

1.2. ОСНОВНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ПРИБОРОСТРОЕНИИ

Цель лекции: *изучение основных технологических процессов в приборостроении и их характеристик.*

1.2.1. ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Изготовление надежных приборов, способных работать в течение длительного времени является одной из важных задач как разработчиков, так и технологов.

Современное производство приборов представляет собой сложный процесс превращения сырья, материалов, полуфабрикатов и других предметов труда в готовую продукцию, удовлетворяющую потребностям заказчика. Таким образом, совокупность всех действий людей и орудий труда, осуществляемых на предприятии для изготовления конкретных видов продукции, называется производственным процессом.

Производственный процесс состоит из основных, вспомогательных и обслуживающих процессов.

Основными называются производственные процессы, в ходе которых осуществляется изготовление основной продукции, выпускаемой предприятием. Результатом основных процессов в приборостроении являются выпуск приборов и аппаратов, составляющих производственную программу предприятия и соответствующих его специализации, а также изготовление запасных частей к ним для поставки потребителю.

К вспомогательным относятся процессы, обеспечивающие бесперебойное протекание основных процессов. Их результатом является продукция, используемая на самом предприятии. Вспомогательными являются процессы по ремонту оборудования, изготовлению оснастки, выработка сжатого воздуха и т.д.

Обслуживающими называются процессы, в ходе реализации которых выполняются услуги, необходимые для нормального функционирования и основных, и вспомогательных процессов. К ним относятся, например, процессы транспортировки, складирования, подбора и комплектования деталей и т.д.

Основной частью производственного процесса являются технологические процессы, которые содержат целенаправленные действия по изменению и определению состояния предметов труда. В ходе реализации технологических процессов происходит изменение геометрических форм, размеров и физико-химических свойств предметов труда.

Технологический процесс — это часть производственного процесса, содержащая целенаправленные действия по изменению и (или) определению состояния предмета труда.

Технологическая операция — это часть технологического процесса, выполняемая непрерывно на одном рабочем месте, над одним или несколькими одновременно обрабатываемыми или собираемыми изделиями, одним или несколькими сотрудниками.

Установ — законченная часть операции, выполняемая при одной схеме обработки одной детали за одну или несколько позиций (переходов). Составной частью установка является установка детали на станке или в приспособлении.

Цель технологической операции — получение заданной конфигурации технологических структурных элементов. Для этого может осуществляться удаление материала с поверхности заготовки, нанесение материала на поверхность и модификация поверхностного слоя рис. 1.9.



Рис. 1.9. Цель технологической операции

Для удаления инородного материала с поверхности могут применяться, например, очистка, шлифовка и полировка. Может также осуществляться избирательное удаление материала для получения определенной конфигурации поверхности заготовки.

Нанесение материала на поверхность заготовки может осуществляться с целью обеспечения специфических свойств, например, обеспечение коррозионностойкости, электропроводности, электроизоляции, фоточувствительности и т.п.

Модификация поверхностного слоя может осуществляться для получения особых свойств приповерхностного слоя заготовки, например, легирование, окисление, цементация, азотирование, цианирование и т.п.

В зависимости от подробности разработки ТП, их типизации, наличия оборудования и объема выпуска изделий классифицируют на следующие виды:

- *проектный* (начальная стадия, много вариантов);
- *рабочий* (конкретный, для работы);

- *единичный* (ТП только на данное изделие, как правило, массовое производство);
- *типовой* (на конструктивно подобные изделия. Например, ТП на изготовление печатных плат);
- *групповой* (на технологически подобные изделия для мелкосерийного, многономенклатурного производства);
- *временный* (оперативный), для имеющегося на предприятии оборудования при изготовлении пробных изделий;
- *стандартный* (обязательный к применению для отрасли, государства. Например, стандартные методики испытания электронно-вычислительной аппаратуры);
- *перспективный* (для вновь разрабатываемых производств или модернизации старых предприятий);
- *маршрутный*;
- *операционный*;
- *маршрутно-операционный*.

Последние три определяют степень подробности разработки ТП.

Маршрутный технологический процесс определяет порядок (маршрут) следования операций, их вид и наименование, оборудование и оснастку для выполнения операций, трудоемкость выполнения операций и квалификацию работников. Для мелкосерийного производства достаточна разработка *маршрутной технологии*. При этом все параметры разработки заносятся в маршрутные карты. Для средне- и крупносерийного, а также массового производств после маршрутной технологии следует разработка *операционной технологии*. При этом каждая операция разрабатывается подробно. Окончательно выбирается оборудование и оснастка, выбираются или рассчитываются технологические режимы. Операция дробится на технологические переходы — используется принцип дифференциации и концентрации технологических переходов при выполнении операции. Вычерчивается эскиз операции с установочными базами и настроечными размерами. Рассчитывается *операционное время* ($t_{оп}$) и окончательно устанавливается *норма штучного времени* ($T_{шт}$). Данные разработки заносятся в операционные карты.

Маршрутно-операционная технология применяется, когда на отдельные наиболее сложные операции маршрутной технологии разрабатывается операционная технология.

Исходными данными для разработки технологических процессов являются:

- конструкторская документация на изделие (сборочные чертежи, рабочие чертежи, электрические схемы, монтажные схемы);
- технические требования на изделие, где указываются дополнительные требования к изделию. Например, необходимость защиты, виды испытаний;
- спецификация на входящие в изделие компоненты;

- объем выпуска продукции (N);
- сроки выпуска (еженедельно, ежемесячно, ежеквартально);
- наличие технологического оборудования, оснастки;
- справочная, нормативная литература, программы.

