

УДК 629. 76.08

Ю.И. ШЕПЕЛЕВ, канд. техн. наук
(«Государственное Киевское конструкторское бюро «Луч»)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДОСТОВЕРНОСТИ ПРИ КОНТРОЛЕ АРТИЛЛЕРИЙСКОГО УПРАВЛЯЕМОГО СНАРЯДА ПО ПОКАЗАТЕЛЮ КАЧЕСТВА

Проведен сравнительный анализ контроля артиллерийского управляемого снаряда методом допускового параметрического контроля и по показателю качества, приведены численные значения и сделан вывод о преимуществе контроля по показателю качества.

Проведено порівняльний аналіз контролю артилерійського керованого снаряда методом допускового параметричного контролю й по показнику якості, приведено кількісні значення та зроблено висновок про переваги контролю по показнику якості.

Повышение эффективности работы артиллерийских ракетных комплексов и расширение функциональных возможностей артиллерийских управляемых снарядов (в дальнейшем АУС) неизменно связано с их непрерывным усложнением. Этот процесс требует развития новых методов контроля и на их основе создания перспективных средств контроля. Вместо метода параметрического допускового контроля все чаще применяют метод контроля по показателю качества. Однако методологическая поддержка его часто отстает от возможностей средств контроля. Поэтому в статье делается попытка несколько восполнить имеющиеся теоретические пробелы.

Одна из задач контроля — получение количественной оценки вектора показателя качества. Количественное значение показателя качества, в общем случае многомерного, для исследуемого объекта контроля принято называть оценкой. Если X — контролируемый объект, $K_1(x)$ — оцениваемый показатель качества, $K_1^*(x)$ — его оценка, то формально $K_1^*(x)$ может быть определен как

$$K_1^*(x) = S(x), \quad (1)$$

где $S(x)$ — некоторый оператор, лежащий в основе определения оцениваемого показателя качества.

Оценку показателя качества можно получить двумя путями:

- на основе вычислений по информации о контролируемых параметрах, получаемой в процессе контроля;
- на основе оценки показателя качества, получаемой в процессе контроля.

Контроль по показателю качества позволяет количественно оценивать важные свойства объекта контроля, его эффективность или его состав — точность, надежность.

Например, для системы управления ракеты в качестве показателя качества используют промах ракеты относительно цели, вероятность поражения цели. Построение зависимости показателя качества от параметров упрощается, если известно, что объект функционирует правильно. В этом случае достаточно иметь аналитическую зависимость показателя качества от параметров для одного работоспособного состояния АУС. Для этого сначала можно провести контроль на функционирование и получить качественную оценку работоспособности АУС.

При данном способе оценки технического состояния АУС контроль осуществляется в режиме, который характеризует условия работы.

Существуют наиболее вероятный и наиболее «тяжелый» режимы контроля. При наиболее

© Ю.И. ШЕПЕЛЕВ, 2014

лее «тяжелом» режиме проверяются предельные значения характеристик АУС. Часто применяют наиболее вероятный режим работы. Это по сути какой-либо средний режим работы, который дает одинаковое влияние параметров на показатель качества. Но в этих режимах не учитываются особенности функционирования объекта в других, что ведет к ошибкам при принятии решения о работоспособности объекта.

При фиксированных условиях и режимах работы показатель качества зависит от параметров. Осуществляя измерение параметров в процессе контроля, можно по известной функциональной зависимости вычислить показатель качества. Контроль по показателю качества позволяет получить объективную оценку работоспособности объекта, решить задачу прогнозирования. Однако для ряда объектов существуют трудности установления зависимостей показателей качества от параметров и их реализации в системах контроля.

Можно выбирать гипотетический режим, который учитывает специфические особенности поведения АУС во всех возможных режимах. Построение такого режима контроля для АУС выполняется на основе анализа процесса функционирования АУС на всех возможных режимах.

Способ принятия решения о работоспособности АУС зависит от выбранного способа оценки его технического состояния.

При решении задач диагностики определяется состояние отдельных функциональных элементов (блоков, узлов и др.). Таким образом, если при контроле работоспособности мы отвечаем на вопрос о пригодности всего АУС, то при проведении диагностирования определяется пригодность отдельных функциональных элементов АУС.

