтажно-сборочного персонала	X31							
31		Квалификация регулировщиков	X32							
32		Период конструкторской подготовки	X33							
33		Период технологической подготовки	X34							
34		Затраты на спецоснастку, новое оборудование	X35							
35		Трудоемкость	X36							
36		Материалоемкость (материалы, сырье, комплектующие)	X37							
37			X38							
38			X39							

Рис. 3. Структура матрицы парных сравнений (по горизонтали показаны только первые восемь показателей, остальные показатели X09-X36 скрыты)

Исходная информация для выбора показателей — заполненные экспертные карты. Экспертная карта для выбора количественных показателей представляет собой матрицу парных сравнений, строкам и столбцам которой соответствует исходный набор частных количественных показателей [16]. В левой графе карты записаны наименования частных показателей, каждому из которых присвоен порядковый номер, записанный во второй слева вертикальный графе экспертной карты. Каждому столбцу поля экспертной карты также соответствует определенный показатель. Номера показателей расположены в верхней горизонтальной графе экспертной карты в том же порядке. Эксперт при заполнении экспертной карты попарно сравнивает показателями

тели. Поскольку каждой клетке экспертной карты соответствует своя пара показателей, для попарного сравнения выбранных показателей необходимо заполнить все поля экспертной карты.

Эксперт должен отдать предпочтение тому показателю, который с его точки зрения более полно характеризует технологичность. После сопоставления всех показателей выполняется суммирование единиц в строках, полученные результаты заносятся в вертикальную графу “Сумма”. Значение, указанное в графе “Сумма”, характеризует предпочтительность соответствующего показателя и называется числом P_i по i -му частному показателю.

Методика формирования матрицы парных сравнений. Цель экспертизы — выявление взаимовлияния конструктивно-технологических особенностей прибора на его технологичность. Экспертизе подвергаются факторы, ухудшающие (по мнению эксперта) технологичность конструкции [14, 15]. Экспертам необходимо:

1) ответить на основной вопрос: ухудшают ли факторы x_{02} , x_{03} и т.д. технологичность, вопрос повторяется для каждого фактора последовательно по вертикальным колонкам матрицы;

2) заполнить соответствующую клетку матрицы, находящуюся на пересечении координат факторов следующим образом:

а) “1”, если для данной конструкции наблюдается отрицательное влияние входного фактора на последующие;

б) “0”, если такое влияние не наблюдается;

3) после заполнения клеток матрицы необходимо заполнить графу “Присвоенное место”, в которой порядковыми номерами характеризуются относительная степень влияния факторов на технологичность изделия в целом (фактор, которому присвоен показатель “1”, оказывает самое сильное влияние, ухудшая технологичность, и т.д.) [4]:

$$K = \sum_n K_i \varphi_i / \sum \varphi_i.$$
 При получении суммарной оценки 0,8 и более расчет прекращается, так как конструкция изделия полагается отработанной по ТКИ.

Однако процесс заполнения матрицы парных сравнений высокой размерности весьма трудоемок. В частном случае необходимо аргументировано ограничивать набор коэффициентов. Так, в рассмотренном примере (см. рис. 3) были отобраны 36 наиболее значимых частных показателей, образующих исходное множество, из которого осуществляется экспертный выбор состава комплексного показателя.

Предлагаемый состав коэффициентов определяет динамичность и развитие уровня технологичности изделия, которые связаны с постоянным совершенствованием как конструкции, так и технологии производства. Технологический контроль конструкторской документации изделия проверяет соответствие его конструкций требованиям технологичности. Учет конкретного технологического уровня производства

связан с требованиями минимизации времени и затрат на техническую подготовку производства и выпуск заданной серии изделий. Учет этих показателей обеспечивается набором коэффициентов оценки уровня технологичности изделия, приведенных ниже. Такое формализованное изложение коэффициентов ТКИ является основой комплексного маршрута оценки технологичности ИЭТ и может стать основой для разработки соответствующего программного обеспечения.

Коэффициент согласованности технологичности деталей $K_{т.д} = (D_{о.к} - D_{нов.тех})/D_{о.к} = 1 - D_{нов.тех}/D_{о.к}$, $D_{о.к}$ — общее количество типоразмеров деталей; $D_{нов.тех}$ — количество типоразмеров, изготовление которых сопряжено с освоением новой технологии.

