

В. П. ЛАРИН, Д. К. ШЕЛЕСТ

## ОПЕРАЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ В ПРОЦЕССЕ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ МОДУЛЕЙ С ВНУТРЕННИМ МОНТАЖОМ

Рассматриваются задачи операционного контроля при изготовлении электронных модулей, содержащих компоненты внутреннего монтажа. Сформулированы базовые теоретические принципы построения системы контроля при изготовлении таких модулей и описана процедура ее синтеза.

**Ключевые слова:** электронный модуль с внутренним монтажом компонентов, эффективность использования, критичные объекты, теоретические принципы построения операционного контроля.

Использование конструкций устройств на основе внутреннего монтажа компонентов, как показано в работах [1, 2], эффективно только в изделиях с высокими требованиями по массогабаритным характеристикам и условиям эксплуатации, например в аэрокосмической отрасли. Однако использование устройств в этой области диктует, в свою очередь, чрезвычайно высокие требования по надежности, которые при изготовлении конструкций электронных модулей с внутренним монтажом (ЭМВМ) должны быть обеспечены соответствующими сборочно-монтажными и контрольно-испытательными технологиями. Анализ современного арсенала методов и средств операционного контроля применительно к ЭМВМ и изложение теоретических принципов проектирования операций контроля в технологическом процессе их изготовления и является целью настоящей статьи.

Трудоемкость изготовления ЭМВМ, необходимость освоения новых технологий для элементов конструкции и новых технологий монтажа, высокие требования к точности выполнения большинства операций непосредственно связаны с задачей достаточно четкого определения технических объектов, в которых использование ЭМВМ наиболее эффективно. Сравнение конструкций ЭМВМ и традиционных модулей поверхностного монтажа показывает, что ЭМВМ имеют такие преимущества, как: более высокий уровень миниатюризации, лучшие характеристики распределения ресурса масс и объемов, возможность обеспечения эффективного теплоотвода от теплонагруженных элементов, высокий уровень виброустойчивости. Данные преимущества позволяют считать наиболее эффективной областью применения ЭМВМ сложные технические объекты, относящиеся к категории критичных по отказам.

Технико-экономическая эффективность критичных объектов за весь период эксплуатации напрямую зависит от их текущей безотказности и показателей долговечности (технического ресурса, срока службы). К критичным объектам обычно относят:

- космические системы (космические аппараты, стартовые и ракетные комплексы);
- летательные аппараты (пилотируемые и беспилотные аппараты различных типов и назначения);
- крупные военные объекты (в том числе, атомные подводные лодки, системы противоракетной обороны и др.);
- энергетические системы (ядерные энергетические установки АЭС и другие системы энергообеспечения);
- предприятия нефтегазовой и химической промышленности (перерабатывающие предприятия, системы магистральных трубопроводов, перекачки нефти и газа).

Для большинства объектов первых трех видов микроминиатюрность ЭМВМ, высокий уровень функциональной и конструктивной интеграции и устойчивость к высоким механическим нагрузкам имеют принципиально важное значение, тогда как для других видов критичных объектов эти свойства не являются существенными.

Итак, области наиболее эффективного использования ЭМВМ ограничиваются бортовыми системами и аппаратами специального применения, такими как автономные подводные объекты, беспилотные аппараты воздушного и морского применения, некоторые наземные боевые средства и т.п. Аппаратура таких объектов характеризуется жесткими и особо жесткими условиями эксплуатации и в основном относится к критичным элементам систем по тяжести последствий отказов.

Для использования ЭМВМ в качестве основного варианта конструктивного исполнения электронной аппаратуры в высоконадежных системах необходима разработка базовых теоретических принципов построения системы контроля при изготовлении таких модулей. Введение контрольных операций лишь на завершающей стадии изготовления ЭМВМ [3] носит, скорее, рекламный характер и не соответствует требованиям высокой степени их безотказности и стабильности качества.

