

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ ДЛЯ МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Введение

Надежность и эффективность электронной аппаратуры для медико-биологических исследований (МБИ) является важнейшим критерием, по которому можно оценить целесообразность того или иного варианта использования комплекса такой аппаратуры в современном лечебно-диагностическом учреждении с учетом требований экономичности, безопасности, эргономических и экологических норм. Рассматривать эффективность любого участка измерительного тракта, по нашему мнению, наиболее целесообразно, используя комплексный метод исследований, в основе которого должно быть представление о рассматриваемом объекте (или его части) как о сложной технической системе, подсистемы которой находятся в определенном взаимодействии.

Эффективность процесса измерений определяется, в общем случае, коэффициентом машинного времени измерительного оборудования. Оптимизация работы аппаратуры для МБИ, как единой технологической системы, связана с разработкой и использованием прикладных программ, контролирующее-управляющего и иного оборудования чрезвычайно большой сложности, что либо существенно затрудняет задачу оптимизации, либо делает ее нереальной.

Постановка задачи исследований

Оценка надежности и эффективности функционирования аппаратуры для МБИ по известным показателям работы ее подсистем, предполагает переход к рассмотрению надежности и эффективности функционирования аппаратуры для МБИ в целом. Основная трудность этого перехода состоит в адекватном учете взаимодействия подсистем аппаратуры для МБИ. Отказы подсистем аппаратуры для МБИ, являясь случайными событиями, в совокупности образуют последовательность зависимых и независимых событий. Это имеет место тогда, когда отказ подсистемы (или, что то же самое, ее элемента), вызывает неуправляемое движение материальных потоков: потеря информационных и энергетических потоков и т.п. Это неуправляемое движение, вызванное отказом первой подсистемы (элемента), в свою очередь оказывает воздействие на другие подсистемы в виде внешней нагрузки. Если величина этой нагрузки превышает предельно допустимое значение для смежной подсистемы, то происходит ее отказ.

Цель статьи – рассмотрение механизма формирования отказа аппаратуры для МБИ на основе приведенной выше модели лавинообразного вовлечения ее подсистем в состояние отказа.

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:

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

Анализ работы современной аппаратуры для МБИ показывает, что резервы повышения ее эффективности значительны. Эти резервы кроются, в первую очередь, в повышении надежности, которая в настоящее время находится на низком уровне из-за значительных несоответствий применяемых измерительных методов и схем и параметров биообъектов,

несовместности выполнения во времени отдельных процессов и операций и т.д. Устранение отмеченных недостатков позволит повысить эффективность получения МБИ и производительность труда. Однако оно встречает известные затруднения в связи с неопределенностью и изменчивостью состояния биообъектов во времени и пространстве.

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.

