

## Оценка эффективности электронной аппаратуры для медико-биологических исследований

С. К. МЕЩАНИНОВ

Днепродзержинский государственный технический университет

Представлены результаты аналитических исследований надежности и эффективности использования электронной аппаратуры для медико-биологических исследований как сложной технической системы. Рассмотрена классификация факторов, определяющих эффективность функционирования аппаратуры для медико-биологических исследований. Сделан вывод о том, что комбинированное обслуживание является оптимальным, при этом в качестве оценочного критерия выбран критерий минимума риска.

Представлені результати аналітичних досліджень надійності і ефективності використання електронної апаратури для медико-біологічних досліджень як складної технічної системи. Розглянута класифікація чинників, що визначають ефективність функціонування апаратури для медико-біологічних досліджень. Зроблений висновок про те, що комбіноване обслуговування є оптимальним, при цьому як оцінний критерій вибраний критерій мінімуму ризику.

There are presented results of analytical researches of reliability and efficiency of the using of apparatus for medical-biological researches as a difficult technical system. Considered the classification factors, qualificatory efficiency of functioning of apparatus for medical-biological researches researches. Create the conclusion that the combined service is optimal, here as an evaluation criterion the criterion of a minimum of risk is chosen.

**Введение.** Надежность и эффективность электронной аппаратуры для медико-биологических исследований (МБИ) является важнейшим критерием, по которому можно сделать оценку целесообразности использования того или иного варианта использования комплекса такой аппаратуры в современном лечебно-диагностическом учреждении с учетом требований экономичности, безопасности, эргономических и экологических норм.

**Постановка задачи исследований.** Рассмотрение эффективности любого участка измерительного тракта, на сегодняшний день, по нашему мнению, наиболее целесообразно производить с использованием комплексного метода исследований, в основе которого должно находиться представление о рассматриваемом объекте (или его части), как сложной технической системе, подсистемы которой находятся в определенном взаимодействии. Таким образом, целью настоящей ста-

тью является оценка эффективности аппаратуры, используемой для осуществления медико-биологических исследований.

**Основная часть.** Вероятность развития аварии  $P_a$  можно представить как совмещение двух независимых событий:  $P_1$  и  $P_2$  – вероятности подавления и активизации процесса развития ситуации отказа:

$$P_a = P_1 \cdot P_2; \quad (1)$$

Классификацию факторов, определяющих эффективность функционирования аппаратуры для МБИ удобно рассматривать по рис. 1, в соответствии с которым, совокупность действия управляемых и неуправляемых факторов определяет достигаемый за счет функционирования этой аппаратуры полезный эффект и объем затраченных ресурсов, времени, энергии и т.п.

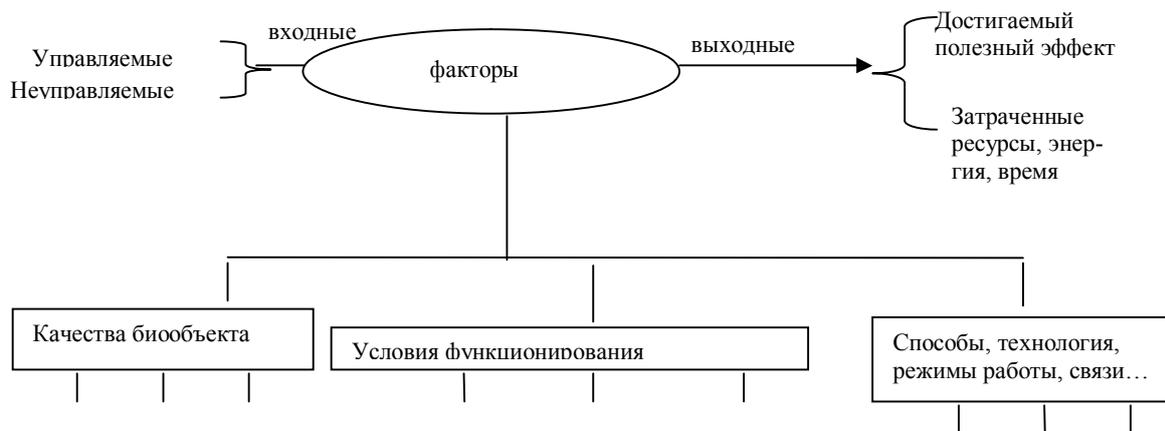


Рис. 1. Классификация факторов, определяющих эффективность функционирования аппаратуры для МБИ

Пусть на некоторые показатели эффективности аппаратуры для МБИ: Т (точность), Н (надежность), Э (энергия) и С (стоимость), наложены ограничения как функции времени:

$$\begin{aligned} C_{11}(t) \leq T \leq C_{12}(t); C_{21}(t) \leq H \leq C_{22}(t); \\ C_{31}(t) \leq E \leq C_{32}(t); C_{41}(t) \leq C \leq C_{42}(t) \end{aligned} \quad (2)$$

При переходе системы из начального состояния в конечное, характеристики  $T$ ,  $H$ ,  $\Xi$  и  $C$  должны находиться в некоторой заданной области  $\Omega$ , определяемой требованиями к проектируемой системе (2). Условия (2) могут нарушаться за счет выбора оператора системы  $A_i$  и действия возмущений  $\Lambda$ .