Коэффициент применения новых сборочных единиц (оригинальных) $K_{СЕ} = E_{СЕ}/(E_{СЕ} + E_{СЕ\text{ оп}})$, $E_{СЕ}$ — количество наименований сборочных единиц, для сборки которых используется технологические процессы, освоенные для данного типа изделий; $E_{СЕ\text{ оп}}$ — количество наименований оригинальных сборочных единиц.

Нормативный коэффициент сложности сборки изделия $K_{сл.сб} = 1/K_{тр.сб}$, $K_{тр.сб}$ — показатель, характеризующий относительное увеличение трудоемкости всех сборочных работ в данном издании по сравнению с аналогом, $K_{тр.сб} \geq 1$; при $K_{тр.сб} < 1$ или отсутствии аналога $K_{сл.сб} = 1$; рассчитывается опытным путем при сравнении с аналогом.

Коэффициент согласованности постройки $K_{соглас} = (H_{ТНУ}/(H_{ТНУ} + N_{ТНО}))K_{сл}$, $H_{ТНУ}$ — количество наименований функциональных узлов и изделий, которые могут быть построены в соответствии с имеющимися для данного типа изделий технологическими процессами; $N_{ТНО}$ — число наименований функциональных узлов изделия, настройка которых требует организации общих рабочих мест; $K_{сл}$ — нормативный коэффициент сложности пайки изделия, рассчитываемый опытным путем.

Коэффициент увеличения трудоемкости работ $K_{тр} = 1/K_{тр.н}$, $K_{тр.н}$ — показатель, характеризующий относительное увеличение трудоемкости настроечных работ в данном изделии по сравнению с аналогом, $K_{тр.н} > 1$; при $K_{тр.н} > 1$ или отсутствии аналога $K_{сл.н} = 1$.

Коэффициент согласованности технологического оснащения (СТО) $K_{СТО} = P_{приг.осн}/(P_{приг.осн} + P_{спец.осн})$, или $K_{СТО} = T_{приг.осн}/(T_{приг.осн} + T_{спец.осн})$, $P_{приг.осн}$ — количество наименований пригодной оснастки для выпуска изделия; $P_{спец.осн}$ — количество наименований специальной технологической оснастки, которую необходимо спроектировать и изготовить для выпуска изделия; рациональность и целесообразность проектирования и изготовления специальной оснастки можно определить расчетом соответствующего коэффициента $K_{рац}$; $T_{приг.осн}$ — трудоемкость оснащения, пригодного для выпуска изделия.

Коэффициент, связанный с изготовлением изделия при наличии оснастки, $K_{осн} = (NT_{без\ осн} - (N_{без\ осн} + C_{осн})) / (NT_{осн} + C_{осн})$, N — число изготавливаемых в партии изделий; $T_{без\ осн}$ — трудоемкость изготовления изделий без оснастки; $T_{осн}$ — трудоемкость изготовления изделия с оснасткой; $C_{осн}$ — затраты на оснащение; очевидно, что изготовление изделия целесообразно, если значение $NT_{без\ осн} - (N_{без\ осн} + C_{осн})$ минимально.

Коэффициент ремонтпригодности конструкции $K_p = t_{о.н} / (t_{о.н} + t_{у.н})$, $t_{о.н}$ — время обнаружения неисправностей; $t_{у.н}$ — время устранения неисправности.

Коэффициент применения типовых технологических процессов (ТП) изготовления изделия $K_{ТП} = T_{ТП} / T_{и}$, $T_{ТНИ}$ — трудоемкость операций, выполняемых по типовым технологическим процессам; $T_{и}$ — трудоемкость всех операций с изделием.

Коэффициент автоматизации и механизации технологических процессов изготовления изделия $K_{авт.,мех} = T_{авт.,мех} / T_{и}$, $T_{авт.,мех}$ — трудоемкость операций, выполняемых с помощью средств автоматизации и механизации.

