

УДК 629.735.05:621.3(045)

И.А. Мачалин,

доктор технических наук, доцент

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ СИСТЕМ СВЯЗИ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Рассмотрен подход к оценке эффективности диагностирования систем связи специального назначения с учетом информационных свойств объекта диагностирования. Приведены критерии выбора оптимальных контрольных допусков и оптимальных стимулирующих сигналов.

Ключевые слова: системы связи, диагностирование, контрольные допуски, стимулирующие сигналы, ошибки диагностирования.

Розглянуто підхід до оцінки ефективності діагностування систем зв'язку спеціального призначення з урахуванням інформаційних властивостей об'єкта діагностування. Наведено критерії вибору оптимальних контрольних допусків і оптимальних стимулюючих сигналів.

Ключові слова: системи зв'язку, діагностування, контрольні допуски, стимулюючі сигнали, помилки діагностування.

An approach to the assessing of the effectiveness of the diagnosis of special-purpose communication systems was considered with taking into account the information features of an object of diagnosis. Criteria for the determining of optimal checking admission and optimal stimulating signals are stated.

Keywords: communication systems, diagnosis, checking admission, stimulating signals, diagnosis errors.

В настоящее время к телекоммуникационным системам предъявляются особые требования относительно их готовности обеспечить заданное качество предоставляемых услуг. Однако эти цели могут быть достигнуты только при соответствующем уровне надежности оборудования. Поддержка требуемого уровня надежности непосредственно зависит от эффективного контроля и диагностирования технического состояния систем. При этом ошибочные решения в процессе контроля технического состояния могут привести к неоправданным простоям оборудования. Поэтому проблема повышения эффективности контроля и диагностирования систем связи общего и специального назначения является достаточно актуальной.

Решению этой проблемы посвящен ряд работ [1–5]. Несмотря на это, большинство закономерностей и свойств технологий диагностирования изучено недостаточно. Это обусловлено не только очевидной сложностью самой проблемы, но и отсутствием единых методологических принципов поиска оптимальных решений. Особенностью известных методов является отсутствие учета влияния на процесс диагностирования свойств самого объекта диагностирования с точки

зрения об'ємів оброблюваної інформації. Однак в залежності від того, якої об'єм інформації може обробити об'єкт, в значительній мірі залежить принцип вибору діагностических і стимулюючих сигналів. Такий підхід дозволяє отримати більш повну діагностическу картину про технічний стан об'єкта.

Ми розглядаємо об'єкт діагностування як інформаційну систему, здатну приймати і обробляти певний об'єм інформації. В залежності від властивостей об'єкта, вибираються стимулюючі сигнали, таким чином, щоб узгодити їх характеристики з властивостями об'єкта. В залежності від цих властивостей, необхідно вибрати контрольні допуски для отримання мінімальних помилок діагностування. Таким чином, метою роботи є розробка підходу до оптимізації процесу діагностування з метою мінімізації прийняття помилкових рішень і підвищення ефективності діагностування.

Як показано в роботі [5], об'єм I_i діагностическої інформації в i -м діагностическому сигналі (ДС) – це об'єм V_i цього сигналу:

$$I_i = V_i = \Delta T_i \Delta F_i \Delta D_i = \Delta T_i \Delta F_i \ln \frac{P_{\max,i}}{P_{\min,i}} = \Delta T_i \Delta F_i \ln \Delta H_i, \quad (1)$$

де $\Delta T_i, \Delta F_i, \Delta D_i$ – відповідно, тривалість, ширина спектра, динамічний діапазон ДС; $P_{\max,i}, P_{\min,i}$ – максимальне і мінімальне значення потужності ДС.