Процесс оценки технического состояния АУС можно отобразить в виде совокупности превращений сигналов в информационной системе контроля и диагностирования (рис. 1).

Объект контроля в общем случае описывается оператором $A(t, U)$, где U — вектор параметров. Каждое звено этой системы пред-

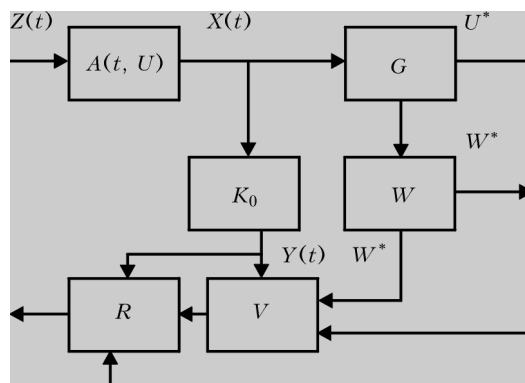


Рис. 1. Процесс оценки технического состояния АУС

ставлено преобразователем, который устанавливает связь между входными и выходными сигналами. На вход АУС подается стимулирующий сигнал $Z(t)$, а на выходе наблюдается сигнал $X(t)$. Стимулирующие сигналы $Z(t)$ характеризуются напряжениями и токами разных видов и форм: постоянные, переменные, низкочастотные, высокочастотные, с амплитудной, фазовой модуляцией и т.д. Неэлектрические стимулирующие сигналы объединяют в малочисленную, но важную группу стимулов, которая включает давление газов, линейные и угловые перемещения и т.д. Стимулирующие сигналы характеризуются номинальным значением своих параметров и нужной точностью.

Оценка вектора параметров U^* формируется с помощью преобразователя G . В случае использования метода контроля по показателю качества преобразование W устанавливает связь оценки показателя качества W^* с вектором оценки параметров U^* . Если используется контроль временных или частотных характеристик, то преобразование K представляет алгоритм оценки сигнала $X(t)$. При выбранном методе контроля преобразования V формирует решение о работоспособности АУС путем сравнения измеренных значений с допусками сигналов. Эта информация и измеренные сигналы используются для определения места отказа с помощью превращения R .

Оценки показателя качества первого типа получаются с использованием числовых массивов оценок контролируемых параметров, являющихся составной частью априорной информации об АУС. Получение оценки на ос-

нове вычислений предполагает наличие аппроксимирующей математической модели исследуемого показателя качества, представляющего функцию контролируемых параметров.

Получение оценки второго типа с помощью непосредственного контроля показателя качества предполагает наличие реального физического объекта. Количественные данные о показателе качества $K_1^*(x)$ получаются с установленной точностью посредством сравнения некоторых реальных значений с образцовыми.

Методы оценки по совокупности контролируемых параметров позволяют использовать также обобщенные показатели [1]. При этом работоспособность АУС может оцениваться путем определения вероятности попадания вектора показателей $K = (k_1, k_2, \dots, k_n)$ в область работоспособности АУС. При любом методе определения работоспособности АУС пространство его показателей разделяется на две области V_1 и V_2 , соответствующим работоспособному и неработоспособному состояниям. Вероятность попадания случайного вектора K в область работоспособности V_1 , если известна n -мерная плотность распределения вероятности $f(K)$, определяется по формуле

$$P_{V_1} = \int \int_{V_1} \dots f(K) dK. \quad (2)$$

Область работоспособности АУС при оценке его состояния сравнивают по вектору $K = (k_1, k_2, \dots, k_n)$ или по отдельным показателям $k_i, i = 1, n$. В первом случае область V_1 определяется неравенством

$$K^H \leq K(k_1, k_2, \dots, k_n) \leq K^B, \quad (3)$$

а во втором случае — системой неравенств вида

$$\begin{aligned} K_1^H &\leq K_1 \leq K_1^B \\ K_2^H &\leq K_2 \leq K_2^B \\ &\dots\dots\dots \\ K_n^H &\leq K_n \leq K_n^B \end{aligned} \quad (4)$$

Качество функционирования АУС оценивается с помощью некоторого обобщенного многомерного показателя. Обобщенный пока-

затель качества может быть представлен в виде функционала K :

$$K = K[\|k_i\|, \|k_s'\|, \|p_j\|, \|p_s'\|], \quad (5)$$

где $\|k_j\|$ — матрица, элементы которой характеризуют качество (эффективность) функционирования системы в отдельных ситуациях; $\|k_s'\|$ — матрица, составленная из частных показателей качества, не относящихся к отдельным ситуациям, а характеризующих систему в целом (масса, габариты, стоимость); $\|p_j\|, \|p_s'\|$ — матрицы, составленные из весовых коэффициентов.