Коэффициент автоматизации и механизации контроля и настройки $K_{авт.,мех}^{к.н} = H_{к.н.и} / H_{к.н}$, $H_{к.н.и}$ — количество операций контроля и настройки изделия, которые можно осуществлять механизированным или автоматизированным способом при приемке изделия; $H_{к.н}$ — общее количество операций контроля и настройки.

Коэффициент применения негодного монтажа в изделии $K_{пр} = H_{пр} / H_{п.с}$, $H_{пр}$ — число монтажных площадок в изделии, пайка которых осуществляется групповым методом; $H_{п.с}$ — общее число паяных соединений в изделии.

Коэффициент унификации изделия $K_{ун} = (E_{ун} + D_{ун}) / (E_{се} + D_{д})$, $E_{ун}$ — число унифицированных сборочных единиц в изделии; $D_{ун}$ — число унифицированных деталей; $E_{се}$ — общее число сборочных единиц; $D_{д}$ — общее число деталей (стандартные крепежные детали не учитываются).

Коэффициент повторяемости ЭРЭ в изделии $K_{пов} = 1 - H_{ор.т} / H_{ЭРЭ}$, $H_{ор.т}$ — количество оригинальных типоразмеров; $H_{ЭРЭ}$ — число ЭРЭ в изделии.

Коэффициент автоматизации и механизации монтажа в изделии $K_{ам} = H_{ом} / H_{м}$, $H_{ом}$ — количество монтажных соединений, которые могут быть осуществлены или осуществляются механизированным способом, т.е. имеются механизмы, оборудование или оснащение для выполнения монтажных соединений; $H_{м}$ — общее количество монтажных соединений.

Относительная трудоемкость механической обработки $K_{мех.обр} = T_{\Sigma} / T_{\Sigma\text{мех}}$, T_{Σ} — трудоемкость всех операций; $T_{\Sigma\text{мех}}$ — суммарная трудоемкость механической обработки.

Коэффициент прогрессивности формообразования деталей $K_{\phi} = D_{\text{прогрес}}/D_{\text{и}}$, $D_{\text{прогрес}}$ — число деталей, заготовки которых или сами детали получены прогрессивными методами формообразования; $D_{\text{и}}$ — число всех деталей в изделии.

Коэффициент использования плоских кабелей для объемного монтажа $K_{\text{пл.к}} = H_{\text{пл.к}}/H_{\text{пров}}$, $H_{\text{пл.к}}$ — число межузловых и межблочных связей в изделии, выполняемых с помощью плоских кабелей; $H_{\text{пров}}$ — общее число межузловых и межблочных связей (проводников) в изделии.

Коэффициент автоматизации и механизации объемного монтажа $K_{\text{авт.мех}}^{\text{об.м}} = H_{\text{нер}}/H_{\Sigma\text{нер}}$, $H_{\text{нер}}$ — число неразъемных межузловых и межблочных соединений в изделии, выполняемых методом накрутки, обжатия, прессованием и т.д.; $H_{\Sigma\text{нер}}$ — общее число неразъемных, межблочных соединений в изделии.

Коэффициент блочности $K_{\text{бл}} = N_{\text{ФУ}}^{\text{ун}}/N_{\text{ФУ}}$, $N_{\text{ФУ}}^{\text{ун}}$ — число унифицированных функциональных узлов (ФУ); $N_{\text{ФУ}}$ — общее число функциональных узлов.

Коэффициент унификации конструктивных элементов в изделии $K_{\text{к.эл}}^{\text{ун}} = Q_{\text{к.эл}}^{\text{ун}}/Q_{\text{к.эл}}$, $Q_{\text{к.эл}}^{\text{ун}}$ — количество унифицированных типоразмеров конструктивных элементов; $Q_{\text{к.эл}}$ — количество типоразмеров конструктивных элементов в изделии.

Коэффициент шероховатости поверхности деталей $K_{\text{ш}} = 1/B_{\text{ср}}$, $B_{\text{ср}} = \sum_i^n B_i m_i / \left(i \sum_i^n m_i \right)$ — среднее значение параметра.