Государственным стандартом установлены следующие стадии разработки приборов:

- техническое предложение;
- эскизный проект (ЭП);
- технический проект (ТП);
- рабочая конструкторская документация для выпуска опытного образца или серийного (массового) производства.

1.2.2. ПОКАЗАТЕЛИ КОНСТРУКЦИИ ПРИБОРОВ

Электронные приборы—это устройства, созданные из электронных компонентов, работа которых основана на использовании электрических, тепловых, оптических и акустических явлений в твёрдом теле, жидкости, вакууме, газе или плазме.

Основными требованиями, предъявляемыми к приборам, являются надежность, точность, простота в эксплуатации, малые вес и габариты, экономичность производства.

Перед тем, как перейти к рассмотрению вопросов производства необходимо дать ответ на вопросы: "Что планируется изготавливать?", "Какими показателями должна характеризоваться выпускаемая продукция?".

Большое разнообразие имеющихся в эксплуатации и на рынке приборов требует от разработчиков этого вида техники знания наборов показателей, по которым возможно сравнивать существующие модели прибора с разрабатываемой. Безусловно, важнейшую роль при этом будут играть эксплуатационные и экономические показатели. С ними непосредственно связаны параметры, характеризующие прибор как объект конструкторско-технологической разработки. К таким показателям следует в первую очередь отнести следующие:

Сложность конструкции:

$$C_{ЭВМ} = K_1(K_2N_Э + K_3M_С), \quad (1.1)$$

где: $N_Э$ — число составляющих прибор элементов; $M_С$ — число соединений; K_1 , K_2 и K_3 — масштабный и весовые коэффициенты соответственно.

Выражение (1.1) связывает число составляющих прибор интегральных микросхем, полупроводниковых приборов, электрорадиоэлементов, элементов коммутации с числом разъёмных и неразъёмных соединений между ними, что определяет габариты, массу, надежность и другие общие параметры прибор.

Число элементов, образующих прибор:

$$N_{\text{Э}} = \sum_{j=1}^{N_y} \sum_{i=1}^{K_n} n_{ji}, \quad (1.2)$$

где: N_y — число устройств в приборе; K_n — число типов применяемых элементов; n_{ji} — число элементов i -го типа, входящих в j -е устройство.

Объем прибора:

$$V = V_N + V_c + V_k + V_{\text{ут}}, \quad (1.3)$$

где: V_N — общий объем интегральных микросхем и электрорадиоэлементов, образующих прибор; V_c — объем, занимаемый всеми видами соединений; V_k — объем несущей конструкции, обеспечивающей прочность и защиту прибора при транспортировании и эксплуатации; $V_{\text{ут}}$ — объем теплоотводящего устройства.

Коэффициент интеграции, или коэффициент использования физического объема:

$$q_n = V_N/V \quad (1.4)$$

характеризует степень использования физического объема прибора элементами, выполняющими полезную функциональную нагрузку, т. е. непосредственно определяющими электрическую схему прибора (q_n всегда меньше 1 и приближается к ней с использованием больших интегральных схем).

Общая масса прибора, определяемая как сумма масс, входящих в состав прибора элементов:

$$m = m_N + m_c + m_n + m_{\text{ут}} \quad (1.5)$$

(обозначения в индексах аналогичны обозначениям в выражении (1.2)).

Общая мощность потребления прибора:

$$Q = \sum_{i=1}^{N_y} q_j \quad (1.6)$$

где: q_j — мощность потребления j -го устройства. Для цифровых устройств потребляемая ими мощность зависит от средней мощности потребления электронных компонентов. Известно, что 80—90 % мощности потребления рассеивается в виде теплоты и определяет тепловой режим прибора и соответствующие перегревы элементов конструкции.

Общая площадь, занимаемая прибором,

$$S = \sum_{j=1}^{N_y} s_j, \quad (1.7)$$

где: s_j — площадь, требуемая для эксплуатации j -го элемента прибора.

Собственная частота колебаний конструкции (элемента, устройства или всего прибора):

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{m}}, \quad (1.8)$$

где: K — коэффициент жесткости конструкции; m — масса конструкции прибора.

Степень герметичности конструкции прибора, определяемая количеством газа, истекшем из определенного объема конструкции за известный отрезок времени:

$$D = \frac{V_0}{\tau_{сл}} \Delta P, \quad (1.9)$$

где V_0 — объем герметизированной части прибора; $\tau_{сл}$ — срок службы прибора; ΔP — избыточное давление газа в конструкции прибора.

Вероятность безотказной работы прибора $p(t)$ и *средняя наработка на отказ* $T_{ср}$ — показатели надежности прибора.

Степень унификации прибора:

$$K_{ун} = \frac{N_{ун}}{N_э}, \quad (1.10)$$

где: $N_{ун}$ — количество унифицированных элементов, а $N_э$ — общее количество примененных в приборе элементов.

Коэффициент автоматизации конструкторских работ:

$$K_a = \frac{M_a}{M}, \quad (1.11)$$

где: M_a — количество конструкторских работ, выполненных с применением САПР; M — общее число конструкторских работ.

Важнейшим параметром, определяющим большинство эксплуатационных, конструкторско-технологических и экономических характеристик разрабатываемого прибора, является **технологичность**.

Различная физическая природа показателей, характеризующих качество прибора, затрудняет проводить сравнительный анализ и выбор наилучшей по своим характеристикам аппаратуры, как проектировщикам, так и потребителям. Для решения этой задачи могут быть использованы различные многокритериальные методы теории принятия решений. Одним из таких методов является выбор одного или нескольких решений по минимаксному критерию, не учитывающего взаимное влияние частных показателей качества.

