

1. Применение дисперсионного критерия при реализации эффективного кодирования данных позволяет ускорить процесс их передачи, обработки и анализа, уменьшить объем памяти для хранения данных и время обращения к памяти.

2. В сравнении с известными дискретными преобразованиями (ДПФ, ДКП, ДПХ) объем вычислений уменьшается без ухудшения качества восстанавливаемого изображения.

**Заключение.**

Полученные на этапе кодирования такие статистические показатели как минимальное, максимальное и среднее значения, ковариационная и корреляционная матрицы, стандартное отклонение и дисперсия, можно использовать на следующих этапах обработки (коррекция и улучшение снимков, распознавание и интерпретация данных дистанционного зондирования и др.). В результате упрощается анализ изображения, дешифрация его основных характеристик и информационных признаков.

#### *Литература*

1. A.Mitsiukhin, A. Karcheusi. Filtration of Videographic Data by Means of Hartley Discrete Transform. Proceedings 53. IWK «Prospects in Mechanical Engineering», TU, DE, 2008. с. 365-366.
2. Гонсалес, Р. Цифровая обработка изображений / Гонсалес Р. Вудс Р. М., 2005.

## **СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ НАДЕЖНОСТИ ОПЕРАТОРОВ ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВ НА ОСНОВЕ ПАРАМЕТРОВ КАРДИОРИТМА**

*А.Г. Давыдовский*

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
П. Бровки, 6, Минск, 220013*

Предложены математические модели для системного анализа и прогнозирования функциональной надежности операторов систем управления опасными производственными объектами на основе параметров кардиоритма. С помощью предложенных математических моделей может быть осуществлено превентивное управление риском снижения функциональной и профессиональной надежности оперативного персонала систем управления опасными производствами в условиях стресса, информационной неопределенности, переутомления и нарушения адаптационных механизмов в проблемных ситуациях профессиональной деятельности.

#### **Введение**

Деятельность оперативного персонала систем управления опасными производственными объектами (ОПО) характеризуется значительной информационной насыщенностью и неопределенностью, дефицитом времени для принятия решений, высокой ответственностью и риском [1]. Особую роль в обеспечении безопасности ОПО играет «человеческий фактор», обусловленный профессиональной надежностью оперативного персонала, которая зависит от функциональной надежности, детерминированной состоянием важнейших физиологических систем организма человека. Причем параметры variability сердечного ритма (ВСР) является высокоинформативными и сравнительно доступными для оценки и прогнозирования функциональной надежности операторов информационных систем управления ОПО [2].

Цель работы – обоснование диагностических и прогностических кардиокритериев, основанных на параметрах ВСР, а также математических моделей для системного анализа и прогнозирования функциональной надежности операторов систем управления ОПО.

Кардиокритерии функциональной надежности операторов опасных производств.

Мониторинг и прогнозирование работоспособности и функциональной надежности операторов (ФНО) можно эффективно осуществить с помощью методов анализа временной

и частотной области, а также интегральных характеристик ВСР на основе сложного статистического исследования R-R-интервалов с последующим расчетом и сравнением количественных показателей кардиоритма [3–5]. Системный анализ ВСР позволяет количественно охарактеризовать активность различных отделов вегетативной нервной системы (ВНС) через их влияние на функцию синусового узла сердца, проявляющееся в колебаниях длительности RR-интервалов (NN) сердечных сокращений в структуре т.н. «желудочкового QRST-комплекса» электрокардиограммы (ЭКГ), фрагмент которой представлен на рисунке 1.

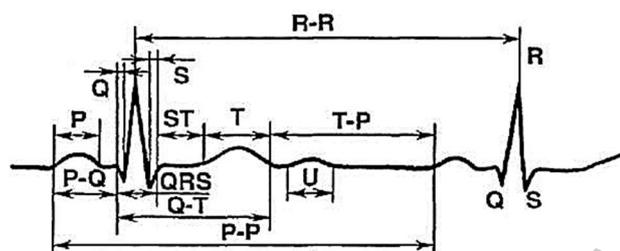


Рисунок 1 – Структура «желудочкового QRST-комплекса» нормальной электрокардиограммы человека [3, 5].

При статистическом анализе QRST-комплекса ЭКГ целесообразно оценить два типа величин – длительности RR-интервалов и разности длительности соседних интервалов [5, 6].

В таблице 1 представлены важнейшие характеристики ВСР [5, 6].

Таблица 1 – Характеристики variability кардиоритма [5, 6].