Коэффициент сложности многослойных печатных плат (МПП) $K_{\text{сл}}^{\text{МПП}} = 1 - N_{\text{МПП}}/N_{\text{ПП}}$, $N_{\text{МПП}}$ — общее число МПП в изделии; $N_{\text{ПП}}$ — общее число печатных плат (ПП).

Коэффициент повторяемости микросборок и микросхем $K_{\text{пов}}^{\text{мс}} = 1 - N_{\text{мс}}/N_{\Sigma\text{мс}}$, $N_{\text{мс}}$ — количество типоразмеров корпусов микросхем; $N_{\Sigma\text{мс}}$ — общее число микросхем и микросборок в изделии.

Коэффициент сборности конструкции $K_{\text{сб}} = E_{\text{и}}/(E_{\text{и}} + D_{\text{и}})$, $E_{\text{и}}$ — общее число сборочных единиц в изделии; $D_{\text{и}}$ — число деталей в изделии.

Коэффициент использования металла $K_{\text{мет}} = M_{\text{мет.к}}/(M_{\text{мет.к}} + M_{\text{отх}})$, $M_{\text{мет.к}}$ — масса металлических конструкций; $M_{\text{отх}}$ — масса конструктивных отходов.

Коэффициент стандартизации деталей $K_{\text{ст.д}} = D_{\text{ст.и}}/D_{\text{и}}$, $D_{\text{ст.и}}$ — число стандартных деталей в изделии.

Коэффициент унификации деталей $K_{\text{ун.д}} = D_{\text{ун}}/D_{\text{и}}$, $D_{\text{ун}}$ — число унифицированных деталей в изделии.

Уровень технологичности изделия по трудоемкости изготовления

$$K_{\text{т}} = \sum_{i=1}^n T_{\text{иCE}} n_{\text{иCE}} + \sum_{i=1}^k T_{\text{ид}} n_{\text{ид}} + T_{\text{сб}} + T_{\text{ис}} + T_{\text{НПП}}, T_{\text{иCE}} — трудоем-$$

кость изготовления i -й сборочной единицы; n_{iCE} — число i -х сборочных единиц; $T_{ид}$ — трудоемкость изготовления i -й детали; $n_{ид}$ — число i -х сборочных деталей; $T_{сб}$ — трудоемкость общей сборки изделия; $T_{ис}$ — трудоемкость испытаний; $T_{НРР}$ — трудоемкость настроечно-регулирующих работ (НРР).

Трудоемкость изготовления изделия $T_{и} = \sum_{i=1}^n T_{iCE} n_{iCE} \sum_{i=1}^n T_{ид} n_{ид} + T_{сб} + T_{ис} + T_{НРР}$, определяется по типовым представителям составных частей изделия.

Технологическая себестоимость изделия $C_T = C_M + C_{з.п} + C_{ц.р}$, C_M — стоимость материалов, затраченных на изготовление изделия; $C_{з.п}$ — заработная плата производственных рабочих с начислениями; $C_{ц.р}$ — цеховые расходы, включающие расходы на электроэнергию, потребляемую оборудованием, ремонт и автоматизацию оборудования, инструментов и приспособлений, смазочные, охлаждающие, обтирочные и другие материалы; технологическая себестоимость изделия — сумма затрат на единицу изделия при осуществлении технологического процесса изготовления изделия.

Коэффициент автоматизации и механизации сборки и монтажа изделия $K_{авт.,мех}^{сб} = H_{ЭРЭ}^{мех} / H_{ЭРЭ}$, $H_{ЭРЭ}^{мех}$ — число навесных элементов в узле, устанавливаемых в ПП механизированным и автоматизированным методами; $H_{ЭРЭ}$ — общее число монтажных соединений.

Коэффициент стандартизации конструкции $K_{ст.к} = (E_{ст.и} + D_{ст.и}) / (E_{и} + D_{и})$, $E_{ст.и}$ — число стандартных сборочных единиц в изделии; $D_{ст.и}$ — число стандартных деталей, являющихся составными частями изделия и не входящих в число стандартных сборочных единиц в изделии.

Коэффициент контроля пригодности изделия $K_{к.приг} = (H_{к.п.и} + H_{т.к.и} - 1) / (H_{к.п.и} + H_{т.к.и})$, $H_{к.п.и}$ — количество контролируемых параметров в изделии; $H_{т.к.и}$ — количество точек контроля в изделии.

