

УДК 639.07.05

Доценко Б.И., Шепелев Ю.И.

Государственное предприятие "Государственное Киевское конструкторское бюро "Луч". Украина, Киев

АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЕТА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДОСТОВЕРНОСТИ КОНТРОЛЯ ИЗДЕЛИЙ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

Анотація

Розглянуто принципи автоматизованого розрахунку показників достовірності контролю, визначені склад і вимоги до баз даних на основі характеристик контролепридатності та точносних характеристик функціональних модулів засобів контролю.

Abstract

Principles of the automated calculation of parameters of reliability of monitoring surveyed, determined a structure and requirements to databases on the basis of performances test-availability and accurately performances of functional modules of a testing equipment.

Расчет достоверности контроля объекта является важным этапом при разработке аппаратуры контроля. При определении достоверности параметрического контроля известным считается допуск на контролируемый параметр, значение измеряемой физической величины, соответствующее данному контролируемому параметру. Сравнением измеренного значения физической величины с ее допустимыми значениями (допусками на контролируемый параметр) принимают решения о годности объекта по данному параметру.

Достоверность результатов контроля является обобщенной характеристикой системы контроля и служит мерой объективности принимаемых решений при оценке технического состояния объекта.

Достоверность контроля выражается количественными показателями, состав которых зависит от целей контроля и характера решаемых задач.

Обеспечение необходимого уровня достоверности контроля при заданных допусках на параметр достигается точностными характеристиками функциональных модулей средства контроля и выбором соответствующих алгоритмов контроля.

Для обеспечения точности разрабатываемых средств контроля и снижения потерь на ошибочные решения при оценке технического состояния изделий достоверность контроля необходимо определять на всех этапах жизненного цикла изделий. Процесс принятия решений при контроле выразим в виде стохастического графа [1].

На рис. 1 обозначены: P – априорная вероятность работоспособного состояния летательного

аппарата (ЛА); γ – вероятность того, что работоспособный ЛА по результатам контроля принимается годным; δ – вероятность того, что неработоспособный ЛА принимается негодным; B – вероятность того, что неработоспособный ЛА принимается годным; A – вероятность того, работоспособный ЛА принимается негодным.

Вероятности ошибочных решений при контроле называют риском изготовителя A и риском заказчика B , которые обусловлены ограниченной точностью средств контроля и методиками проверки изделий. Риски изготовителя и заказчика включают методическую и инструментальную составляющие.

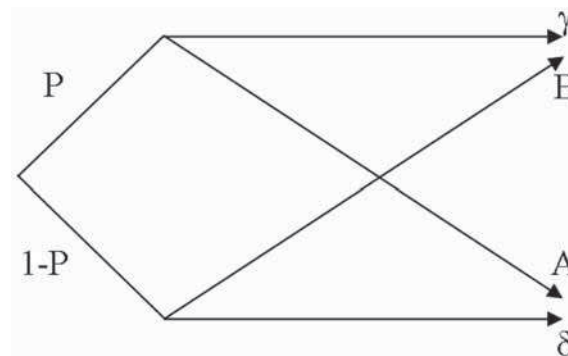


Рис. 1. Стохастический граф принятия решения при контроле

Объективность результатов контроля характеризуют достоверностью результата "годен" D_g , достоверностью результата "негоден" D_n и абсолютной достоверностью контроля D_a . Достоверность результата "годен" определяет долю действительно работоспособных изделий в партии изделий, принятых годными по результатам контроля

$$D_g = \frac{\gamma}{\gamma + B}$$

Из графа принятия решений

$$\gamma = P - A.$$

Тогда

$$D_g = \frac{P - A}{P - A + B}.$$

Достоверность результата "негоден" определяет долю действительно неработоспособных изделий в партии изделий, принятых негодными по результатам контроля, т.е.

$$D_n = \frac{\delta}{\delta + A}.$$

На основании графа принятия решений можно записать

$$\delta = 1 - P - B.$$

В результате получим

$$D_n = \frac{1 - P - B}{1 - P - B + A}.$$

Абсолютная достоверность контроля — т.е. вероятность принятия правильного решения при контроле

$$D_a = 1 - A - B.$$

Достоверность результатов контроля является обобщенной характеристикой информационных свойств системы контроля и по своей сущности является мерой объективности принимаемых решений и выражается количественными показателями, состав и физическая сущность которых зависит от целей контроля и характера решаемых задач. Алгоритм определения инструментальной достоверности контроля является основой для составления программы и проведения расчетов достоверности контроля объекта. Алгоритм должен объединять в единое целое различные характеристики системы контроля, а именно:

- стратегию контроля;
- характеристики контролируемого изделия;
- характеристики каналов контроля;
- программу контроля изделия.