Исходными данными в задаче выбора наилучшего по своим показателям прибора являются: множество вариантов реализации прибора i ($i=1, N$), набор показателей качества j ($j=1, M$), коэффициент важности показателей качества λ_j . При этом чем меньше λ_j , тем важнее j -й показатель. Количественные значения коэффициентов важности устанавливаются на основании имеющегося у разработчика или потребителя опыта, либо с применением метода экспертных

оценок. Установление наилучшего варианта прибора производится путем определения обобщенного показателя качества, рассчитываемого по выражению:

$$F_i = \sum_{j=1}^M \left[\frac{q_j(i) - q_j^*}{q_{j \max}} \right] \cdot \lambda_j, \quad (1.12)$$

где: q_j^* - минимальное (наилучшее) значение j -показателя; $q_j(i)$ - значение j -го показателя; $q_{j \max}$ - максимальное (наихудшее) значение j -го показателя; λ_j - коэффициент важности j -го показателя.

В качестве примера рассмотрим применение метода подбора по минимаксному критерию для случая выбора наилучшего варианта прибора из пяти имеющихся, показатели конструкции которых приведены в табл. 1.7.

Таблица 1.7

Показатели конструкции для тест - образцов

ВАРИАНТ ПРИБОРА	ПОКАЗАТЕЛЬ				
	m , кг.	Q , ВА	V , дм ³	$p(t)$	K_a
ПРИБОР-1	12,5	80,0	15,0	0,9	0,2
ПРИБОР-2	8,0	60,0	12,0	0,8	0,3
ПРИБОР-3	10,5	90,0	8,0	0,99	0,5
ПРИБОР-4	6,0	70,0	10,0	0,88	0,8
ПРИБОР-5	5,5	80,0	9,0	0,92	0,6
λ_j	0,3	0,2	0,5	0,1	0,9

Так как обязательным для рассматриваемого метода является соблюдение условия: меньшему численному значению показателя соответствует лучшее его качество, то приведенные в табл. 1.7 данные по $p(t)$ и K_a должны быть пересчитаны по выражениям: $p(t)^* = 1/p(t)$ и $K_a^* = 1/K_a$. После пересчета табл. 1.7 преобразуется в табл. 1.8.

Таблица 1.8.

Приведенные показатели конструкции для тест - образцов

ВАРИАНТ ПРИБОРА	ПОКАЗАТЕЛЬ				
	m , кг.	Q , ВА	V , дм ³	$p(t)^*$	K_a^*
ПРИБОР-1	12,5	80,0	15,0	1,1	5,0
ПРИБОР-2	8,0	60,0	12,0	1,25	3,3
ПРИБОР-3	10,5	90,0	8,0	1,0	2,0
ПРИБОР-4	6,0	70,0	10,0	1,14	1,25
ПРИБОР-5	5,5	80,0	9,0	1,09	1,67
λ_j	0,3	0,2	0,5	0,1	0,9

Для каждого из вариантов прибора, используя выражение 1.12, рассчитаем обобщенные показатели качества F_i , (табл. 1.9).

Таблица 1.9.

ВАРИАНТ ПРИБОР	Обобщенные показатели качества для тест-образцов ПОКАЗАТЕЛЬ					
	m , кг	Q , ВА	V , дм ³	$p(t)^*$	K_a^*	F_i
ПРИБОР-1	0,168	0,044	0,233	0,008	0,675	1,128
ПРИБОР-2	0,06	0,0	0,13	0,02	0,369	0,579
ПРИБОР-3	0,12	0,067	0,0	0,0	0,135	0,322
ПРИБОР-4	0,012	0,022	0,067	0,0112	0,0	0,1122
ПРИБОР-5	0,0	0,044	0,033	0,0072	0,756	0,8402
λ_j	0,3	0,2	0,5	0,1	0,9	

Как следует из данных табл. 1.9, минимальным значением обобщенного показателя качества обладает вариант аппаратуры, обозначенный как ПРИБОР-4.

Одним из критериев конструкции приборов является *эффективность* (efficiency) - определяет достижение каких-либо определенных результатов с минимально возможными издержками или получение максимально возможного объема продукции из данного количества ресурсов [5, 38]. Эффективность производства означает распределение имеющихся в наличии ресурсов таким образом, что невозможно увеличить объем производства каких-либо товаров без сокращения объема производства других товаров. Эффективностью часто называют оптимальность по Парето.

Внедрение концепции "Индустрия 5.0" изменяет подходы к разработке и производству изделий электроники при обеспечении заданного уровня качества и надёжности. Современное производство в условиях четвертой промышленной революции рассматривается как "Бережливое производство". В основе "Бережливого производства" лежит инкапсуляция персонала в производственный процесс, постоянное совершенствование производства с целью увеличения добавленной стоимости за счет уменьшения каких-либо потерь [39, 40]. "Бережливое производство" — это концепция управления организацией, предназначенная для минимизации различных затрат и максимальной ориентации на потребителя [39, 40]. Она включает набор инструментов, таких как Just-In-Time, Kanban, 5S и др., совместное использование которых позволяет уменьшить потери.

Ликвидация потерь за счет внедрения "Бережливого производства" позволяет обобщить разрозненные методы управления качеством. Одним из показателей качества в приборостроении является технологичность [41, 42]. Под технологичностью устройства понимается - комплексный показатель,

учитывающий совокупность свойств изделия, определяющих приспособленность его конструкции к минимизации ресурсов при его производстве, эксплуатации и утилизации [41].