В работе [4] приведена классификация функций и соответствующих им устройств приборной аппаратуры гиперзвуковых летательных аппаратов по категории тяжести последствий отказов. В качестве первого этапа можно использовать оценку затрат на надежность в соотношении с тяжестью последствий (ущербом) от отказов, что позволит решить принципиально задачу целесообразности разработки ЭМВМ для рассматриваемых объектов. Следующим этапом будет определение конструктивно-технологических требований к процессу изготовления ЭМВМ исходя из категории тяжести последствий его отказов.

Процесс обеспечения качества ЭМВМ, соответствующего высоким требованиям по надежности, предъявляемым к аппаратуре аэрокосмических систем, включает в себя множество факторов, среди которых особое значение имеют методы и средства контроля при их производстве. Выбор методов и средств контроля в каждом конкретном случае зависит от требуемой достоверности результатов и характеризуется вероятностью выявления дефектов. На вероятность выявления дефектов влияют чувствительность метода, а также условия проведения контроля. Определение вероятности выявления дефектов является достаточно сложной задачей, которая еще более усложняется, если для повышения достоверности определения дефектов приходится комбинировать методы контроля. Комбинирование методов подразумевает не только использование нескольких методов, но и их чередование в определенной последовательности в технологическом процессе изготовления ЭМВМ. Вместе с тем стоимость применяемых методов контроля должна быть по возможности ниже.

Таким образом, выбор стратегии применения методов контроля основывается на стремлении, с одной стороны, повысить вероятность выявления дефектов и, с другой стороны, снизить различные технико-экономические затраты на проведение контроля. Если исходить из принятой практики обеспечения надежности особо критичных изделий, то, как правило, экономические факторы уходят на второй план, а главными являются требования бездефектности. Задача заключается в разработке и применении на каждом этапе технологического процесса (ТП) изготовления ЭМВМ методик строгого контроля, т.е. формировании набора параметров, подлежащих контролю, выборе последовательности их контроля и средств, соответствующих требуемой достоверности результатов контроля.

В качестве базовой основы формулировки цели и задач контроля примем укрупненные группы операций ТП изготовления ЭМВМ и характеристики параметров объектов, формируемых на этих операциях. Основные элементы процедуры анализа „операции ТП — объекты контроля“ представлены в таблице.

Используя принятый для задач технологического проектирования системный подход, будем рассматривать в качестве объекта проектирования технологическую систему контроля (СК), включающую в себя совокупность операций контроля, средства контроля, ресурсы и информационно-методическое обеспечение.

Операции анализа в ТП изготовления ЭМВМ	Характеристика параметров объектов контроля
Поступление исходных компонентов монтажа	Геометрические параметры материала основания. Установочные поверхности кристалла
Сборка кристалла в окне пластины	Площадь нанесения адгезива (или герметика) в окне монтажного основания. Местоположение кристалла по координатам и углу поворота после посадки. Качество поверхности кристалла после посадки
Вскрытие защитного слоя для формирования контактных площадок	Размеры окон для формирования контактных площадок. Совмещение окон с площадью активной стороны кристалла
Образование контактных площадок на кристалле	Толщина металлического слоя контактных площадок. Равномерность металлического слоя. Прочностная характеристика сцепления слоя

Задачу синтеза системы контроля для технологического процесса изготовления ЭМВМ сформулируем следующим образом: *в соответствии с целью контроля и имеющейся совокупностью контролируемых признаков определить минимально необходимое количество параметров, характеризующих свойства объекта с заданной достоверностью, поставить им в соответствие средства контроля и разработать оптимальный процесс контроля.*

Схема процедуры синтеза системы контроля для технологического процесса изготовления ЭМВМ приведена на рис. 1. Процедура синтеза состоит из последовательного решения задач контроля на каждом этапе процесса и заключается в принятии решения о нецелесообразности проведения контроля или о проектировании операции контроля.



Рис. 1

Схема технологического проектирования операции контроля приведена на рис. 2. Окончательное формирование процесса контроля, реализуемого системой контроля, выполняется по схеме, представленной на рис. 3.