Примем, что функция потерь  $W$  может иметь следующие значения:

$$W = \begin{cases} 0 & \text{при } \Gamma \in \Omega, \\ 1 & \text{при } \Gamma \notin \Omega \end{cases}, \quad (3)$$

где  $\Gamma \in \Omega$  – иное обозначение условия (1), когда все показатели  $T$ ,  $H$ ,  $\Xi$  и  $C$  находятся в области  $\Omega$ ;  $\Gamma \notin \Omega$  – обозначение того, что любое из условий (2) нарушено.

Тогда критерий минимума риска можно записать в виде:

$$\min_A R = \min_A \{M(W)\}. \quad (4)$$

Функция потерь позволяет оценивать качество системы с учетом случайных возмущений. Действие случайных возмущений приводит к тому, что управляющее устройство «выносит решение в неопределенной ситуации» [6], а следовательно, возникают отклонения

координат системы из требуемой области  $\Omega_{\text{тр}}$ , которая, в общем случае, является некоторой функцией времени:

$$\Omega_{\text{тр}} = \Omega(t). \quad (5)$$

Эти отклонения называют отклонениями системы.

Таким образом, функция потерь  $W$  может быть представлена, в общем виде некоторой функцией от координат системы в заданной области:

$$W = \{Y, \Omega_{\text{тр}}\}, \quad (6)$$

где под  $Y$  подразумевают обобщенный вектор выходных координат и состояния системы.

Функция потерь, в общем случае, является средством формирования универсального критерия, так как целесообразные критерии качества могут быть представлены в форме условия минимума среднего риска:

$$\min R = \min \{M(W(Y, Y^*))\}.$$

Представим схему исследования системы следующим образом (рис. 2):

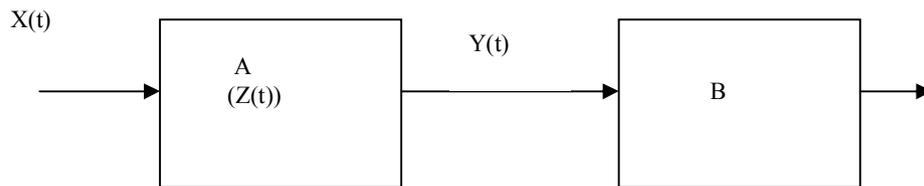


Рис. 2. Исследуемая система с оператором функции потерь:  $A$  – оператор проектируемой системы, включающий объект и регулятор;  $X(t)$  – вектор входного воздействия;  $Y(t)$  – вектор выходных координат системы;  $Z(t)$  – вектор состояния;  $B$  – оператор функции потерь  $W$

Потери  $W$ , связанные с переходом системы из начального состояния  $Y(t_0)$  в конечное  $Y(t_k)$  можно выразить с помощью оператора  $B$  через известные статистические характеристики векторов:

$$X(t_0, t_k), Z(t_0, t_k); \quad (7)$$

и заданный оператор системы  $A_i$ :

$$W = W_1(A_i, Y, X, Z, t_0, t_k). \quad (8)$$

Представим случайные функции  $X(t), Z(t)$  в виде:

$$X(t) = X(\Lambda_1, t), \quad Z(t) = Z(\Lambda_1, t). \quad (9)$$

где  $\Lambda_1 - r_1$ - мерный вектор случайных величин.

Тогда, после подстановки, с учетом того, что:

$$Y(t) = f(A_i, X, Z, t), \quad (10)$$

имеем:

$$W = W_2(A_i, \Lambda_2, t_0, t_k). \quad (11)$$

где  $\Lambda_2 - m$ -мерный вектор случайных величин ( $m = r_1 + r_2$ ).