Технологичность конструкции изделия понятие комплексное и относительное, зависящее от объема выпуска изделия. Оно отражает не функциональные свойства изделия, а свойства его как объекта производства и эксплуатации. Методика интегральной оценки показателей технологичности конструкций электронной аппаратуры приведена в [42]. При этом встает вопрос: - "Как учитывать вклад компонентов "Бережливого производства" в общий показатель технологичности изделия?".

Классическую модель "Бережливого производства" принято строить на основе карт текущего состояния потока создания ценности и карты будущего состояния соответственно. Составление карты потока создания ценности позволяет оценить скрытые в процессе производства потери. Оно фиксирует операции, создающие и не создающие добавленную ценность, что дает понимание о том, какие непроизводительные затраты и потери препятствуют повышению эффективности использования оборудования.

В общем случае влияние внедрения компонентов "Бережливого производства" на общую технологичность изделия следует учитывать в виде коэффициента общей эффективности оборудования K_{OEE} (Overall Equipment Effectiveness), который используется для идентификации потерь, возникающих как на отдельной установке, так и на производственной линии в целом. Он отражает происходящие улучшения/ухудшения за определенный промежуток времени [39]. Этот показатель учитывает не только производительность станка, но и фактически отработанное время, а также процент изделий без дефектов (по сравнению со всей выработкой) и в комплексе отражает уровень эффективности использования оборудования.

Коэффициент общей эффективности оборудования может быть рассчитан по следующей формуле: $K_{OEE} = K_d \times K_{np} \times K_k$, где: K_d - коэффициент доступности, K_{np} - коэффициент производительности, K_k - коэффициент качества [39].

После оценки K_{OEE} его значение учитывается в комплексном коэффициенте технологичности изделия [42], тем самым обеспечивая учет от внедрения компонентов "Бережливого производства".

Реализуя концепцию "Управляемый данными" (Data-driven) возможно обеспечение качества цифровых сервисов посредством анализа данных (в том числе предиктивного) [39, 40]. Такая концепция позволяет обрабатывать производственную информацию на основе ретроспективного анализа. Обобщенную количественную оценку эффективности сервисов при таком подходе проводят на основе оценки технических KPI (Key Performance Indicators или ключевые показатели эффективности).

Современные изделия приборостроения, в том числе киберфизические системы, являются сложными системами. Одной из проблем управления их качеством является построения системы метрик, показателей их эффективности.

Такая система метрик зависит от бизнес-процессов и текущих целей. Методики контроля качества сервисов целесообразно реализовывать на основе визуальных моделей бизнес-процессов управления данными с оценкой соответствующих метрик [41, 42]. Применение визуальных моделей с системами метрик позволяет проводить иерархическую декомпозицию рассматриваемой системы, выявлять подсистемы с низкой производительностью, проводить анализ данных (в том числе и предиктивный), формировать рекомендации и аналитические отчеты с различным уровнем детализации. Такие системы состоят из набора процедур и показателей, которые обеспечивают непрерывное измерение эффективности процессов и сервисов в целом [39].

KPI определяются как набор метрик, которые сосредоточены на основных критических видах деятельности. При этом для дальнейшей аналитической обработки данные целесообразно визуализировать и в последствии использовать для принятия обоснованных решений. В парадигме Индустрия 5.0 решение может быть принято с помощью применения методов описательной, предиктивной или предписывающей аналитики, полученной по результатам обработки данных, начиная с малозначимых разрозненных "сырых" данных до состояния знания, набора инструкций и т.п. рис.1.10.



Рис. 1.10. Цепочка формирования ценности данных

Data-driven платформа, рассматривает все данные, формируемые на протяжении всего жизненного цикла продукции, включая как структурированные, так и неструктурированные данные, а также текстовые, аудио-, видео- и графическую информацию. В отличие от более ранних подходов, особенно подхода компьютеризированного производства, предприятие, управляемое данными, не стремится полностью автоматизировать все операции и процессы принятия решений, оно применяет предиктивные методики сбора и обработки разнообразной технической и общепроизводственной статистики.

Для внедрения Data-driven платформы необходимо сформировать инфраструктуру и эффективную методику по работе с данными, обеспечить интеграцию разнородных инфосистем, сформировать корпоративное хранилище данных и применять инструменты аналитики для аналитики данных и извлечения знаний, сформировать механизм оперативного централизованного предоставления информации для сотрудников на всех уровнях иерархии. Это создает новые возможности для конкурентных преимуществ производственных компаний, особенно в отношении эффективных и гибких процессов, непрерывного совершенствования на протяжении всего жизненного цикла продукции.

Современное производство развивается в условиях сквозной цифровизации, которые направлены на повышение общего качества проектирования продуктов и производственных систем. Внедрение цифровых сервисов позволяет лучше контролировать жизненный цикл продукта и предоставляет широкие возможности для прогнозирования и активного управления на самых ранних стадиях. Реализуя положения "Бережливого производства" вместе с инструментами цифровой трансформации стало возможным перейти к глобальному сокращению издержек и интенсивному обеспечению эффективности производственных систем [39].

Классические модели производственной эффективности базируются на финансовых показателях, без надлежащего внимания к техническим вопросам, непосредственно определяющим финансовые показатели. Разобщенность специалистов экономического и технического состава и относительная сложность инструментария для измерения и мониторинга технической статистики обуславливают сложности комплексной оценки эффективности современного производства. Сбор и обработка значительных объемов технологической статистики, порождаемой как оборудованием, так и производственными процессами, из потока данных в полезные знания является нетривиальной задачей [40].