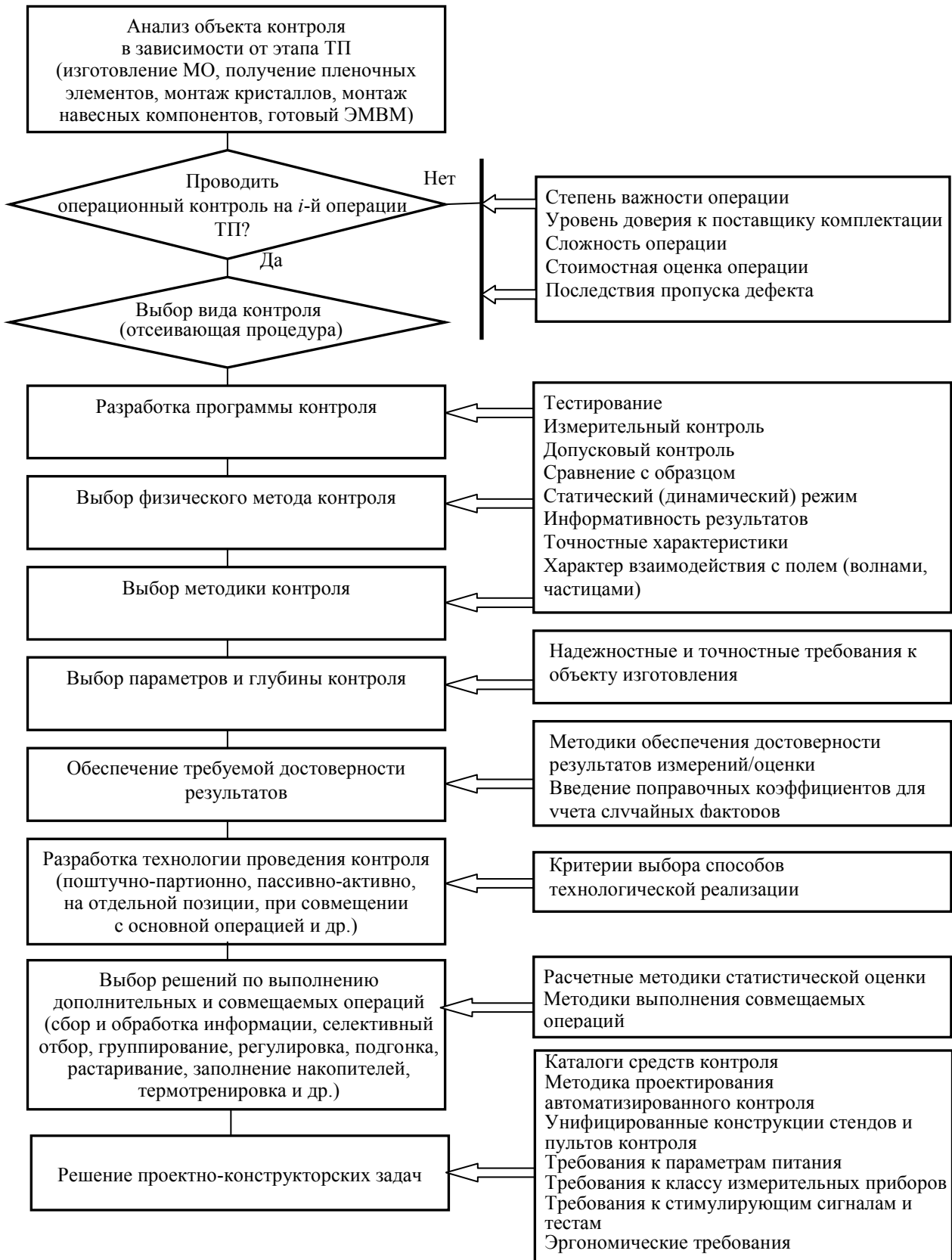


Рис. 2



Рис. 3

В процессе синтеза формируется структура системы контроля с использованием функционально-модульного принципа построения. Данный принцип заключается в том, что процесс проектирования подчиняется последовательно проводимой процедуре, состоящей из правил, выполняемых для каждой операции контроля, вводимой в ТП изготовления объекта производства [5]. Последовательность процедурных правил выглядит следующим образом:

- анализируется  $i$ -я операция (группа операций) ТП изготовления изделия и в соответствии с целью  $E$  (обеспечение заданного уровня качества) принимается решение о предпочтительности проведения контроля в данной точке ТП;
- формируются функции контроля  $G_j$  для рассматриваемой  $j$ -й операции контроля; эти функции формируются на основе анализа интенсивности, вида и источника появления дефектов и понимаются как функциональные задачи на проектирование данной операции контроля;
- определяются связи функций контроля и целей для назначения глубины, точности и программы контроля;
- формируется полный перечень параметров, контроль которых может соответствовать функциональным задачам проектируемой операции;
- проводится усечение множества сформированных параметров с выделением характеристических параметров для определения значимых функций  $H_j$  данной операции контроля;
- производится формирование модуля  $C_j$ , заключающееся в назначении функциям контроля соответствующих средств и обеспечения (ресурсного, методического, информационно-программного);
- сформированный модуль контроля включается в качестве претендента в матрицу  $C$  элементов системы контроля.

Последующая процедура заключается в структурно-параметрической оптимизации полученного множества элементов структуры СК (модулей-претендентов) и построении процесса контроля на основе схем, приведенных на рис. 2 и 3.

При проектировании системы контроля для ТП изготовления ЭМВМ типовой функциональной задачей анализа при формировании  $j$ -го модуля является выбор метода контроля для

обнаружения вероятного дефекта. Дефекты при изготовлении ЭМВМ могут быть поверхностными, подповерхностными или залегать в глубине структуры; различаются их виды и другие особенности. В таких условиях выбор метода и соответствующего средства контроля имеет два граничных последствия:

1) выбор минимального числа средств не позволит выявить все дефекты;

2) выбор количества средств, необходимых для выявления всех дефектов, приведет к большому числу проблем (увеличению времени контроля, стоимости оборудования и обслуживания, производственной площади, количества специалистов, необходимых ресурсов и др.).

Например, оптический и растровый электронный микроскопы обладают высокой разрешающей способностью, но мало пригодны для исследования внутренних областей непрозрачных материалов. Для анализа внутренней структуры изделий электроники применяются рентгенотелевизионные микроскопы, однако при их использовании возникают сложности, связанные с расшифровкой получаемых изображений, а также с изучением слабоконтрастных объектов. Таким образом, решение каждой из задач синтеза системы контроля связано с выбором оптимального решения, обеспечивающего в конечном итоге требуемое качество ЭМВМ.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ларин В. П., Шелест Д. К., Васильев С. А., Герцев П. В., Репина А. В. Конструктивно-технологические варианты проектирования электронных модулей на основе внутреннего монтажа // Изв. ГУАП. Аэрокосмическое приборостроение: науч. журн. 2011. С. 112—116.
2. Ларин В. П., Веряскин И. А., Герцев П. В. Выбор конструктивного решения для электронных модулей гиперзвукового летательного аппарата // Завалишинские чтения: Сб. докл. СПб: СПбГУАП, 2010. С. 139—141.
3. Назаров Е. Внутренний монтаж функциональных радиоэлектронных блоков // Электроника: Наука, технология, бизнес. 2008. Вып. 3. С. 36—39.
4. Ларин В. П. Проблемы обеспечения надежности аппаратуры гиперзвуковых летательных аппаратов // Науч. сессия ГУАП: Сб. докл. Ч. I. Технические науки. СПб: СПбГУАП, 2010. С. 28—30.
5. Ларин В. П. Проектирование технологии контроля при производстве устройств с внутренним монтажом // Завалишинские чтения: Сб. докл. СПб: СПбГУАП, 2011. С. 171—177.

#### *Сведения об авторах*

**Валерий Павлович Ларин**

— д-р техн. наук, профессор; Санкт-Петербургский университет аэрокосмического приборостроения, кафедра микро- и нанотехнологий аэрокосмического приборостроения;  
E-mail: larinvp39@yandex.ru

**Дмитрий Константинович Шелест**

— д-р техн. наук, профессор; Санкт-Петербургский университет аэрокосмического приборостроения, кафедра микро- и нанотехнологий аэрокосмического приборостроения;  
E-mail: shelestd@gmail.ru

Рекомендована кафедрой  
микро- и нанотехнологий  
аэрокосмического приборостроения

Поступила в редакцию  
30.03.12 г.