При цьому за час ΔT існування діагностического сигналу $X(t)$ береться відлік, а інтервал Δt взяття відліків вибирається за теоремою Котельникова

$$\Delta t = 1/2\Delta F. \quad (2)$$

Отримана вибірка Y_1, Y_m виміряних значень обробляється усередненням всіх відліків з вагами a_i , що задовольняють умові:

$$\sum_1^m a_i = 1; \quad 0 \leq a_i \leq 1; \quad i = 1, m. \quad (3)$$

В якості оптимальної оцінки X^* будемо використовувати середнє значення

$$Z_0 = \sum_1^m a_i Y_i, \quad (4)$$

Далі будемо полагати, що всі відліки беруться в однорідних умовах:

$$\sigma_{\xi i} = \sigma_{\xi}; \quad \sigma_{x i}^2 = \sigma_x^2; \quad \Delta H_i = \Delta H, \quad (5)$$

і за час $\Delta T, \frac{\Delta T}{T_0} \ll 1$ стан об'єкта не змінюється.

При выполнении этих условий для относительной ширины поля допуска справедливы соотношения:

$$\eta = \frac{\delta}{\sigma_{\xi} \sqrt{\Delta H_m}} = \frac{\delta}{\sigma_{\xi} \sqrt{m \Delta H}} = \frac{\delta}{\sigma_{\xi} \sqrt{\frac{V_m \Delta H}{\ln \Delta H}}} = \frac{\delta}{\sigma_{\xi} \sqrt{v e^{\Delta D}}}; \quad (6)$$

$$m = 2\Delta T \Delta F = v: V_m = 2\Delta T \Delta F \ln \Delta H = mV_1 = vV_1,$$

где ΔH_m – отношение сигнал/шум, исчисляемое по оценке Z_0 , V_1 – объем информации, получаемой при однократном стробировании, $\delta = (b-a)/2$ – симметричный абсолютный полудопуск; a, b – верхнее и нижнее поля допуска.

Из выражений (1–6) видно, что повышать точность и достоверность диагностирования можно с помощью пяти обобщенных управляемых переменных: $\delta, \Delta T, \Delta H, \Delta F, \sigma_{\xi}$.

Собственными дифференциальными физическими параметрами диагностируемости объекта по каждому диагностическому сигналу являются параметры $\Delta T_0, \Delta F_0, \Delta H_0$, интегральной характеристикой служит собственный объем диагностической информации I_0 , а характеристиками своеобразного “диагностического портрета” объекта, его “диагностического паспорта”, служат собственные показатели диагностируемости объекта. Каждый объект имеет индивидуальное “диагностическое лицо” по каждому диагностическому сигналу, что и предлагается учитывать при разработке повышения эффективности диагностирования.

В расчете собственных показателей диагностируемости объекта, границы допусков во внешних интегралах должны выбираться по значению вероятности безотказной работы объекта $P(t)$ в момент диагностирования из условия

$$\int_{-[a-m_x(t)]/\sigma_x(t)}^{[b-m_x(t)]/\sigma_x(t)} \sigma_x(t) f_1(Z_1) dZ_1 = P(t), \quad (7)$$

Нормированный оптимальный допуск χ_{opt} как параметр оптимального расширения поля допуска из-за наличия погрешности измерений выбирается из условия минимума полной вероятности ошибки диагностирования

$$Q = \alpha + \beta,$$

где α, β – полные вероятности “ложного отказа” и “необнаруженного отказа”.

Вероятности α, β рассчитываются по известным методикам [3].

Как показано в работе [5] оптимальное значение нормированного допуска

$$\chi_{opt} = \frac{\Delta H_1 + 1}{\Delta H_1}, \quad (8)$$

а минимальное значение полной вероятности определяется как

$$\min_{\chi} Q(a, b, \chi) = Q_{\min}(a, b, \chi_{opt}). \quad (9)$$

Оптимальный собственный внутренний допуск и собственный внешний допуск связывает соотношение

$$\eta_{opt}^0(t) = \frac{\Delta H_0(t) + 1}{\Delta H_0(t)} \eta(t). \quad (10)$$

Нормированным собственным оптимальным внутренним допуском для объекта диагностирования назовем величину

$$\chi_0(t) = \frac{\eta_{opt}^0(t)}{\eta(t)} = \frac{1}{\gamma_{opt}^0(t)}. \quad (11)$$

На рис. 1 показан график зависимости $\chi_0(t)$ от собственного объема I_{01} диагностической информации при диагностировании однократным стробированием. Как видно из рисунка, с ростом отношения сигнал/шум (с ростом собственного объема I_{01}), нормированный оптимальный собственный внутренний допуск стремится к единице, иначе говоря, оптимальный внутренний собственный допуск стремится к внешнему допуску.