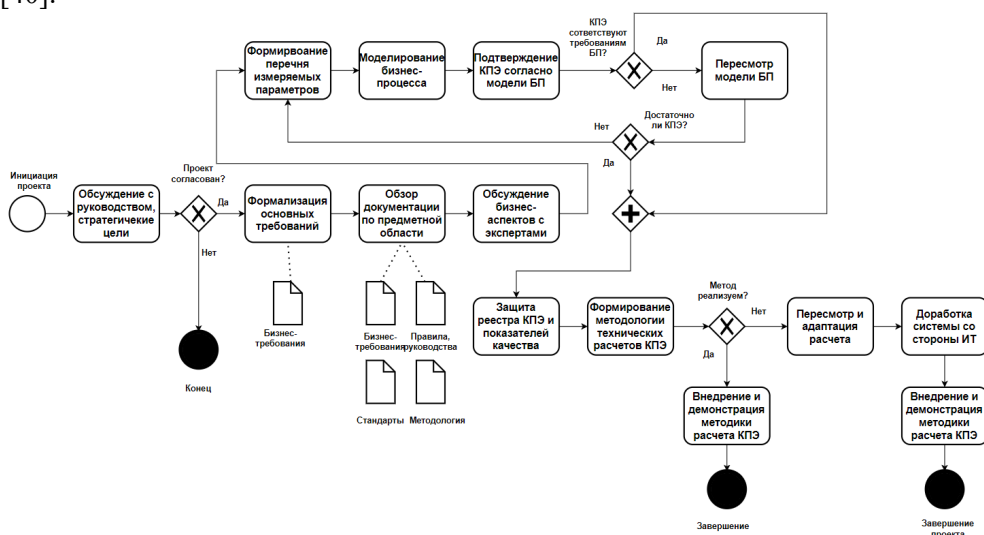


Рис. 1.11. Эволюционная модель оценки показателей эффективности

Оценка эффективности производственной системы осуществляется посредством KPI, которые подвергаются картированию [41]. При этом сами KPI являются активными элементами производственной модели, они имеют свойство морфинга (изменения). На рис. 1.11. представлена модель сбора, хранения и измерения, а значит и управления показателями эффективности.

В начальном шаге обсуждается необходимость внедрения современных методов оценки эффективности, формулируются видение и цели, утверждается проект.

На втором шаге происходит уточнение производственных и оформление технических требований. Формируется список участников проекта (активных элементов модели): заказчиков, методологов, экспертов и др.

Последовательность этапов, приведенных на рис. 1.11., формирует необходимый перечень технических КРІ, которые применяются для оценки производственного процесса.

После опытной эксплуатации и подтверждения корректности выбранных методик контроля технологичности, производительности и методов расчета показателей формируется задание на проведение мероприятий по обеспечению заданного уровня КРІ с подробным перечислением базовых элементарных измерений РІ (Performance indicator), моделей КРІ и остальных метаданных. Если текущая реализация мероприятий по обеспечению заданного уровня КРІ не позволяет добиться ожидаемого результата, то проводится корректировка модели обеспечения показателей эффективности.

Для оценки показателей эффективности используется комплексный показатель КРІ [39]. КРІ - это количественный показатель, который позволяет оценить, насколько хорошо выполняются операционные и стратегические цели.

Применение КРІ обусловлено необходимостью непрерывного мониторинге эффективности и результативности, а также в быстром и четком анализе текущей ситуации на управляемой системе. КРІ позволяет расширить спектр показателей для всестороннего мониторинга состояния процессов, а также позволяет интегрировать разрозненные данные, обеспечивая совместимость данных в различных подсистемах [40].

Ключевые показатели эффективности - это значения, которые характеризуют критерии достижения успеха в производственной системе. Они являются измерениями критических факторов эффективности, которые могут помочь в определении и достижении целей. Использование КРІ означает наличие способа измерения динамики результатов, а также сравнение результатов с поставленными целями. Сравнивая с целями компании, КРІ дают представление о том, были ли цели достигнуты или нет. Автоматизация расчетов КРІ также создают условия для непрерывного совершенствования одновременно с отслеживанием значений показателей.

Можно выделить два основных способа определения КРІ. Первый позволяет сравнивать целевые показатели с параметрами функционирования непосредственно контролируемого объекта. Второй подход заключается в аналитической оценке КРІ, которая неочевидна при прямом измерении. Прямой подход формирования измерений в большинстве применений рассматривается в качестве КРІ, в то время как второй способ в большей степени соответствует сути КРІ.

Методика оценки показателей эффективности крайне важна, ее можно представить в виде пирамиды дерева решений рис. 1.12. На нижнем уровне иерархии PI (Performance indicator) располагаются элементарные измерения. На этом уровне осуществляется сбор статистики событий, возникающих непосредственно на оборудовании. Множество элементарных измерений, регистрируемых сетью, могут быть связаны как непосредственно с статистическими фактами поведения оборудования в моменты предоставления услуги, так и с техническими параметрами работы оборудования, описывающими его текущее состояние [41].