Из указанных четырех компонентов только последний в явном виде присутствует в системе контроля. Характеристики контролируемого ЛА, т.е. законы распределения контролируемых сигналов, определяются путем статистической обработки информации, накапливающейся в процессе технического обслуживания ЛА. Характеристики каналов контроля формируются разработчиком при проектировании средства контроля.

Характеристиками достоверности контроля являются риски изготовителя и заказчика.

Если P_i — априорная вероятность работоспособного состояния объекта по i -му контролируемому параметру; α_i , β_i — риски изготовителя и заказчика по i -му контролируемому параметру; M — общее число определяющих параметров изделия; N — число контролируемых параметров изделия, то риски изготовителя и заказчика по изделию в целом:

$$A = \prod_{i=1}^M P_i - \prod_{i=1}^N P_i \prod_{i=N+1}^M (P_i - \alpha_i),$$

$$B = \prod_{i=N+1}^M (P_i - \alpha_i + \beta_i) - \prod_{i=1}^N P_i \prod_{i=N+1}^M (P_i - \alpha_i).$$

При этом риски изготовителя и заказчика по i -му контролируемому параметру равны:

$$\begin{aligned} \alpha_i &= \int_{V_{ni}}^{V_{ei}} f_i(V) \int_{-\infty}^{V_{ei}} \varphi_i(\xi - V) d\xi dV + \\ &+ \int_{V_{ni}}^{V_{ei}} f_i(V) \int_{V_{ei}}^{\infty} \varphi_i(\xi - V) d\xi dV; \\ \beta_i &= \int_{-\infty}^{V_{ni}} f_i(V) \int_{V_{ei}}^{V_{ei}} \varphi_i(\xi - V) d\xi dV + \\ &+ \int_{V_{ei}}^{\infty} f_i(V) \int_{V_{ni}}^{V_{ei}} \varphi_i(\xi - V) d\xi dV. \end{aligned}$$

где: $f_i(V)$ — плотность распределения i -го контролируемого параметра; $\varphi_i(\xi)$ — плотность распределения погрешности канала контроля i -го контролируемого параметра; V_{ni} , V_{ei} — соответственно, нижнее и верхнее предельные допустимые значения i -го контролируемого параметра.

Формулы для расчета рисков изготовителя и заказчика с учетом дискретности аналого-цифрового преобразования и сбоя аппаратуры контроля приведены в работе [3].

Достоверность контроля занимает важное место среди многочисленных факторов, существенно влияющих на обеспечение высокой боеготовности образцов военной техники и адекватные эксплуатационные расходы на ее обслуживание.

Достоверность контроля во многом определяется достигнутым уровнем проектирования средств контроля (СК) и используемыми стратегиями контроля. Любые изменения в существующих на практике системах контроля и тем более разработка новых СК для увеличения полноты контроля, точности, внедрения новых методов контроля и т.д. требует определенных капитальных вложений.

Синтез структуры АСК заключается в выборе функциональных модулей со своими точностными характеристиками при заданном объеме контролируемых параметров с их количественными характеристиками исходя из требований к достоверности контроля. При этом задаются абсолютной достоверностью контроля, выбирают первоначальный набор функциональных модулей, определяют достоверность контроля этим набором, сравнивают рассчитанное значение достоверности контроля с заданным, устанавливают объем функциональных модулей средства контроля, далее последовательно повторяют операции по оптимальному набору функциональных модулей, определению набора функциональных модулей,

обеспечивающего заданную абсолютную достоверность контроля при минимальной стоимости автоматизированного средства контроля (АСК). Как видим процесс разработки средства контроля носит итеративный характер, достаточно трудоемок и требует больших временных затрат. Поэтому разработка комплекса ПС для автоматизированного расчета достоверности контроля является актуальной задачей.