Сингулярные свойства нормированного собственного оптимального допуска для объекта характеризуют предельные соотношения

$$\lim_{I_{01} \rightarrow -\infty} \chi_0(I_{01}) \rightarrow \infty; \quad \lim_{I_{01} \rightarrow -\infty} \chi_0(t) \rightarrow 2; \quad \lim_{I_{01} \rightarrow -\infty} \chi_0(I_{01}) \rightarrow 1. \quad (12)$$

Из (10)–(12) следует, что при больших погрешностях измерений, когда $\Delta H_0(t) \leq 1$, $I_{01}(t) \leq 0$, необходимо максимально расширять собственный внутренний допуск. При $\Delta H_0(t) = 1$, $I_{01}(t) = 0$ внутренний допуск вдвое больше внешнего. При $\Delta H_0(t) \geq 1$, $I_{01}(t) \geq 0$ внутренний допуск, с ростом $I_{01}(t)$, стремится к внешнему допуску, т. е. определяется надежностью объекта.

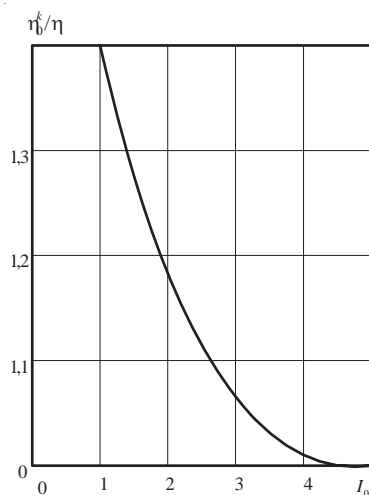


Рис. 1. Зависимость нормированного допуска η_k^0/η от объема диагностической информации I_{01}

На рис. 2 показаны графики зависимостей Q от χ при различных значениях I_{01} .

Нормированный собственный допуск и собственный объем информации в любой момент времени связывают соотношения

$$\chi_0(t) = 1 + e^{-I_0/\Delta T_0 \Delta F_0} = 1 + e^{-I_{01}} = 1 + e^{-\ln \Delta H_0},$$

$$I_0(\chi_0) = -\Delta T_0 \Delta F_0 \ln(\chi_0 - 1) = -\frac{V_0}{2} \ln(\chi_0 - 1) = -m \ln(\chi_0 - 1).$$

Если условия (7)–(10) выполняются, средства диагностирования обеспечивают получение объема диагностической информации

$$I_C = I_0$$

и каждый физический параметр средств диагностирования согласован с соответствующим собственным параметром диагностируемости объекта:

$$\Delta H_C = \Delta H_0, \Delta F_C = \Delta F_0, \Delta T_C = \Delta T_0, \quad (13)$$

тогда и только тогда показатели диагностирования системы диагностирования совпадают с собственными показателями диагностируемости объекта.

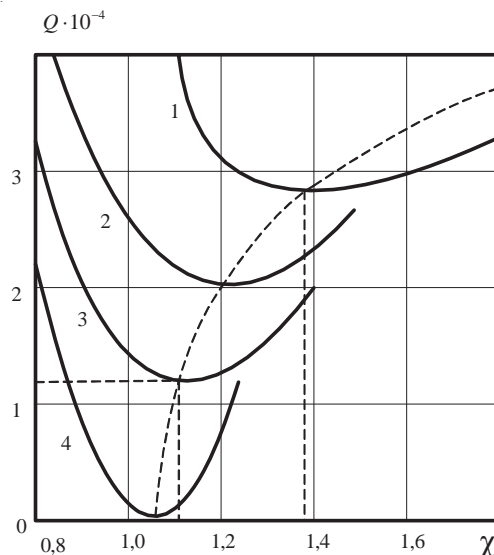


Рис. 2. Зависимость вероятности Q от значения нормированного допуска при различных значениях объема диагностической информации: 1 – $I_{01}=1$; 2 – $I_{01}=2$; 3 – $I_{01}=2$; 4 – $I_{01} \rightarrow \infty$;

Отсюда следует, что применять стимулирующие сигналы с физическими параметрами

$$\Delta H_C \geq \Delta H_0, \Delta F_C \geq \Delta F_0$$

нецелесообразно, так как они будут искажены объектом, что приведет к потере диагностической информации.