№ п/п	Обозначение и единицы измерения	Функциональная характеристика	Диапазон нормы и единицы измерения
1	SDNN (мс)	интегральный показатель стандартного отклонения величин интервалов NN за весь рассматриваемый период	141±38
2	SDNN index (мс)	среднее значение стандартных отклонений по всем 5-минутным участкам, на которые поделен период наблюдения	91±29
3	SDANN (мс)	стандартное отклонение средних значений интервалов NN, полученных на всех 5-минутных участках, на которые поделен период регистрации	127±35
4	SDANN index (мс)	среднее значение стандартных отклонений средних значений интервалов NN по всем 5-минутным участкам, на которые поделен период регистрации	70 ±27
5	NN50	количество пар последовательных интервалов NN, различающихся более чем на 50 мс, за весь период записи	150–250
6	100%-NN50 (%)	процент NN50 от общего количества последовательных пар интервалов NN	93±98
7	RMSSD (мс)	квадратный корень из суммы квадратов разности величин последовательных пар интервалов NN	33±17
8	TI	триангулярный индекс, позволяющий оценить форму и параметры гистограммы распределения интервалов NN за исследуемый промежуток времени	TI 37±15

Показатели ВСП являются достоверными при наличии не менее 90% нормальных (синусовых) RR-интервалов. Кроме того, при вариационной пульсометрии эффективны геометрические методы, основанные на исследовании вариационной кривой распределения кардиоинтервалов. Для этого целесообразно использовать такие критерии как мода (Mo), амплитуда моды (AMo), вариационный размах интервала (BP) [7].

Математическое моделирование функциональной надежности операторов ОПО.

Очевидно, что каждую из характеристик ВСП ( $F_i$ ) можно охарактеризовать как максимально ( $F_{(max)i}$ ), так минимально ( $F_{(min)i}$ ) допустимыми значениями, а также диапазоном нормы:

$$\eta = \frac{F_{\text{факт}} - F_{\min(i)}}{F_{\max(i)} - F_{\min(i)}}, \quad (1)$$

Очевидно, что выход за пределы диапазона нормы любого  $i$ -го показателя неизбежно приводит к изменению комплексной надежности оператора. В этой связи предложена гипотеза «трех диапазонов» для критерия  $\eta$ :

$$\eta = \begin{cases} \eta > 1, & \text{если } F_{\phi(i)} > F_{\max(i)}; \\ 0,001 \leq \eta \leq 1, & \text{если } F_{\min(i)} < F_{\phi(i)} < F_{\max(i)}; \\ \eta < 0,001, & \text{если } F_{\phi(i)} < F_{\min(i)}. \end{cases} \quad (2)$$

На основе анализа трех диапазонов критерия  $\eta$  и численного моделирования разработана дискретная математическая модель, описывающая зависимость функциональной надежности оператора (ФНО) системы управления ОПО от критерия  $\eta$  и представленная уравнением квадратной функции:

$$\text{ФНО} = \eta^2 - 1,001\eta + 0,001 \quad (3)$$

На рисунке 2 представлена зависимость ФНО от критерия  $\eta$  с учетом существования трех его диапазонов, а также результаты аппроксимации этой зависимости полиномиальной функцией 6-й степени:

$$\text{ФНО} = -0,0106\eta^6 + 0,0342\eta^5 - 0,0289\eta^4 - 0,005\eta^3 + 1,0115\eta^2 - 1,0013\eta \quad (R^2=1) \quad (4)$$