Интерес к созданию специальных программных средств (ПС) автоматизированного расчета достоверности обусловлен тем, что в настоящее время средства контроля разрабатываются параллельно с объектом контроля или со значительным отставанием, например, на стадии изготовления. При таком подходе программы расчета достоверности жестко ориентированы на решение конкретных задач и имеют ограниченное применение.

При разработке комплекса ПС необходимо решить следующие задачи:

- сформировать требования к ПС для расчета показателей достоверности контроля, обосновать методы их реализации;
- разработать структуру прикладной программы автоматизированного расчета показателей достоверности контроля, регистрации и вывода результатов расчетов;
- обосновать и выбрать алгоритмы расчета показателей достоверности для различных типов контролируемых параметров;
- решить задачу визуализации сформированных каналов контроля и стимуляции.

Информационная модель создания комплекса ПС автоматизированного расчета показателей достоверности контроля приведена на рис. 2.

Информационная модель создания комплекса программных средств включает следующие этапы:

1. Исследование модели неавтоматизированного расчета показателей достоверности контроля.
2. Математическую и алгоритмическую формализацию процесса расчета показателей достоверности контроля.
3. Определение требований к аппаратным средствам комплекса.

Модель неавтоматизированного процесса расчета показателей достоверности представляет собой совокупность формализованных процедур расчета, регламентируемых действующими нормативно-техническими документами.

Для автоматизации процесса расчета и вывода требуемой информации разработан сценарий (интерфейс) взаимодействия пользователя и программных средств.

Анализ форм представления файлов данных показал, что для ввода такой информации целесообразно использовать диалоговый режим.

Модель функционирования комплекса ПС автоматизированного расчета показателей достоверности контроля приведена на рис. 3. Согласно модели на основании предложенных характеристик контролепригодности (ХК) на объект контроля формируются файлы данных о контролируемых параметрах, контролируемых и стимулирующих сигналах. Отдельно формируется файл данных технических характеристик функциональных модулей аппаратуры контроля. Каждый из перечисленных файлов создается в установленной форме, при этом в файлах данных о стимулирующих и контролируемых сигналах из набора функциональных модулей формируются каналы стимуляции и контроля.

Перечисленные файлы данных подключаются к прикладной программе (ПП) автоматизированного расчета показателей достоверности контроля. В ПП осуществляется ввод i -го контролируемого параметра и набора контролируемых сигналов, определяющих i -й контролируемый параметр. Также осуществляется ввод стимулирующих сигналов, участвующих при формировании j -го контролируемого сигнала i -го контролируемого параметра со своими коэффициентами влияния. Программа осуществляет