Коэффициент повторяемости марок монтажного провода в изделии $K_{пов}^{мар} = 1 / H_{пр.и}^{мар}$, $H_{пр.и}^{мар}$ — количество марок монтажного провода в изделии.

Коэффициент применяемости микросхем и микросборок $K_{прим}^{мс} = H / (H_{мс} + H_{ЭРЭ})$, $H_{мс}$ — общее число микросхем и микросборок в изделии.

Технологичность конструкции — основной критерий, определяющий пригодность аппаратуры к промышленному выпуску. Оценка технологичности конструкции заключается в оценке соответствия расчетного комплексного показателя технологичности изделия нормативному комплексному показателю технологичности. Типовые значения комплексного показателя технологичности для различных видов производства приведены в таблице [4].

Типовые значения комплексного показателя технологичности для различных видов производства

Блок	Опытное	Единичное	Серийное
Электронный	0,4... 0,7	0,45... 0,75	0,5... 0,8
Радиотехнический	0,4... 0,6	0,75... 0,8	0,80... 0,85
Электромеханический	0,3... 0,5	0,40... 0,55	0,45... 0,60

Количественная оценка исследуемого производственного процесса позволяет выявить его “узкие места”, сформулировать рекомендации по его улучшению. Предлагаемые изменения могут быть наглядно отражены в виде визуальных диаграмм структурно-функционального анализа IDEF [15].

Заключение. Разработанные коэффициенты ТКИ крайне необходимы, актуальны, важны, их использование позволяет на этапах освоения серийного производства автоматизировать систему управления технологичностью электронных средств. С помощью предложенной методики оценивается технологичность конструкции и показывается конструктивно-технологическое совершенство изделия на каждом этапе разработки и технологической подготовки производства до эксплуатации. Использование перечисленных коэффициентов обеспечивают эффективный синтез производственных систем с помощью визуальных структурно-функциональных моделей при сквозном анализе уровня технологичности изделия и динамического процесса его формирования как во времени на всех уровнях моделей, так и в пространстве.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Конструкторско-технологическое проектирование электронных средств* / К.И. Билибин, А.И. Власов, Л.В. Журавлева и др.; под ред. В.А. Шахнова. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. 568 с. (серия: Информатика в техническом университете).
2. *Адамова А.А., Адамов А.П., Ирзаев Г.Х. Методологические основы обеспечения технологичности электронных средств.* СПб.: Политехника, 2008.
3. *Маркелов В.В., Кабаева А.С. Управление качеством электронных средств.* М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. 272 с.
4. *Гриднев В.Н., Гриднева Г.Н. Проектирование коммутационных структур электронных средств.* М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. 344 с.
5. *Хенке Х.-И., Фабриан Х. Технология производства радиоэлектронной аппаратуры;* под ред. В.Н. Черняева. М.: Энергия, 1980. 464 с.
6. *Адамова А.А., Власов А.И. Визуальное моделирование адаптации подготовки производства к выпуску новой продукции // Информационные технологии в пр. и производстве.* 2014. № 2. С. 46–56.
7. *Власов А.И. Системный анализ технологических процессов производства сложных технических систем с использованием визуальных моделей. Ч. 2. // Международный научно-исследовательский журнал.* 2013. № 10. С. 17–26.