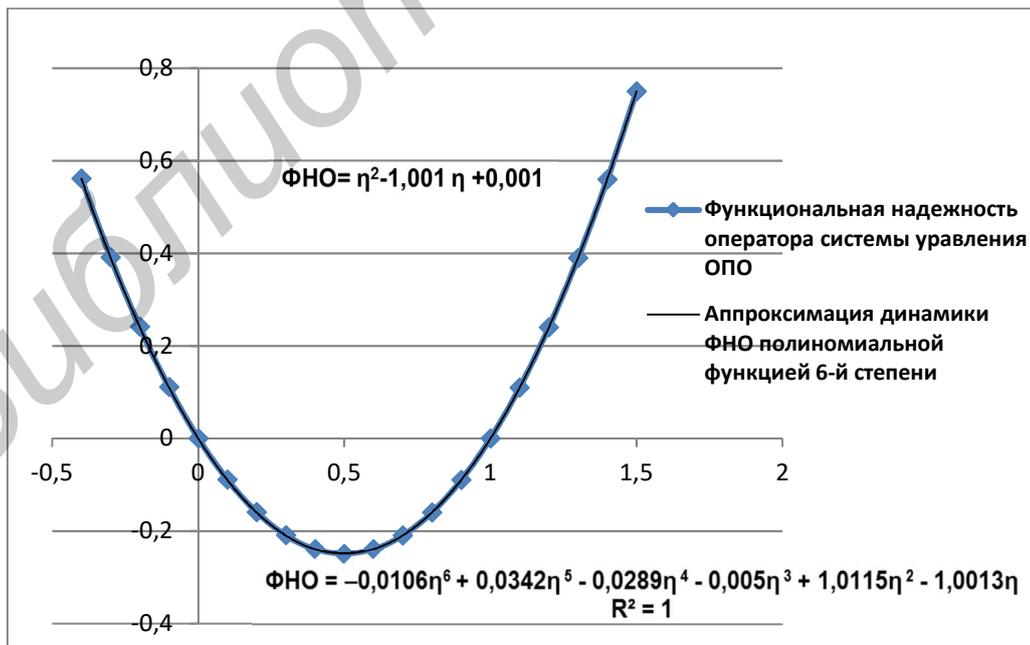


Рисунок 2 – Влияние критерия  $\eta$  на вероятность эффективного обеспечения функциональной надежности ( $P$ ) оператора системы управления ОПО

Таким образом, критерий  $\eta_i$  можно рассматривать в качестве характеристики, детерминирующей вероятность эффективного поддержания высокого уровня ФНО в системе управления ОПО. Другим важнейшим показателем ФНО является «цена деятельности оператора» (ЦДО), которая обратно пропорциональна количеству параметров физиологических, психофизиологических и психологических показателей, находящихся в пределах нормы ( $n$ ) и прямо пропорциональна числу показателей, находящихся вне диапазона нормы, по отношению ко всем исследуемым показателям ( $N$ ). Предложена математическая модель, описывающая динамику показателя ЦДО ( $W_{\text{ЦДО}}$ ) и представленная обыкновенным дифференциальным уравнением:

$$\frac{dW_{\text{ЦДО}}}{dn} = -\frac{N-n}{N}W_{\text{ЦДО}}, \quad (5)$$

где  $\frac{N-n}{N} = \Delta$  – интегральный критерий, сопрягающий величины  $N$  и  $n$ , а также детерминирующий динамику ЦДО. После интегрирования (5) получаем дискретную модель показателя ЦДО:

$$W_{\text{ЦДО}} = \frac{W_{\text{max}}}{\exp\left(\frac{N-n}{2n} + \frac{n}{2N} - 1\right)}, \quad (6)$$

где  $W_{\text{max}}$  – максимально возможный уровень ЦДО.

Для оценки уровня риска снижения ФНО предложены две математические модели. Первая из них основана на анализе зависимости риска снижения ФНО от вероятности ( $P$ ) и интегральной оценки ЦДО (price index of activities – PIA), которая может быть описана дифференциальным уравнением:

$$\frac{dRISK}{d(1-PIA)} = \frac{P}{(1-PIA)}RISK, \quad (7)$$

где  $PIA = \omega_i * PIA_i = \frac{N_i - n_i}{N_i}$ , где  $N_i$  – общее количество всех исследуемых показателей, характеризующих ФНО,  $n_i$  – количество показателей, оказывающих только позитивное влияние на ФНО, а  $\omega_i$  – удельно-весовой коэффициент по  $PIA_i$  для каждого  $i$ -го показателя. Причем  $PIA \leq 1$ . Интегрирование (7) позволяет получить уравнение риска как функции вероятности снижения ФНО и интегрального показателя ЦДО:

$$RISK = \exp(P \ln(1 - PIA) + \int_0^{\infty} (1 - PIA) dP). \quad (8)$$

Вторая модель позволяет оценить уровень риска как произведение вероятности  $P$  на величину интегральной оценки ЦДО (PIA):

$$RISK = P * PIA. \quad (9)$$

На рисунке 3 показана кривая, описывающая влияние критерия  $\Delta = (N-n)/N$  на динамику показателя ЦДО и ее аппроксимация полиномиальной функцией 6-й степени  $\text{ЦДО} = -3E-06\Delta^5 + 0,0002\Delta^4 - 0,0047\Delta^3 + 0,043\Delta^2 - 0,0579\Delta$  ( $R^2 = 0,9997$ ). (10).

Перспективным для системной оценки ФНО на основе параметров ВСР является спектральный анализ, позволяющий количественно охарактеризовать частотные компоненты кардиоритма и графически представить их соотношения с помощью параметрических (авторегрессионный анализ) и непараметрических (быстрое преобразование Фурье – БПФ) методов. В частности, метод БПФ основан на представлении о том, что огибающая ритмограммы является разновидностью волновой функции [8]. Следовательно, существует возможность системного анализа и прогнозирования ФНО на основе параметров кардиоритма с позиций представлений о волновой динамике не только непосредственно кардиоритма, но и сопряженной с ним надежности оператора в условиях профессиональной деятельности в системе управления ОПО.