Из выражения (11) следует, что каждому значению случайного вектора  $\Lambda$ , равному  $\mu_1, \dots, \mu_1$ , соответствуют определенные значения функции потерь:

$$\begin{cases} W_1 = W_2(A_i, \mu_1, t_0, t_k) \\ \vdots \\ W_1 = W_2(A_i, \mu_1, t_0, t_k) \end{cases}; \quad (12)$$

Тогда средний риск

$$R = \int_{\lambda_1} \dots \int_{\lambda_m} W_2(A_i, \lambda, t_0, t_k) f(\lambda) d\lambda_1 \dots d\lambda_m.$$

Задаваясь различными операторами системы  $A_i$ ; ( $i = 1, 2, \dots, p$ ), путем сравнения значений риска  $R_1, \dots, R_p$ , можно выбирать наименьшие из них:

$$R_r = \int_{\lambda_1} \dots \int_{\lambda_m} W_2(A_r, \lambda, t_0, t_k) f(\lambda) d\lambda_1 \dots d\lambda_m, \quad (13)$$

где  $R_r < R_1, \dots, R_{r-1}, R_{r+1}, \dots, R_p$ .

Можно поставить задачу выбора оптимальных параметров  $K$  оператора  $A_i$ , то есть решать задачу получения системы оптимальной структуры:

$$\min R = \min_K \left\{ \int_{\lambda_1} \dots \int_{\lambda_m} W_2[A_i(K), \lambda, t_0, t_k] f(\lambda) d\lambda_1 \dots d\lambda_m \right\}; \quad (14)$$

Наиболее общей задачей является задача нахождения оптимального оператора  $A_{\text{opt}}$ , обеспечивающего экстремум функции риска:

$$\text{extr } R = \int_{\lambda_1} \dots \int_{\lambda_m} W_2(A_{\text{opt}}, \lambda, t_0, t_k) f(\lambda) d\lambda_1 \dots d\lambda_m. \quad (15)$$

Комбинированное обслуживание, очевидно, является наиболее приемлемым для эксплуатации аппаратуры для МБИ. Произведем оценку эффективности различных способов обеспечения надежности аппаратуры для МБИ, в предположении, что его техническое обслуживание (ТО) является комбинированным и обладает следующими свойствами:

1. Через промежуток времени  $T_n$  за время  $t_p$  производится периодическое ТО всех подсистем аппаратуры для МБИ; (под  $T_n$  понимается время между двумя соседними ТО).

2. В процессе контроля проверяется исправность части подсистем таким образом, что контролем охватывается поток отказов  $\Lambda_1 = \partial\Lambda$  при общем потоке отказов аппаратуры для МБИ, равном  $\Lambda$ ;

3. При обнаружении отказов контролируемых подсистем и их элементов принимаются меры по восстановлению их работоспособности. Интенсивность восстановления работоспособности аппаратуры для МБИ равна  $\mu$ . В работе [7] для этого случая получено выражение для показателя оперативной готовности:

$$K_{г.оп.} = \frac{1}{T_p + t_p} \left\{ \frac{\mu \left[ 1 - e^{-(1-\partial)\Delta T_n} \right]}{(1-\partial)\Lambda(\partial\Lambda - \mu)} + \frac{\partial \cdot \Lambda + e^{-(\Lambda+\mu)T_n}}{(\partial \cdot \Lambda + \mu)(\Lambda + \mu)} \right\}, \quad (16)$$

где  $\partial$  – объем контроля исправности системы.

При  $\partial=0$  выражение (16) будет выражением для показателя оперативной готовности периодически обслуживаемой системы. При  $\partial=1$  проведение периодического обслуживания нецелесообразно. Тогда время  $T_n + t_p$  может быть принято равным времени эксплуатации и выражение (16) будет задавать показатель опе-

ративной готовности системы со случайным периодом обслуживания.

Из анализа показателя оперативной готовности системы с комбинированным ТО следует, что функция  $K_{г.оп.}$ , задаваемая соотношением (16) имеет максимум по параметру  $T_n$  (интервал между двумя ТО), значение которого в соответствии с результатами работы [7], в приближенном виде определяется следующим выражением:

$$T_n = -\frac{t_p}{2} + \sqrt{\frac{t_p^2}{2} + \frac{t_p}{(1-\partial)\Lambda} - \frac{1}{(\Lambda + \mu)(1-\partial)\Lambda}}. \quad (17)$$

Отсюда следует, что интервал между двумя ТО (т.е. время надежной, аппаратуры для МБИ) выражается соотношением (17). Последнее выражение является количественной оценкой эффективности проведения МБИ и может быть использовано непосредственно для планирования хода МБИ.

### Выводы

Получено аналитическое выражение для количественной оценки эффективности проведения МБИ.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Эвоинформатика: Теория и практика эволюционного моделирования / И. Л. Букатова, А. М. Шаров, Ю. И. Михасев. — М. : Наука, 1991. — 206 с.
2. Червоный А. А. Надежность сложных систем. / А. А. Червоный, В. И. Лукьяшенко – [изд. 2-е, перераб. и доп.] — М. : Машиностроение, 1976. — 288 с.

пост.25.06.13