8. *Власов А.И.* Пространственная модель оценки эволюции методов визуального проектирования сложных систем // Датчики и системы. 2013. № 9. С. 10–28.
9. *Власов А.И., Журавлева Л.В., Тимофеев Г.Г.* Методы генерационного визуального синтеза технических решений в области микро- и наносистем // Научное обозрение. 2013. № 1. С. 107–111.
10. *Журавлева Л.В., Власов А.И.* Визуализация творческих стратегий с использованием ментальных карт // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. 2013. № 1. С. 133–140.
11. *Маркелов В.В., Власов А.И., Зотьева Д.Е.* Управление и контроль качества изделий электронной техники. Семь основных инструментов системного анализа при управлении качеством изделий электронной техники // Датчики и системы. 2014. № 8. С. 55–67.
12. *Ирзаев Г.Х., Адамова А.А.* Автоматизация процесса формирования системы показателей для оценки технологичности конструкции изделия // Автоматизация. Современные технологии. 2014. № 11. С. 27–33.
13. *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. С. 12. URL: <http://engjournal.ru/articles/1044/1044.pdf> (дата обращения: 22.01.2015).
14. *Адамов А.П., Ирзаев Г.Х., Адамова А.А.* К проблеме автоматизированной количественной оценки технологичности современных электронных средств // Проектирование и технология электронных средств. 2006. № 1. С. 19–22.
15. *Маркелов В.В., Власов А.И., Зотьева Д.Е.* Функциональная визуальная модель контроля качества ЭС // Проектирование и технология электронных средств. 2014. № 1. С. 25–30.

REFERENCES

- [1] Bilibin K.I., Vlasov A.I., Zhuravleva L.V., ed. by Shakhnov V.A. *Konstruktorско-tekhnologicheskoe proektirovanie elektronnykh sredstv* (ser. Informatika v tekhnicheskom universitete) [Design and Engineering of Electronic Means. Ser. Computer Science at Technical University]. Moscow, MGTU im. N.E. Baumana Publ., 2005. 568 p.
- [2] Adamova A.A., Adamov A.P., Irzaev G.Kh. *Metodologicheskie osnovy obespecheniya tekhnologichnosti elektronnykh sredstv* [Methodological Framework for Providing Technological Effectiveness of Electronic Means]. St. Petersburg, Politekhnik Publ., 2008.
- [3] Markelov V.V., Kabaeva A.S. *Upravlenie kachestvom elektronnykh sredstv* [Quality Management of Electronic Means]. Moscow, MGTU im. N.E. Baumana Publ., 2014. 272 p.
- [4] Gridnev V.N., Gridneva G.N. *Proektirovanie kommutatsionnykh struktur elektronnykh sredstv* [Designing of Electrical Switching Structures of Electronic Means]. Moscow, MGTU im. N.E. Baumana Publ., 2014. 344 p.
- [5] Hanke H.-J., Fabian H. *Technologie elektronischer Baugruppen*. Berlin, VEB Verlag Technik, 1977.
- [6] Adamova A.A., Vlasov A.I. *Informacionnye tehnologii v proektirovanii i proizvodstve* [Information Technology of CAD/CAM/CAE (ITDP)], 2014, no. 2, pp. 46–56 (in Russ.).
- [7] Vlasov A.I. *System Analysis of the Technological Processes of the Complex Technical Systems with Visual Models. Mezhdunar. nauch.-issledovatel'skiy zhurnal* [International Research Journal], 2013, no. 10, part 2, pp. 17–26 (in Russ.).
- [8] Vlasov A.I. *Spatial model assessment of evolution methods of visual design of complex systems. Datchiki & Sistemi* [Sensors & Systems], 2013, no. 9, pp. 10–28 (in Russ.).

- [9] Vlasov A.I., Zhuravleva L.V., Timofeev G.G. Methods of generation visual synthesis of technical solutions in the sphere of micro-nano-electronic mechanic systems. *Nauchnoe obozrenie* [Science Review], 2013, no. 1, pp. 107–111 (in Russ.).
- [10] Zhuravleva L.V., Vlasov A.I. Visualization of Creative Strategies: Application of Mental Maps. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal Management and High Technologies], 2013, no. 1, pp. 133–140 (in Russ.).
- [11] Markelov V.V., Vlasov A.I., Zot'eva D.E. Quality control and monitoring of electronic engineering products. Seven principal tools of system analysis in quality control of electronic engineering products. *Datchiki & Systemi* [Sensors & Systems], 2014, no. 8, pp. 55–67 (in Russ.).
- [12] Irzaev G.Kh., Adamova A.A. Formation process automation of indicators system for a valuation of the product designs manufacturability. *Avtomatizatsiya. Sovremennye tekhnologii* [Automation. Modern technology], 2014, no. 11, pp. 27–33 (in Russ.).
- [13] Адамова А.А., Адамов А.П. Multilevel model of processability formation of electronic means at the design and production stages. *Jelekt. nauchno-tehn. Izd. "Inzhenernyy zhurnal: nauka i innovacii"* [El. Sc.-Techn. Publ. "Eng. J.: Science and Innovation", 2013, iss. 11, p. 12. URL: <http://engjournal.ru/catalog/it/hidden/1044.html>
- [14] Adamov A.P., Irzaev G.Kh., Adamova A.A. Revising the Problem of Computerized Quantitative Evaluation of Technological Effectiveness of Contemporary Electronic Means. *Proektirovanie i tekhnologiya elektronnykh sredstv* [Designing and Technology of Electronic Means], 2006, no. 1, pp. 19–22 (in Russ.).
- [15] Markelov V.V., Vlasov A.I., Zot'eva D.E. Functional Visual Model of Quality Monitoring of Electronic Means. *Proektirovanie i tekhnologiya elektronnykh sredstv* [Designing and Technology of Electronic Means], 2014, no. 1, pp. 25–30 (in Russ.).