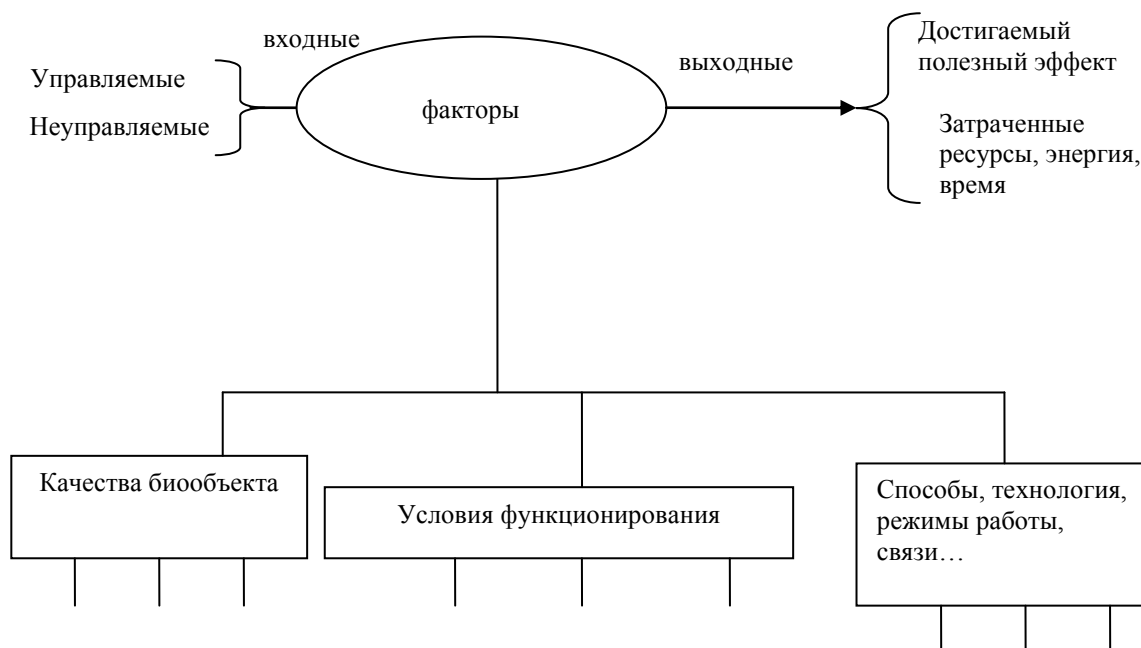


Рис. 1. Классификация факторов, определяющих эффективность функционирования аппаратуры для МБИ

Непосредственно эффективность функционирования аппаратуры для МБИ зависит от качественных характеристик: условий функционирования; выбранной технологии ведения измерений и интерпретации их результатов.

Пусть на некоторые показатели эффективности аппаратуры для МБИ: \dot{O} (точность), \dot{I} (надежность), \dot{Y} (энергия) и \dot{N} (стоимость) наложены ограничения как функции времени:

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

При переходе системы из начального состояния в конечное, характеристики \dot{O} , \dot{I} , \dot{Y} и \dot{N} должны находиться в некоторой заданной области Ω , определяемой требованиями к проектируемой системе (2). Условия (2) могут нарушаться за счет выбора оператора системы \dot{A}_i и действия возмущений Λ .

Примем, что функция потерь W может иметь следующие значения:

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

где $\dot{A} \in \Omega$ – иное обозначение условия (1), когда все показатели \dot{O} , \dot{I} , \dot{Y} и \dot{N} находятся в области Ω ; $\dot{A} \notin \Omega$ – 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 $\Omega_{\delta\delta}$, которая, в общем случае, является некоторой функцией времени:

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

Эти отклонения называют отклонениями системы.

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

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

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

Функция потерь 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):

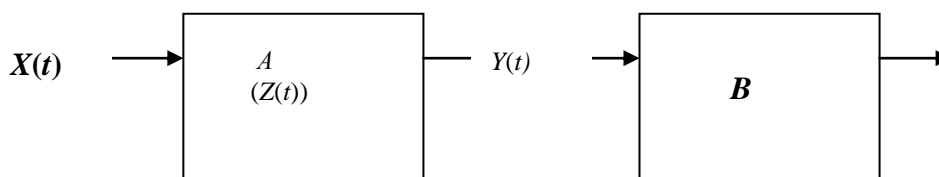


Рис. 2. Исследуемая система с оператором функции потерь: A – оператор проектируемой системы, включающий объект и регулятор; $X(t)$ – вектор входного воздействия; $Y(t)$ – вектор выходных координат системы; $Z(t)$ – вектор состояния; B – оператор функции потерь W

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

$$X(t_0, t_\varepsilon), Z(t_0, t_\varepsilon); \quad (7)$$

и заданный оператор системы A_i :

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

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 Λ_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 Λ_2 – m -мерный вектор случайных величин ($m = r_1 + r_2$).

Из выражения (11) следует, что каждому значению случайного вектора Λ , равному μ_1, \dots, μ_l , соответствуют определенные значения функции потерь:

$$\left\{ \begin{array}{l} W_1 = W_2(A_i, \mu_1, t_0, t_k) \\ \cdot \\ \cdot \\ W_l = W_{2l}(A_i, \mu_l, t_0, t_k) \end{array} \right. ; \quad (12)$$

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

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:

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

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 , т.е. решать задачу получения системы оптимальной структуры:

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

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

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

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_i за время t_{δ} производится периодическое ТО всех подсистем аппаратуры для МБИ (под T_i 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 Λ ;

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

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

где ∂ – 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 $T_i + t_p$ может быть принято равным времени эксплуатации и выражение (16) будет задавать показатель оперативной готовности системы со случайным периодом обслуживания.

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

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

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

Вывод

Получено аналитическое выражение для количественной оценки эффективности проведения МБИ.

Список литературы: 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. Лукьященко. – М. : Машиностроение, 1976. – 288 с.

*Днепродзержинский государственный
технический университет*

Поступила в редколлегию 11.11.2013