

СТРУКТУРНАЯ МОДЕЛЬ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ КОСМИЧЕСКОЙ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

© 2008 С. В. Тюлевин, М. Н. Пиганов

Самарский государственный аэрокосмический университет

Дается анализ структурной модели индивидуального прогнозирования параметров надёжности космической радиоэлектронной аппаратуры.

Прогнозирование, надёжность, качество, структурная модель, космические радиоэлектронные средства, информативные параметры, обучающий эксперимент

Эффективность функционирования радиоэлектронной аппаратуры ракетно-космической техники зависит от многих факторов, в том числе от качества работы бортовой радиоэлектронной аппаратуры (РЭА). Одним из основных показателей качества РЭА является надёжность, которая уменьшается по мере увеличения сложности аппаратуры. При разработке, изготовлении и эксплуатации космической аппаратуры принимаются разнообразные меры, направленные на обеспечение её безотказности. Однако полностью устранить возможность появления отказов не удаётся. Поэтому задача поддержания работоспособного состояния аппаратуры и изделия в целом заключается, прежде всего, в своевременном прогнозировании отказов и устранении причин их появления [1].

Прогнозирование отказов и изменение свойств аппаратуры и изделия может быть проведено на различных этапах её жизненного цикла (контроль, испытания, применение, эксплуатация). Наибольшую точность обеспечивает индивидуальное прогнозирование (ИП). Его смысл заключается в том, что по величине информативного параметра или по результатам наблюдения за каждым конкретным экземпляром с использованием оператора прогнозирования делается вывод о потенциальной надёжности этого экземпляра, т. е. о возможности его использования по назначению в течение заданного срока службы [2]. Для построения оператора (математической модели), алгоритма, методики ИП и управления качеством аппаратуры требуется структурная модель. Такая модель строится в графической форме в виде укрупнённой

технологической схемы с описанием функций, выполняемых составными частями [3].

Предложенные в [4, 5] структурные модели для ИП микросборок в ряде случаев не обеспечивают создания точных операторов и эффективных методик прогнозирования. Особенно это касается специализированной космической аппаратуры.

Проведенный анализ показал, что причиной этого могут быть низкая адекватность исследовательских испытаний реальным условиям эксплуатации, некорректность выбора информативных параметров, отсутствие оценки качества программного продукта и аттестации методики ИП, низкая точность оператора прогнозирования при изменении конструктивно-технологического варианта (КТВ) аппаратуры.

Для повышения точности и достоверности ИП предлагается новая структурная модель прогнозирования (рис. 1), которая включает в себя следующие взаимосвязанные этапы:

1. **Анализ методов ИП.** Из множества методов выбираются несколько наиболее полно отвечающих поставленной задаче ИП.

2. **Предварительный выбор информативных параметров и выбор параметров прогнозирования.** Выбираются измеряемые параметры структуры микросборок, устройств, несущих необходимую информацию о качестве, из которых впоследствии будут отбираться наиболее значимые, дающие минимальную ошибку прогнозирования.