Применять стимулирующие сигналы с физическими параметрами

$$\Delta H_C \leq \Delta H_0, \Delta F_C \leq \Delta F_0$$

также нецелесообразно, так как это приводит к недополучению требуемой диагностической информации.

Из (13) вытекает условие согласования баз стимулирующего сигнала и объекта диагностирования

$$v_C = v_0 = 2\Delta T_C \Delta F_C = 2\Delta T_0 \Delta F_0.$$

Увеличивая время наблюдения ΔT_C за объектом, можно получать объемы диагностической информации $I_C \geq I_0$ и, тем самым, уменьшать вероятность ошибки $Q_C \leq Q_{\min}^0$, но при этом происходит ухудшение соотношения

$$\lim \frac{\Delta T}{T_0} \rightarrow 1, P(\Delta t) \neq const.$$

Увеличивая объем информации можно в предельном смысле обеспечить безошибочное диагностирование объекта, то есть обеспечить

$$\lim_{I_C \rightarrow \infty} Q_{\min}(I_C) \rightarrow 0. \quad (14)$$

Траектория движения точки M_0 , отображающей изменение Q_{\min} с ростом объема информации, показана штрихпунктирной линией на рис. 2.

Выводы

Таким образом, управление объемом информации в системах диагностирования открывает новые возможности повышения эффективности диагностирования. Большое количество способов управления даже по одному диагностическому сигналу порождает широкие возможности управления и выбора базовых оптимальных технологий контроля и диагностирования. Для диагностирования с оптимальным оцениванием значений диагностического сигнала по измеренным значениям показаны основные особенности выбора управляемых переменных, их взаимосвязи. Определено, что каждый объект имеет собственный объем диагностической информации, собственные параметры и показатели диагностируемости, собственные оптимальные допуски. Установлены связи собственного объема диагностической информации с оптимальными собственными допусками. Определены необходимые условия согласования средств диагностирования с собственными параметрами диагностируемости объекта.

Полученные результаты являются основой теории управления объемом информации в системах диагностирования с оптимальным оцениванием отсчетов

и принятием решений о состоянии объекта. Они могут быть полезными в процессе проектирования и эксплуатации систем диагностирования телекоммуникационных систем общего и специального назначения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Игнатов В.А.* Метод избыточного диагностирования авиационных систем / В.А. Игнатов, Б.Н. Стоянов // Технологические процессы при эксплуатации радиоэлектронного оборудования гражданской авиации. – К. : КИИГА, 1985. – С. 7–17.
2. *Боголюбов Н.В.* Управление информационной избыточностью систем диагностирования и контроля / Н.В. Боголюбов, В.А. Игнатов // Контроль и управление техническим состоянием авиационного и радиоэлектронного оборудования воздушных судов гражданской авиации. – К. : КИИГА, 1986. – С. 3–11.
3. *Глухов В.В.* Техническое диагностирование динамических систем / В.В. Глухов. – М. : Транспорт, 2000. – 256 с.
4. *Drenick R. F.* The failure law of complex equipment / R.F. Drenick // Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics. – 1996. – Vol. 8. – P. 680–690.
5. *Finkelshtein A.* Economic optimization of off-line inspection in a process subject to failure and recovery / A. Finkelshtein, Y.T. Herer, T. Raz, I. Ben-Gal // IIE Transactions. – 2005. – Vol. 37. – № 11. – P. 995–1009.
6. *Игнатов В.А.* Оптимальное управление диагностированием изделий авиационной техники / В.А. Игнатов, И.А. Мачалин // Інформатизація і проблеми управління. – 2006. – № 4. – С. 45–54.

Отримано 03.12.2012