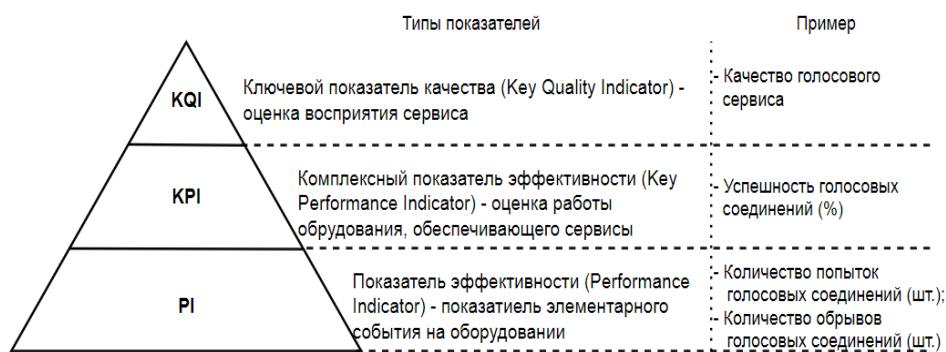


Рис. 1.12 Иерархическая декомпозиция показателей эффективности

Для формирования общего представления по характеристикам оборудования используется "технический KPI" [39]. Технический KPI оценивает состояние отдельных факторов, сопутствующих услуге и определяется аналитически.

Для получения масштабных знаний о качестве предоставления услуги в целом KPI объединяются в KQI. Они так же рассчитываются аналитически, но в качестве модели используются уже известные KPI. KQI - это агрегация KPI с PI. Временная модель используется для визуализации информации о физических измерениях, используемых в функциях агрегации. Временные модели визуализируют время начала/остановки конкретных измерений, а также их взаимосвязь с другими физическими измерениями. Модель эффекта можно рассматривать как диаграмму корневых причин. Каждый KPI имеет свою собственную модель эффекта. Модель эффекта - это картина, которая подчеркивает взаимосвязь между KPI и его параметрами она позволяет оценить эффективность телекоммуникационных сервисов в комплексе.

Количественную оценку показателя эффективности можно задать через относительную величину: результативность процесса, операции, проекта, определяемые как отношение эффекта, результата к затратам, расходам, обеспечившим его получение.

1.2.3 Модульный принцип проектирования в приборостроении

Методы технологии приборостроения направлены на изготовление современных приборов.

Конструкция приборов реализуется из отдельных модулей, что позволяет снизить затраты на разработку, изготовление и освоение их производства, обеспечить совместимость и преемственность аппаратурных решений при одновременном улучшении качества, увеличении надежности и срока службы позволяет использование.

Под *модульным принципом проектирования* понимается проектирование изделий приборов и систем на основе конструктивной и функциональной взаимозаменяемости составных частей конструкции — *модулей*.

Модуль — составная часть аппаратуры, выполняющая в конструкции подчиненные функции, имеющая законченное функциональное и конструктивное оформление и снабженная элементами коммутации и механического соединения с подобными модулями и с модулями низшего уровня в изделии.

Модульный принцип конструирования предполагает *разукрупнение (разбивку, расчленение)* электронной схемы приборов на функционально законченные подсхемы (части), выполняющие определенные функции согласно ГОСТ Р 52003-2003. Эти подсхемы чаще всего разбиваются на более простые и так до тех пор, пока электронная схема изделия не будет представлена в виде набора модулей разной сложности, а низшим модулем не окажется корпус *интегральной микросхемы (ИС)*. Модули одного уровня объединяются между собой в приборах на какой-либо конструктивной основе (несущей конструкции).

Возможен и другой подход к проектированию, когда частям детально разработанной функциональной схемы изделия ставятся в соответствие схемы выбранной серии ИС, а электрическая схема изделия как бы «покрывается» электрическими схемами ИС. При этом отдельные части схемы изделия могут оказаться непокрытыми микросхемами существующих серий, тогда такие подсхемы реализуются дискретными *электрорадиоэлементами (ЭРЭ)*. В результате будет получен набор корпусов ИС и ЭРЭ, реализующий схему изделия. Эти корпуса и ЭРЭ устанавливаются и коммутируются между собой в модулях следующего уровня иерархии, которые устанавливаются и коммутируются в модуле более высокого уровня, и т. д. В зависимости от сложности проектируемого изделия будет задействовано разное число уровней модульности (уровней конструктивной иерархии).

Конструкция современных приборов представляет собой некоторую *иерархию* модулей (порядок в расположении модулей от низшего к высшему), каждая ступень, которой называется *уровнем модульности*. При выборе числа уровней модульности проводится *типизация* модулей, т. е. сокращение их разнообразия и установление таких конструкций, которые выполняли бы самые широкие функции в изделиях определенного функционального назначе-

ния. Функциональное многообразие изделий достигается использованием различного числа уровней модульности с возможностью конструктивного оформления высшего и, следовательно, самого сложного модуля в виде законченного изделия.

Выделяют четыре основных и два дополнительных *уровня модульности*. Под *основными* понимаются уровни модульности, широко применяемые в разнообразной аппаратуре, под *дополнительными* — используемые в специальной аппаратуре, но не всегда. Иерархия модулей и их входимость (установка) приведены на рис. 1.13, где модули разных уровней отделены двойными вертикальными линиями.

Модулем *нулевого уровня* является *электронный компонент*. В зависимости от исполнения аппаратуры модулем нулевого уровня служат электрорадиоэлементы, интегральные микросхемы, микроконтроллеры (МК) и микропроцессоры (МП).

Модуль *первого уровня* — *типовой элемент замены* (ТЭЗ)— представляет собой коммутационную структуру (КС) с установленными на ней модулями нулевого уровня и электрическим соединителем.

Модуль *второго уровня* — *блок*, основными конструктивными элементами которого является *панель* с ответными *соединителями* модулей первого уровня. Межблочная коммутация выполняется соединителями, расположенными по периферии панели блока. Модули первого уровня размещаются в один или несколько рядов. На рис. 1.13 показан однорядный блок.

