

**ВЫБОР ПОКАЗАТЕЛЯ КАЧЕСТВА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМЫ МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ***С.К. Дик, С.М. Боровиков, И.Н. Цырельчук, Д.В. Лихачевский*

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, ул. П. Бровки, 6, БГУИР, каф. ПИКС, 220013, г. Минск, Республика Беларусь, тел. +375 17 2938505, +375 17 2938838, +375 17 2938601  
E-mail: sdick@bsuir.by, bsm@bsuir.by, tsyrelchuk@gmail.com*

Abstract. To assess the quality of the electronic systems for medical purposes are encouraged to use performance score. It is a complete system, the probability of performing the task of diagnosing and monitoring the patient's condition or provision of necessary medical procedures. There is an example of application of the proposed method.

Выбор показателя качества функционирования систем медицинского назначения всегда был и остаётся актуальной задачей. От выбранного показателя зависит подход к проектированию системы, затраты на её проектирование, испытания и дальнейшую эксплуатацию. Возникает вопрос, какому показателю отдать предпочтение, какую количественную характеристику использовать для описания качества работы электронной системы медицинского назначения.

Известно, что часть специалистов качество работы электронной системы медицинского назначения, как и любой технической системы, связывают с её надёжностью. Надёжность электронных технических систем медицинского назначения можно описать с помощью общепринятого показателя надёжности [1], такого как вероятность работоспособного состояния  $R$ , учитывающего вероятности работоспособного состояния устройств, входящих в состав системы (обозначим эти вероятности через  $r(j)$ , где  $j$  означает конкретное техническое устройство). В сложных электронных системах, в том числе и медицинского назначения, обычно предусматривают избыточность, которая используется для резервирования важнейших функций системы. Это в конечном итоге повышает надёжность системы.

В тоже время, технические устройства системы медицинского назначения с точки зрения формирования, восприятия и/или правильной обработки сигналов, используемых для диагностирования пациента и/или своевременной подачи воздействий, используемых для выполнения лечебных процедур, не являются идеальными. Например датчик, используемый для получения информации о состоянии пациента, находясь в технически исправном состоянии, по тем или иным причинам может не отреагировать на изменение состояния пациента и, следовательно, не будет сформирован сигнал, который должен быть обработан микропроцессорным контрольным устройством. Или второй пример, датчики своевременно отреагировали на изменение состояния пациента и сформировали сигналы для последующей обработки, однако микропроцессорное контрольное устройство неправильно обработало поступающие от датчиков сигналы, например, из-за помехи по цепи питания или электромагнитного импульса промышленной установки, находящейся вблизи лечебного учреждения. Можно привести и другие примеры. Поэтому для описания функционирования технических систем медицинского назначения, кроме уровня надёжности, ещё в большей степени важен такой показатель как вероятность выполнения системой задачи по обеспечению для пациента (больного) диагностических и необходимых лечебных процедур. Вероятность выполнения системой медицинского назначения требуемой задачи обозначим через  $P_{\text{вып}}$ . Эта вероятность для электронной системы медицинского назначения, как будет показано, связана с вероятностью работоспособного состояния этой системы  $R$  условием  $P_{\text{вып}} < R$ .

В качестве более полного обобщённого критерия качества работы технической системы медицинского назначения предлагается использовать показатель эффективности её функционирования. Этот показатель принимает во внимание как надёжность системы, так и вероятности невыполнения некоторыми устройствами, находящимися в технически исправном состоянии, своих функций. Обозначим предлагаемый показатель через  $E$ . В соответствии с [2] для этого показателя справедливо выражение

$$E = \sum_{i=1}^N h_i(t) \Phi_i, \quad (1)$$

где  $h_i(t)$  – вероятность того, что электронная система медицинского назначения в момент времени  $t$  находится в  $i$ -м техническом состоянии;  $\Phi_i$  – коэффициент эффективности  $i$ -го технического состояния системы,  $N$  – число возможных технических состояний.

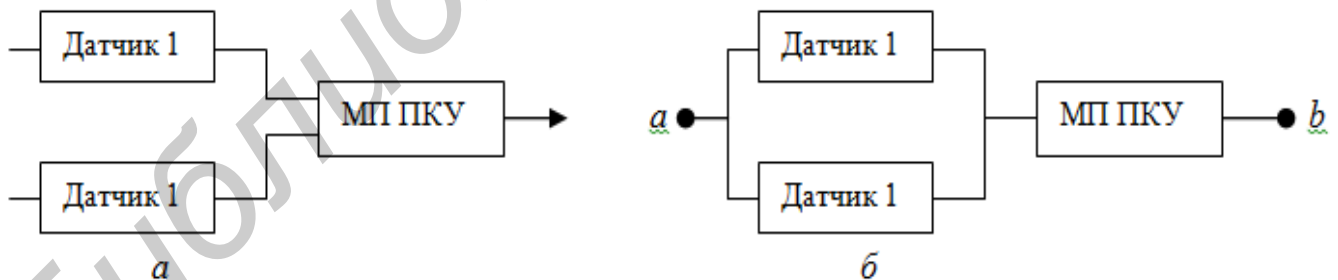
Переход системы медицинского назначения из одного технического состояния в другое обусловлен потерей работоспособности того или иного устройства системы. В качестве коэффициентов эффективности  $\Phi_i$  логично рассматривать вероятность обеспечения системой диагностических или лечебных процедур в случае нахождения её в  $i$ -м техническом состоянии. В этом случае показатель  $E$  будет представлять собой полную вероятность выполнения требуемой задачи с помощью рассматриваемой системы медицинского назначения.