3. **Разработка методики исследовательских испытаний.** Определяется объём

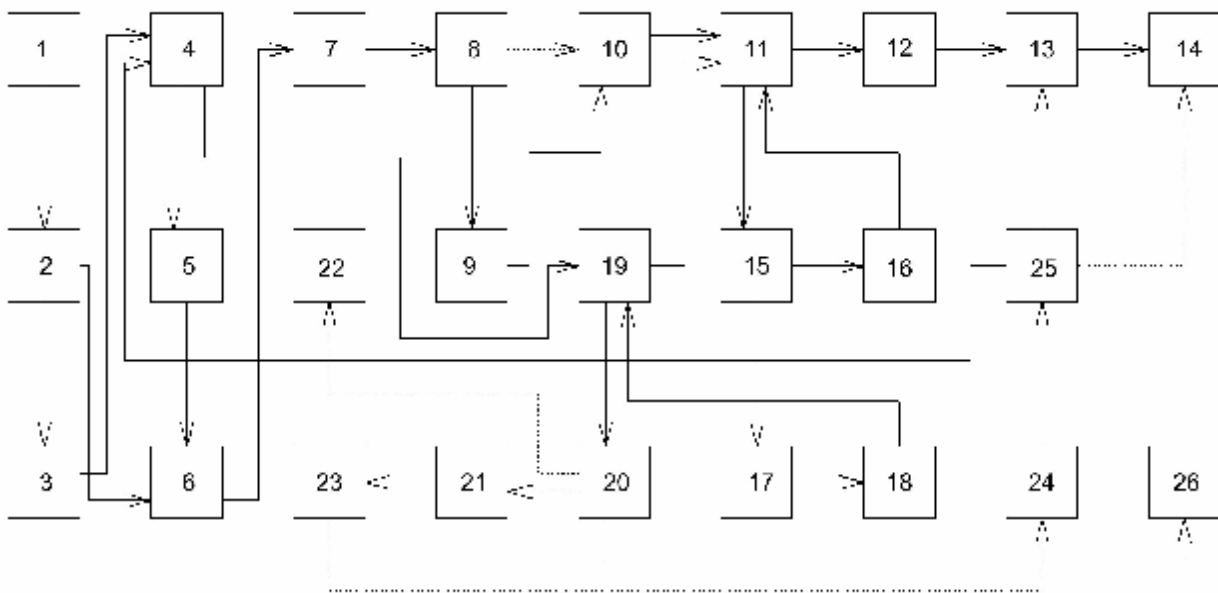


Рис. 1. Структурная модель индивидуального прогнозирования показателей качества космической РЭА

выборки, составляется программа испытаний, выбираются необходимое оборудование, средства измерения и контроля, проводится метрологическое обоснование.

4. Обучающий эксперимент. Проводятся испытания в заданном режиме определённого количества (выборки) исследуемых изделий в течение требуемого времени, обычно равного времени последующего прогнозирования, и определение фактического состояния (годен, не годен) каждого экземпляра выборки к моменту окончания испытаний. Оценивается адекватность выборки по количеству годных и негодных изделий. Затем проводится физико-технический анализ отказов.

5. Выбор информативных параметров. Проводится окончательный выбор информативных параметров по величине коэффициента корреляции с прогнозируемым параметром.

6. Выбор метода ИП. Окончательно выбирается один метод прогнозирования, наиболее точно отражающий поведение исследуемых параметров и имеющий минимальную ошибку прогнозирования.

7. Разработка алгоритма. Проводится перевод всей расчётно-математической части выбранного метода ИП на язык блок-схем алгоритмов, где определяется последовательность выполнения отдельных пунктов расчётов, а также условия их выполнения.

8. Разработка программы. Производится выбор языка программирования высокого уровня, позволяющего производить сложные математические расчёты, разрабатываются программы ИП или выбирается специализированный пакет прикладных программ для математических расчетов. Далее проводится формальное описание алгоритма выбранного метода ИП, сервисных процедур и интерфейса с пользователем в соответствии с требованиями выбранной программной среды.

9. Оценка качества программного продукта. Проводится статистический анализ, тестирование, оценка надёжности (статистические испытания, оценка надёжности функционирования по результатам испытаний), экспертиза, оценка научно-технического уровня, анализ конфигурации программ.

10. Разработка оператора ИП. По параметрам обучающей выборки разрабатывается модель или оператор ИП, имеющий минимальную ошибку расхождения с экспериментальными данными и приемлемые показатели эффективности.

11. Оценка качества оператора ИП. Определяются выбранные показатели качества прогнозирования.

12. Разработка рабочей методики. Определяется набор измеряемых параметров рабочих выборок, последовательность действий при проведении измерений выбранных параметров и в процессе ИП, пороговых зна-

чений оператора и критериев качества прогнозирования.

13. Аттестация методики. Проводится оценка степени соответствия полученных показателей оптимальным нормам, установленным на стадии её разработки из условия обеспечения минимальных значений вероятности ошибочных решений, рисков изготовителя и потребителя, максимальных показателей экономической эффективности. Методике присваивается категория качества (первая, вторая или третья).

14. Рабочее прогнозирование. Определяются потенциально ненадёжные изделия с данным КТВ, не участвовавшие в обучающем эксперименте, по измеренным значениям информативных параметров и выбранному оператору прогнозирования.

15. Оптимизация оператора. Если качество прогнозирования не удовлетворяет определённым критериям, то проводится оптимизация оператора или модели ИП, например, методом крутого восхождения с использованием методов планирования эксперимента.