Модуль *третьего уровня* — *стойка*, в которой устанавливаются блоки или 2—3 рамы.

Модулем *уровня 0,5* является микросборка, состоящая из подложки с размещенными на ней безкорпусными микросхемами. Межмодульная коммутация обеспечивается введением по периферии подложки контактных площадок. Модуль вводится для увеличения плотности компоновки аппаратуры.

Модуль *уровня 2,5* представляет собой раму, в которой размещаются 6—8 блоков. Рама применяется в стоечной аппаратуре, использующей небольшие по размерам модули первого уровня.

Модульный принцип конструирования предусматривает несколько уровней коммутации:

1-й уровень — коммутация печатным (печатная плата (ПП)) и (или) проводным монтажом электронных компонентов на плате;

2-й уровень — коммутация печатным или объемным монтажом ответных соединителей модулей первого уровня в блоке;

3-й уровень — электрическое объединение блоков или рам в стойке и стоек между собой жгутами и кабелями;

уровень 0,5 — электрическое соединение выводов безкорпусных микросхем пленочными проводниками;

уровень 2,5 — коммутация блоков в раме проводами, жгутами или кабелями.

При разработке несложной аппаратуры высшие уровни модульности отсутствуют. Полная модульность, приведенная на рис.1.13, используется только в сложной аппаратуре.

Выражение *функционально-узловой метод проектирования* широко распространено в отечественной литературе. Этот метод определяет подход к разбивке функциональной схемы изделия на узлы (подсхемы), конструктивно выполненные на *печатной плате* (ПП) модулями первого уровня. В действительности задача проектирования ставится шире, так как сложная аппаратура воплощает не одну схему, а, как правило, несколько структурных или функциональных схем. Поэтому целесообразно говорить о модульном принципе проектирования, подразумевая под этим принципы выделения (разукрупнения, разбивки) схем на функциональные группы разных уровней сложности (узлы, устройства, комплексы, системы) для реализации их конструктивными модулями.

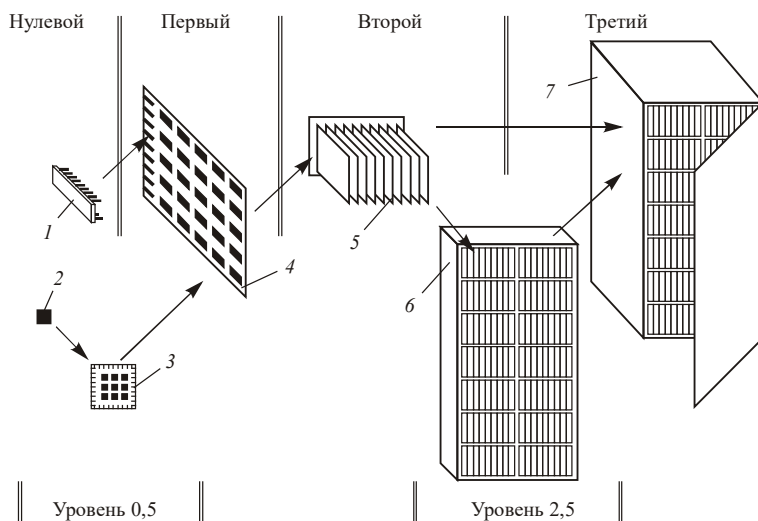


Рис. 1.13. Конструктивная иерархия и входимость модулей:

1 — микросхема; 2 — ЭРЭ; 3 — микросборка; 4 — типовой элемент замены (ТЭЗ), ячейка; 5 — блок; 6 — рама; 7 — стойка

Конструктивным модулям можно поставить в соответствие схемные модули, которые так же имеют многоуровневую иерархию и представляют собой функциональные узлы, устройства, комплексы, системы (табл. 1.10).

Таблица 1.10

Связь между конструктивной и схемной модульностью

Конструктивная модульность	Схемная модульность
Корпус микросхемы	Логический, запоминающий элемент
ТЭЗ	Функциональный узел
Блок	Устройство
Рама	Комплекс
Стойка	Система

Необходимо отметить, что приведенная в табл. 1.10 связь конструктивной и схемной модульности условна. Она имеет отношение к аппаратуре, реализуемой на микросхемах малой степени интеграции, и в общем случае зависит от функциональной сложности проектируемого изделия и степени интеграции применяемых МС. Дело в том, что в больших интегральных схемах (БИС) реализуются целиком устройства (например, преобразователи, запоминающие устройства) или их крупные фрагменты. Весьма возможно, что несложная система будет конструктивно выполнена на одной печатной плате.

При разбивке структурных и функциональных схем необходимо удовлетворить многим и порой противоречивым требованиям:

- функциональной законченности, когда выделяемая подсхема должна обладать необходимой полнотой и выполнять частные функции по приему, обработке, хранению и передаче информации;
- минимизации внешних связей подсхем, либо, если электрические соединители модулей выбраны (заданы), чтобы число внешних связей не превысило число контактов соединителя;
- максимального заполнения отводимого конструктивного пространства (поверхности) модулями (компонентами) (по этой же причине компоненты не должны существенно отличаться между собой по габаритным размерам и массе);
- модули (компоненты) подсхем должны рассеивать приблизительно одинаковые мощности во избежание местных перегревов;
- модули (компоненты) подсхем не должны быть чрезмерно чувствительными к электрическим, магнитным и электромагнитным помехам и не должны создавать чрезмерных помех.