Необходимо отметить, что наибольший интерес представляет использование анализа ВСР для превентивного управления рисками развития премоурбидных состояний,

вызванных перенапряжением регуляторных и ведущих функциональных систем, состояния «срыва адаптации», обусловленного перенапряжением ВНС, истощением пластических и энергетических ресурсов, переутомлением у операторов систем управления ОПО.

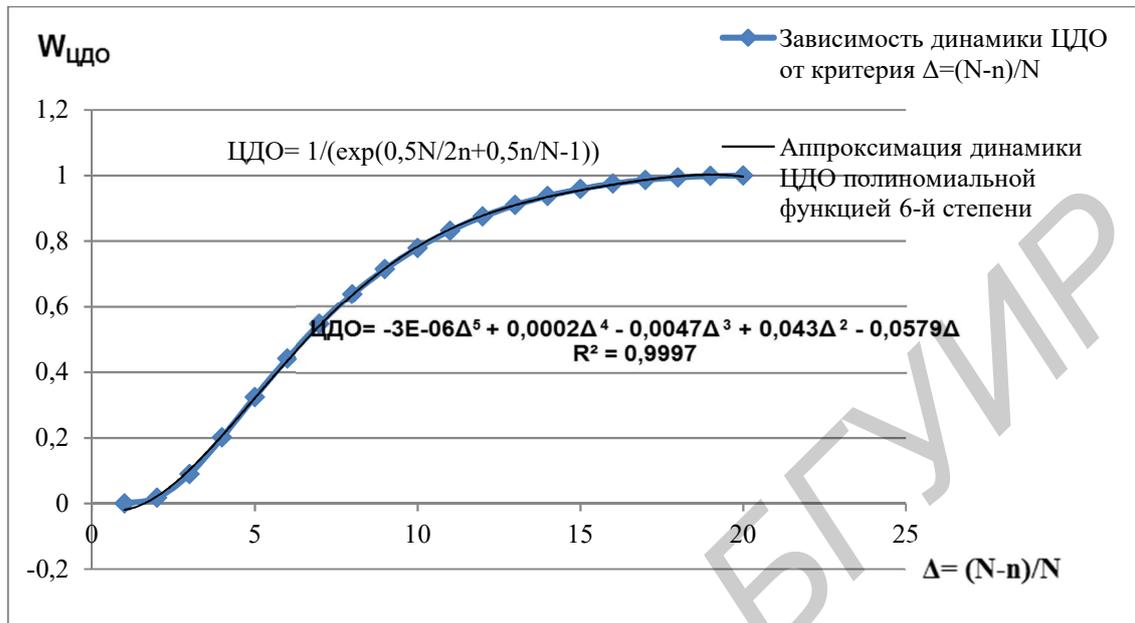


Рисунок 3 – Влияние критерия  $\Delta = (N-n)/N$  на динамику показателя «цены деятельности оператора»

#### Заключение.

1. Предложены две математические модели для системного анализа и прогнозирования функциональной надежности операторов систем управления ОПО на основе критериев кардиоритма в условиях физиологической нормы, а также при донологических состояниях, обусловленных снижением адаптационных возможностей организма, нарастанием признаков информационного стресса, утомления и переутомления.

2. Показана возможность диагностики и прогнозирования функциональной надежности операторов на основе системного анализа параметров кардиоритма с позиций представлений о нелинейном (волновом) характере его динамики.

3. С помощью предложенных критериев кардиоритма и математических моделей может быть осуществлено превентивное управление риском снижения функциональной надежности оперативного персонала систем управления ОПО в условиях стресса, информационной неопределенности, нарушения адаптационных механизмов при возникновении инцидентов и аварийных ситуаций.

#### Литература

1. Острейковский В.А. Теория надежности: Учеб. для вузов.–М.: Высш. шк., 2003.– 463с.
2. Голухова Е.З., Алиева А.М., Какучая Т.Т. и др. // Креативная кардиология. – 2009. – №1. – С. 76–82.
3. Kawasaki T., Azuma A., Asada S. et al. // Circ. J. - 2003.- №7.- P.601-604.
4. Машин, В.А., Машина М.Н. // Вопросы психологии. – 2001, № 1. – С.72-81.
5. Bigger J.T., Fleiss J. L., Steinman R.C. et al. // Circulation. - 1995. - Vol. 7. - P. 1936-1943.
6. Heart rate variability. Standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of pacing and electrophysiology // Eur. Heart J. - 1996. - Vol. 17. - P. 354-381.
7. Елисеева И.И., Юзбашев М.М. Общая теория статистики. – М.:Финансы и статистика, 2005. – 657 с.
8. Синютин С.А., Захаревич В.Г. // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012, Том 134, выпуск №9. – С. 61–67.