Рис. 2. Информационная модель создания комплекса программных средств

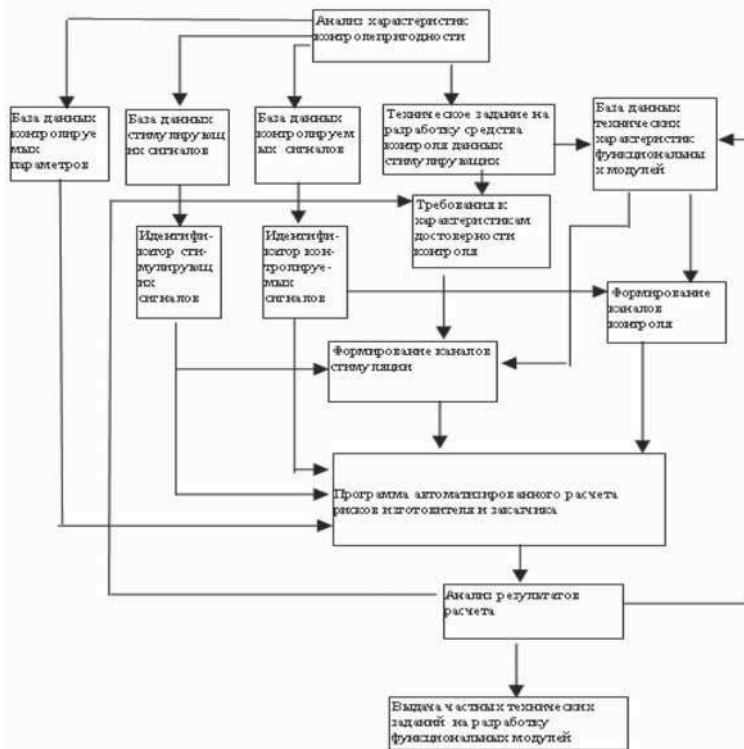


Рис. 3. Модель функционирования комплекса

анализ типов контролируемых и стимулирующих сигналов, формирование каналов контроля и стимуляции, при необходимости визуализацию этой информации, расчет среднеквадратического отклонения (СКО) погрешности аналоговой части и вероятности сбоев цифровой части канала, расчет показателей достоверности контроля в зависимости от типа контролируемого сигнала и погрешности, вносимой каналами стимуляции и, наконец, расчет показателей достоверности контроля для *i*-го контролируемого параметра. По результатам расчетов всего объема контролируемых параметров проводится анализ полученных значений и путем нескольких итераций добиваются такого набора функциональных модулей, который обеспечивает выполнение требований технического задания (ТЗ) в части достоверности контроля.

По форме представления контролируемые сигналы можно разделить на: аналоговые, цифровые коды без самоконтроля, цифровые коды с контролем на четность, цифровые коды с контролем сигнатурным анализом, цифровые коды аналоговых сигналов.

в алгоритме проверке конкретного контролируемого параметра.

Далее составляются исходные данные о контролируемых сигналах (КС).

Таблица 2

Исходные данные о контролируемых сигналах

Номер КС	Тип КС	Нижнее предельное значение	Верхнее предельное значение	Номинальное значение	Дисперсия	Априорная вероятность	Длина кода	Число контрольных разрядов	Список функциональных модулей каналов контроля			
									1	2	.....	J
КС	1-5	U_n	U_v	U_o	σ	P_a	G	K	ФМ ₁	ФМ ₂	ФМ...	ФМ _J

Таблицы исходных данных о контролируемых сигналах составляются на основе ХК, включают номер контролируемого сигнала и его тип. Для аналогового сигнала задают номинальное значение U_o и его нижнее U_n и верхнее U_v предельные значения, дисперсию или среднее квадратическое отклонение σ . Для цифровых сигналов задается длина кодовой комбинации G и количество контролируемых разрядов K , а также вероятность сбоя одного разряда. Для всех сигналов задаются априорные вероятности исправности P_a , а также набор функциональных модулей каналов контроля. Это позволяет в дальнейшем рассчитать

Функциональные модули, составляющие средства контроля, могут быть аналоговые, цифровые, аналогово-цифровые, цифро-аналоговые.

Для проведения автоматизированного расчета достоверности контроля исходные данные должны быть представлены в заранее установленных формах, соответствующих таблицам 1–5:

Таблица 1

Исходные данные о контролируемых параметрах

Номер контролируемого параметра	Список контролируемых сигналов, определяющих данный контролируемый параметр			
	1	2	.....	N
П001	КС1	КС2	КС.....	КС n

Исходные данные о контролируемых параметрах составляются на основании характеристик контролепригодности и включают формальный перечень контролируемых сигналов, участвующих



СКО погрешности аналоговой и/или вероятности сбоя цифровой части канала контроля.

Далее формируются данные о связи контролируемых и стимулирующих сигналов, приведенные в табл. 3.

Таблица 3

Исходные данные о контролируемых и стимулирующих сигналах

Номер КС	Тип КС	Список стимулирующих сигналов, участвующих при контроле данного контролируемого сигнала и коэффициенты влияния							
		1		2		.....		K	
КС...	1-5	μ_1	CC_1	μ_2	CC_2	.....	.....	μ_k	CC_k

При этом для каждого стимулирующего сигнала приводятся коэффициенты $\mu_1 - \mu_k$, показывающие степень влияния СКО погрешности канала стимуляции на погрешность измерительной цепи.

В табл. 4 приведены исходные данные о стимулирующих сигналах (СС), которые также формируются на основе характеристик контролепригодности.