Математическую зависимость показателей качества от контролируемых параметров можно задать в виде зависимости.

$$\begin{aligned} K_1 &= F_1(\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_n) \\ K_2 &= F_2(\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_n) \\ &\dots\dots\dots \\ K_m &= F_m(\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_n) \end{aligned} \quad (6)$$

Величины K_1, K_2, \dots, K_m являются однозначными функциями от контролируемых параметров $\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_m$ и ни одна из функций F_i не является линейной комбинацией из других функций. Пусть известна плотность распределения $f(\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_n)$ и в результате контроля или другим путем получены показатели качества K_1, K_2, \dots, K_m . Требуется определить математическое ожидание и дисперсию параметров $\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_m$ по известным значениям K_1, K_2, \dots, K_m , т.е. найти

$$\mu = \mu \left[\frac{\Pi_i}{K_1 K_2 \dots K_m} \right] \text{ и } D = D \left[\frac{\Pi_i}{K_1 K_2 \dots K_m} \right]. \quad (7)$$

Данная задача может быть решена одним из известных методов линейного программирования.

При малом числе показателей качества K_1, K_2, \dots, K_m оценка контролируемых параметров $\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_n$ требует вычисления многократных интегралов (кратности $n-m$). При увеличении числа показателей качества $m \rightarrow n$ требуется вычислять интегралы все меньшей кратности. При $m = n$ из формулы (7) следует

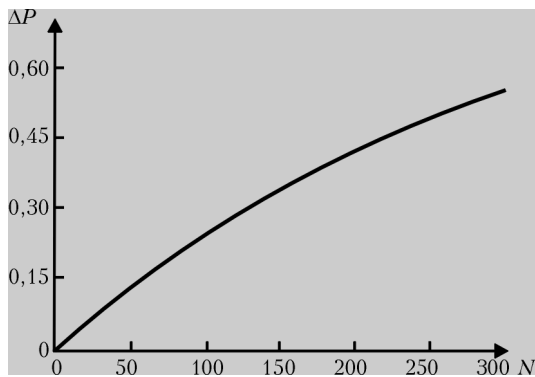


Рис. 2. График изменения разницы вероятностей правильного оценивания технического состояния системы управления при контроле по показателю качества и допусковом параметрическом

$$d\alpha = f_1(k_1) \left[\int_{-\infty}^{k_1 - k_2} f_2(\delta) d\delta + \int_{k_1 - k_2}^{\infty} f_2(\delta) d\delta \right], \quad (13)$$

где $f_1(k)$ — плотность распределения показателя k .

Значения показателя качества k , соответствующие полю допуска, могут находиться в пределах $k_H \leq k \leq k_B$. Поэтому риск изготовителя составит

$$\alpha = \int_{k_H}^{k_B} f_1(k) \left[\int_{-\infty}^{k - k_1} f_2(\delta) d\delta + \int_{k - k_2}^{\infty} f_2(\delta) d\delta \right] dk. \quad (14)$$

Если реальное состояние объекта соответствует значению k_2 , то система контроля ошибочно оценит его как соответствующий полю допуска в случае, если ее ошибка находится в пределах $k_H - k_1 \leq \delta \leq k_B - k_2$. Вероятность такого случая