16. Уточнение оператора ИП. Проводится корректировка оператора индивидуального прогнозирования по результатам проведённого эксперимента.

17. Уточняющий обучающий эксперимент. Если полученные показатели качества оператора ИП не удовлетворяют требуемым, то проводится дополнительный уточняющий эксперимент.

18. Разработка или выбор новых информативных параметров. В случае, если с помощью оптимизации не удалось добиться заданного качества прогнозирования, то производится выбор новых информативных параметров для ИП.

19. Определение уровней. Этап, позволяющий определить пороговые значения классифицирующей или разделяющей функции оператора ИП, которые обеспечили бы максимально возможное качество прогнозирования.

20. Разработка рекомендаций. Разрабатываются рекомендации по изменению технологического маршрута, операционных технологий, конструкции РЭА и отдельных электрорадиоизделий или введению электрофизи-

ческой диагностики на определённых операциях изготовления.

21. Технологический процесс (ТП) изготовления РЭА. Проводится анализ рекомендаций с разработчиком технологического процесса производства РЭА.

22. Контроль параметров РЭА. Проводится анализ рекомендаций по введению электрофизической диагностики с разработчиком контрольных операций.

23. Изменение КТВ. Вносятся изменения в конструкцию аппаратуры или технологию её изготовления, направленные на устранение несоответствий и значимых дефектов, выявленных в процессе контроля параметров РЭА. При этом учитываются данные физико-технического анализа, полученные по результатам обучающего эксперимента и эксплуатации аппаратуры.

24. Уточнение методики. Проводятся уточнение и корректировка рабочей методики ИП с учетом модернизации КТВ.

25. Проверка уточнённой методики. Проводится проверка уточнённой методики ИП на соответствие заданным требованиям.

26. Эвристическое прогнозирование или отбраковка. Проводится выбор критерия (уровня) отбраковки потенциально ненадёжных изделий и на основе данного критерия проводится отбраковка или классификация.

Особенностью данной модели является возможность учёта “технологической наследственности” при выборе и оценке показателей качества, информативных параметров и свойств аппаратуры и изделия, наличие обратных информационных связей, использование корректирующих звеньев, адекватность этапа обучающего эксперимента, возможность согласованной модернизации конструктивно-технологических вариантов аппаратуры, проектирования контролепригодных конструкций и стабильных, хорошо управляемых технологических процессов.

Таким образом, можно сделать следующие выводы.

1. Предложена структурная модель индивидуального прогнозирования параметров космической радиоэлектронной аппаратуры, которая повышает адекватность исследова-

тельских испытаний, учитывает “технологическую наследственность” при выборе и оценке показателей качества, информативных параметров и свойств аппаратуры.

2. Использование данной структурной модели позволяет повысить точность и достоверность операторов прогнозирования при изменении конструктивно-технологического варианта аппаратуры.

Библиографический список

1. Кейджян Г. А. Прогнозирование надежности микроэлектронной аппаратуры на основе БИС. – М.: Радио и связь, 1987.
2. Пиганов М. Н. Индивидуальное про-

гнозирование показателей качества элементов и компонентов микросборок. – М.: Новые технологии, 2002.

3. Рабочая книга по прогнозированию / Редкол.: И. В. Бестужев-Лада (отв. ред.). – М.: Мысль, 1982.

4. Пиганов М. Н. Индивидуальное прогнозирование показателей качества элементов микросборок. – Самара: СГАУ, 1999.

5. Карпов О. В., Пиганов М. Н. Структурная модель управления качеством микросборок на этапе индивидуального прогнозирования // Вестник СГАУ. Серия “Актуальные проблемы радиоэлектроники”. – Самара: СГАУ, 2004. Вып. 9. - С. 101 – 105.

Информация об авторах

Тюлевин Сергей Викторович, первый заместитель генерального директора, главный инженер ФГУП «ГНП РКЦ «ЦСКБ-Прогресс». Область научных интересов: надёжность космических радиоэлектронных средств, отказы, прогнозирование показателей качества.

Пиганов Михаил Николаевич, заведующий кафедрой конструирования и производства радиоэлектронных средств СГАУ. Область научных интересов: элементы космической аппаратуры, индивидуальное прогнозирование надёжности радиоэлектронных средств.