Таблица 5
Исходные данные о функциональных модулях аппаратуры контроля

Шифр ФМ	Тип ФМ	Наработка на отказ	Относительная погрешность	Абсолютная погрешность	Дискретность преобразования	Разрядность преобразователя	Крутизна
ФМ	1-4	T_0	δ	v	Δ	G	S

аналоговый. Шифры необходимы для визуализации вычерчиваемых каналов контроля и стимуляции. Кроме того, здесь же приводятся надежные характеристики модуля — необходимые для расчета вероятности сбоев цифровой части канала контроля и стимуляции, а также относительная δ и абсолютная составляющие v погрешности, необходимые для расчета СКО погрешности аналоговой части канала контроля.

В табл. 5 также указываются дискретности и разрядности аналого-цифровых и цифро-аналоговых преобразователей.

Алгоритм автоматизированного расчета показателей достоверности контроля реализуется в следующей последовательности:

1. Предварительно, на основании предложенных характеристик контролепригодности состав-

ляются следующие таблицы:

- таблица 1, исходные данные о контролируемых параметрах;

- таблица 2, исходные данные о контролируемых сигналах;

- таблица 3, исходные данные о связи контролируемых и стимулирующих сигналов;

- таблица 4, исходные данные о стимулирующих сигналах;

- таблица 5, исходные данные о функциональных модулях.

2. Создаются файлы исходных данных в текстовом редакторе, с условными названиями для контролируемых параметров, контролируемых и стимулирующих сигналов, функциональных модулей.

3. Файлы исходных данных подключаются к прикладной программе автоматизированного расчета, куда предварительно вводят априорную вероятность исправного состояния объекта контроля, общее число контрольных операций, число контролируемых параметров, число контролируемых сигналов, число функциональных модулей.

Разработанные ПС автоматизированного расчета показателей достоверности контроля обеспечивают следующие возможности:

- наличие удобного проблемно-ориентированного интерфейса для ускорения описаний

Таблица 4
Исходные данные о стимулирующих сигналах

Номер СС	Тип СС	Нижнее предельное отклонение	Верхнее предельное отклонение	Номинальное значение	Дисперсия	Априорная вероятность	Длина кода	Число управляющих разрядов	Список функциональных модулей каналов стимуляции			
									1	2	.....	R
СС	1-2	U_n	U_v	U_0	σ	P_a	G	K	ФМ ₁	ФМ ₂	ФМ...	ФМ _r

В исходные данные о стимулирующих сигналах включают номер стимулирующего сигнала и его тип. Для аналогового сигнала задают номинальное значение U_0 и его нижнее U_n и верхнее U_v предельные значения, среднее квадратическое отклонение σ погрешности. Для цифровых сигналов задаются длина кодовой комбинации G , количество информационных разрядов K и вероятность сбоя одного разряда кода. Для всех сигналов задаются априорные вероятности исправности P_a , а из набора функциональных модулей аппаратной части формируются каналы контроля. Это позволяет в дальнейшем рассчитать погрешности аналоговой и/или цифровой части канала стимуляции.

В табл. 5 приведены данные о функциональных модулях (ФМ) аппаратуры контроля.

В данные о функциональных модулях входят шифр и тип функционального модуля аналогового, цифровой, аналогово-цифровой, цифро-

входной и выходной информации при расчете достоверности;

- возможность сортировки функциональных модулей с учетом их информационных, функциональных и метрологических характеристик позволяет оптимально формировать каналы контроля и стимуляции;

- использование прикладной программы автоматизированного расчета показателей достоверности контроля существенно сокращает затраты времени и повышает достоверность полученных результатов.

Таким образом, предлагаемая система автоматизированного расчета показателей достоверности контроля позволяет объединить в одно целое как характеристики контролепригодности объекта контроля, так и характеристики функциональных модулей средства контроля, существенно снизить

трудозатраты и сократить временные потери, снизить требования к квалификации исполнителей, повысить объективность получаемых результатов.

Литература

1. *Р.Н. Белокоп, В.М. Скрипник.* Основы теории контроля. — МВИЗРУ, 1987. — 151 с.
2. ОСТ 100433-81 Средства контроля технического состояния изделий авиационной техники. Методика определения характеристик инструментальной достоверности контроля — М., Изд-во стандартов.
3. *Шепелев Ю.И.* Контроль беспилотных летательных аппаратов по показателю качества. /Авиационное и стрелковое вооружение, 2007. — № 1. — С. 24–28.