Статья поступила в редакцию 22.04.2015

Адамов Александр Петрович — д-р техн. наук, профессор кафедры “Микроэлектроника” Дагестанского государственного технического университета. Дагестанский государственный технический университет, Российская Федерация, 367015, Республика Дагестан, Махачкала, пр-т Имама Шамиля, д. 70.

Adamov A.P. — D.Sc. (Eng.), Professor, Department of Microelectronics, Daghestan State Technical University. Daghestan State Technical University, I. Shamil prospect 70, Makhachkala, 367015 Russian Federation.

Адамова Арина Александровна — канд. техн. наук, доцент кафедры “Проектирование и технология производства электронной аппаратуры” МГТУ им. Н.Э. Баумана. МГТУ им. Н.Э. Баумана, Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5.

Adamova A.A. — Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Department of Design and Production Technology of Electronic Equipment, Bauman Moscow State Technical University. Bauman Moscow State Technical University, 2-ya Baumanskaya ul. 5, Moscow, 105005 Russian Federation.

Власов Андрей Игоревич — канд. техн. наук, доцент кафедры “Проектирование и технология производства электронной аппаратуры” МГТУ им. Н.Э. Баумана. МГТУ им. Н.Э. Баумана, Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5.

Vlasov A.V. — Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Department of Design and Production Technology of Electronic Equipment, Bauman Moscow State Technical University. Bauman Moscow State Technical University, 2-ya Baumanskaya ul. 5, Moscow, 105005 Russian Federation.

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Адамов А.П., Адамова А.А., Власов А.И. Дифференциальные коэффициенты оценки технологичности электронных средств и их применение при структурно-функциональном моделировании производственных систем // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение. 2015. № 5. С. 109–123.

Please cite this article in English as:

Adamov A.P., Adamova A.A., Vlasov A.I. Differential evaluation coefficients of technological effectiveness of electronic facilities and their implementation for structural and functional modeling of productive systems. *Vestn. Mosk. Gos. Tekh. Univ. im. N.E. Bauman, Priborostr.* [Herald of the Bauman Moscow State Tech. Univ., Instrum. Eng.], 2015, no. 5, pp. 109–123.

В Издательстве МГТУ им. Н.Э. Баумана вышла в свет книга

БОРТОВЫЕ КОМПЛЕКСЫ УПРАВЛЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Изложены методология и средства создания бортовых комплексов управления современных космических аппаратов. Представлены структура и состав бортового комплекса управления, а также описание его составных частей, методология модульного проектирования структуры программного и информационного обеспечения бортовых комплексов управления. Показана технология разработки и отработки программного обеспечения систем управления космических аппаратов. Содержание данного пособия соответствует курсу лекций, читаемому автором в МГТУ им. Н.Э. Баумана на кафедре “Системы автоматического управления”.

Для студентов старших курсов, аспирантов соответствующих специальностей, полезно также научно-техническим работникам, занимающимся созданием и эксплуатацией систем управления космических аппаратов, и специалистам по вычислительным системам и комплексам, информатике и программному обеспечению информационно-управляющих систем.

Е. А. Микрин

Бортовые комплексы управления космических аппаратов