Используя результаты работы [3], предлагаемый подход (метод) проиллюстрирован примером анализа простейшей системы медицинского назначения, для которой схема и модель соответствуют рисунку 1. Условием выполнения задачи рассматриваемой системы будем считать одновременную работоспособность хотя бы одного из датчиков и работоспособность микропроцессорного приёмно-контрольного устройства (МППКУ).

Для определения вероятности  $i$ -го состояния системы использована формула

$$h_i = s(\text{Д1}) \cdot s(\text{Д2}) \cdot s(\text{МП}), \quad (2)$$

где  $s(j)$  – вероятность, характеризующая техническое состояние (работоспособное или неработоспособное)  $j$ -го устройства системы;  $j \rightarrow \text{Д1}$  (датчик 1),  $\text{Д2}$  (датчик 2),  $\text{МП}$  (микропроцессорное приёмно-контрольное устройство).



**Рисунок 1** – Схемы, используемые для анализа электронной системы медицинского назначения:  $a$  – структурная схема системы;  $b$  – модель (схема) соединения устройств системы с точки зрения работоспособности и с точки зрения обеспечения системой диагностических или лечебных процедур

В формулу (2) в качестве значений вероятностей  $s(j)$  необходимо подставить вероятность работоспособного состояния  $r(j)$ , если  $j$ -е устройство находится в работоспособном состоянии и вероятность  $[1 - r(j)]$ , если – в неработоспособном состоянии.

Согласно модели рисунка 1, б, формула расчёта коэффициентов  $\Phi_i$  получена в виде

$$\Phi_i = [1 - (1 - p_{\text{Д1}})(1 - p_{\text{Д2}})] p_{\text{МП}}. \quad (3)$$

В формуле (3) буквой  $p$  обозначены вероятности формирования диагностических сигналов и/или правильной обработки сигналов, поступающих от датчиков, а по нижним индексам интуитивно понятно, к какому устройству системы относится соответствующая вероятность. При расчёте  $\Phi_i$  по формуле (3) вероятность  $p$  необходимо принять равной нулю, если устройство находится в неработоспособном состоянии.

Вероятности технических состояний системы  $h_i$  и коэффициенты эффективности, соответствующие этим состояниям, представлены в таблице 1 в предположении, что  $r(Д1) = r(Д2) = 0,9$ ;  $r(МП) = 0,95$ . Для вероятностей формирования диагностических сигналов и и/или их правильной обработки приняты следующие значения:  $p_{Д1} = p_{Д2} = 0,9$ ;  $p_{МП} = 0,99$ .

Таблица 1 – Возможные технические состояния системы медицинского назначения

Номер технического состояния системы, $i$	Описание состояния работоспособности устройств системы			Вероятность технического состояния системы в целом $h_i(t)$	Коэффициент эффективности технического состояния $\Phi_i$	Произведение $h_i(t)\Phi_i$
	датчик 1	датчик 2	МПКУ			
1	1	1	1	0,7695	0,9801	0,7542
2	1	1	0	0,0405	0	0
3	1	0	1	0,0855	0,891	0,0762
4	1	0	0	0,0045	0	0
5	0	1	1	0,0855	0,891	0,0762
6	0	1	0	0,0045	0	0
7	0	0	1	0,0095	0	0
8	0	0	0	0,0005	0	0

*Примечание.* Принятые обозначения для технических состояний устройств системы: 1 – исправное (работоспособное) состояние; 0 – неисправное (неработоспособное) состояние.

С учётом схемы (см. рис. 1, б) получено:  $R = 0,9405$ . Пользуясь таблицей 1, по формуле (1) можно найти  $E = P_{\text{вып}} = 0,9066$ . Из расчётов видно, что  $P_{\text{вып}} < R$ .

Используя полученные данные, легко установить, что вероятность невыполнения системой задачи ( $1 - P_{\text{вып}}$ ) на 36 % выше, нежели вероятность неработоспособного состояния системы ( $1 - R$ ). Поэтому при анализе качества функционирования сложных систем, в том числе и систем медицинского назначения, следует учитывать возможность иногда невыполнения своих функций устройствами, находящимися в технически исправном состоянии.

Отметим, что при внедрении предлагаемого метода выбора и оценки показателя эффективности функционирования систем медицинского назначения, скорее всего, придётся столкнуться с трудностями получения вероятностей формирования, восприятия и/или правильной обработки сигналов, используемых для диагностирования пациента и/или своевременной подачи воздействий, используемых для выполнения лечебных процедур в случаях, когда устройства системы находятся в технически исправном состоянии.

#### Литература

1. **Боровиков, С. М.** Теоретические основы конструирования, технологии и надёжности : учеб. для инж.-техн. спец. вузов / С. М. Боровиков. – Минск : Дизайн ПРО, 1998. – 336 с.
2. **Надёжность** технических систем : справочник / Ю. К. Беляев [и др.]; под ред. И. А. Ушакова. – М. : Радио и связь, 1985. – 608 с.
3. **Боровиков, С.М.** Оценка эффективности функционирования электронных систем обеспечения информационной безопасности / Международная научно-техническая конференция, приуроченная к 50-летию МРТИ–БГУИР (Минск, 18–19 марта 2014 года) : материалы конф. В 2 ч. Ч. 1. – Минск : БГУИР, 2014. – С. 309–391.