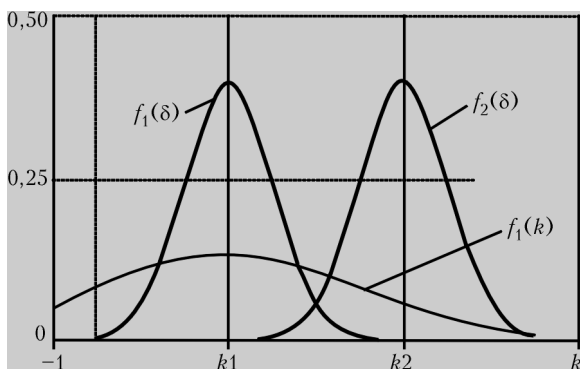


Рис. 3. Графики для определения рисков изготовителя и заказчика

$$d\beta = f_1(k_2) \int_{k_H - k_2}^{k_B - k_2} f_2(\delta) d\delta. \quad (15)$$

Значения показателя k , не соответствующие полю допуска, могут находиться в пределах $-\infty < k < k_H$ и $k_B < k < \infty$. Поэтому риск заказчика равен

$$\beta = \int_{-\infty}^{k_H} f_1(k_2) \int_{k_H - k_2}^{k_B - k_2} f_2(\delta) d\delta dk + \int_{k_B}^{\infty} f_1(k_2) \int_{k_H - k_2}^{k_B - k_2} f_2(\delta) d\delta dk. \quad (16)$$

Таким образом, при известном законе распределения показателя качества системы управления АУС и известном поле допусков на него, риски изготовителя и заказчика однозначно связаны с качеством функционирования системы управления.

Вероятность нахождения показателя k в допустимых пределах после проведения контроля

$$P(k_H \leq k \leq K_B) = \int_{k_H}^{k_B} f(k) dk. \quad (17)$$

Соответственно, вероятность брака

$$P(k < k_H, k > k_B) = 1 - \int_{k_H}^{k_B} f(k) dk. \quad (18)$$

Методическая достоверность характеризуется совокупностью контролируемых параметров, методикой их контроля, режимом проверки и критерием оценки технического состояния при идеальном измерении. При определении методической достоверности оценивается, насколько влияет на правильность принятия решения о состоянии системы, отличие контрольного режима от режима, при котором функционирует система в реальных условиях, принятая методика контроля параметров, выбранный метод оценки технического состояния.

Инструментальная достоверность [4] зависит от характеристик точности средства контроля. Если эти характеристики существенно выше, чем разброс показателя качества и вносимой средством контроля погрешностью можно пренебречь, то следует учитывать сбои средства контроля. При наличии сбоев с интенсивностью $f(t)$, которые не выявляются в процессе проведения контроля и времени проведения контроля τ , риски изготовителя и заказчика соответственно равны:

$$\alpha = \int_{k_n}^{k_b} f(k) dk \left[1 - \int_0^{\tau} f(t) dt \right] \quad (19)$$

$$\beta = \int_{-\infty}^{k_n} f(k) dk \int_0^{\tau} f(t) dt + \int_{k_b}^{\infty} f(k) dk \int_0^{\tau} f(t) dt.$$

Сравнивая полученные значения достоверности контроля одного и того же блока цифровой системы управления АУС методом параметрического допускового контроля и контроля по показателю качества, получим следующие значения $D = 0,987-0,999$.

Проведенные исследования показали, что метод контроля АУС по показателю качества — мгновенному промаху — имеет следующие преимущества перед методом параметрического допускового контроля:

- обеспечивает высокую достоверность контроля;
- комплексно отражает техническое состояние АУС;
- является универсальным для определенного класса изделий;
- может применяться не только в процессе эксплуатации АУС, но и на этапе обработки;
- не требует больших материальных и временных затрат.

Таким образом, метод контроля по показателю качества является наиболее перспективным и универсальным для определенного класса АУС, поскольку структуры систем управления разных АУС, а также последовательность проведения проверки имеют много общего. ➔

Список литературы

1. *Евланов Л.Г.* Контроль динамических систем. — М.: «Наука», 1979. — 432 с.
2. *Доценко Б.И.* Диагностирование динамических систем. — К.: Техника, 1983. — 160 с.
3. *Шепелев Ю.И.* Контроль беспилотных летательных аппаратов по показателю качества // *Авиационное и стрелковое вооружение №1.* — 2007. — С. 24–28.
4. *ОСТ 1 00433–81.* Средства контроля технического состояния изделий авиационной техники. Методика определения инструментальной достоверности контроля. — М.: Издательство стандартов, 1984. — 16 с.