Соблюдение требований функциональной законченности покажем на примере разработки конструкции супергетеродинного приемника, состоящего из следующих подсхем: входной цепи, усилителя радиочастоты, преобразователя частоты, усилителя промежуточной частоты, детектора, усилителя звуковой частоты. При реализации конструкции радиоприемника каждый функциональный узел можно выполнить на отдельной плате и в то же время всю схе-

му радиоприемника — на одной плате. В том и другом случае функциональная законченность будет иметь место, но во втором случае общее число внешних связей меньше, и надежность, если все прочие элементы схемы и конструкции одинаковы, окажется выше. Функциональная законченность будет отсутствовать, если на одной плате выполнена схема входной цепи и часть усилителя радиочастоты, а на другой плате — оставшаяся часть усилителя радиочастоты и преобразователь частоты. Функциональная законченность подсхем сокращает число межмодульных электрических соединений, позволяет вносить конструктивные изменения на более поздних стадиях проектирования, упрощает и удешевляет контроль модулей.

Модули высших уровней поставляются разработчикам приборов в виде *базовых несущих конструкций* (БНК), которые представляют собой деталь или совокупность деталей, предназначенных для размещения, монтажа составных частей аппаратуры и обеспечения устойчивости приборов в условиях внешних воздействий. Под БНК понимается стандартная несущая конструкция, используемая при разработке разнообразных приборов определенного назначения.

Ускорение разработки и производства аппаратуры, увеличение ее серийности, снижение стоимости можно достигнуть унификацией, нормализацией и стандартизацией основных параметров и типоразмеров печатных плат, блоков, приборных корпусов, стоек, широким применением модульного принципа конструирования.

В основе стандартизации модулей и их несущих конструкций лежат типовые функции, свойственные многим электронным системам. Для использования при проектировании модульного принципа конструирования разработаны ведомственные нормалы и государственные стандарты, устанавливающие термины, определения, системы типовых конструкций модульных систем.

Конструкционная система, прежде всего, должна представлять многоуровневое семейство модулей с оптимальным составом набора, обеспечивающим функциональную полноту при построении аппаратуры определенного назначения. Все модули системы должны быть совместимы между собой по конструктивным, электрическим и эксплуатационным параметрам.

Базовым называется принцип конструирования, при котором частные конструктивные решения реализуются на основе стандартных конструкций модулей или конструкционных систем модулей (базовых конструкций), разрешенных к применению в аппаратуре определенного класса, назначения и объектов установки.

При разработке базовых конструкций должны учитываться особенности современных и, что более важно, будущих разработок. При этом частные конструктивные решения обобщаются, а основные свойства и параметры закладываются в конструкции, которые стандартизуются, поставляются и рекомендуются для широкого применения.

Базовые конструкции не должны быть полностью конструктивно завершенными, необходимо предусматривать возможность их изменения (в основном косметического характера) для создания модификаций аппаратурных решений. Иерархическое построение базовых конструкций с гибкой структурой и числом уровней не более четырех является вполне достаточным для разработки приборов любой сложности.

При стандартизации параметры конструкций объединяются в *параметрические ряды*, характеризующиеся совокупностью числовых значений на основе принятых градаций и диапазонов. Если в качестве параметров ряда используют геометрические размеры конструкции, то говорят не о параметрических, а о *размерных рядах*. Оба вида рядов получили широкое распространение.

Наилучшими с позиций стандартизации следует считать ряды, обеспечивающие наибольший экономический эффект от их использования и *опережающую стандартизацию*, т. е. сокращение объема работ, связанных с пересмотром стандартов и их модернизацией (опережающая стандартизация позволяет увеличить сроки действия стандартов).

ТЕСТЫ К ЛЕКЦИИ

Вопрос 1	Что называется производственным процессом?
Ответы:	
1	Совокупность всех действий людей и орудий труда, осуществляемых на предприятии для изготовления конкретных видов продукции
2	Это работа, выполняемая непрерывно на одном рабочем месте, над одним обрабатываемым или собираемым изделием, одним или несколькими сотрудниками.
3	Это операция, выполняемая при одной схеме обработки одной детали за одну или несколько позиций (переходов)
Вопрос 2	Что такое технологический процесс?
Ответы:	
1	Это часть производственного процесса, содержащая целенаправленные действия по изменению и (или) определению состояния предмета труда
2	Это установка детали на станке или в приспособлении
3	Получение заданной конфигурации технологических структурных элементов

Вопрос 3	Что такое технологическая операция?
Ответы:	
1	Это часть технологического процесса, выполняемая непрерывно на одном рабочем месте, над одним или несколькими одновременно обрабатываемыми или собираемыми изделиями, одним или несколькими сотрудниками
2	Это часть производственного процесса, выполняемая с перерывами на разных рабочих местах несколькими сотрудниками
3	Это применение техпроцесса к одному изделию на одном предприятии, но разными сотрудниками
Вопрос 4	Что такое Установ?
Ответы:	
1	Это законченная часть операции, выполняемая при одной схеме обработки одной детали за одну или несколько позиций (переходов).
2	Это название станка или производственного оборудования
3	Это название технологической линии с установленными заготовками
Вопрос 5	Какова цель технологической операции?
Ответы:	
1	Получение заданной конфигурации технологических структурных элементов
2	Повышение производительности техпроцесса
3	Получение заданных технологических параметров
Вопрос 6	С какой целью осуществляется модификация поверхностного слоя изделия?
Ответы:	
1	Для получения особых свойств приповерхностного слоя заготовки
2	Для подготовки к сварочным работам
3	Для подготовки к штамповочным работам