

УДК 004.738.2;004.052.3

**Проведение сравнительного анализа по методу "Суммарной эффективности"**

Теимураз Шарашенидзе

Государственный Технический Университет

**Аннотация:**

*В статье рассматриваются вопросы проектирования технических систем, когда при известной методике перед разработчиком стоит задача - какой путь выбрать для получения лучших показателей. Предлагается решение задачи путём предлагаемой методики "Суммарная эффективность".*

**Ключевые слова:** Надежность, вычислительная сеть, методы восстановления, модели.

**Цель работы**

Во всех сферах (научной, хозяйственной и т.д.) и областях (медицина, информатика, агрономия и тд) деятельности человека, необходима оценка итогов этой деятельности. При этом ставится задача, каким методом достигается максимально желаемое значение и как при этом сравнить эффективность применяемых методов. Известны многочисленные публикации последних лет по изучению этой проблемы. Цель работы - предложить методику "Суммарной эффективности" для проведения сравнительного анализа эффективности применяемых методов.

**Постановка задачи**

В научных публикациях последних лет по сравнению и анализу применяемых разных методов, результаты исследований в основном приводятся в виде графиков или таблиц, где автором(ами) делаются выводы какой метод при каких пределах изменения аргумента имеет лучший показатель.

Так например, в работе [1] автором при решении научной задачи проведения сравнительного анализа некоторых методов случайного поиска и оптимизации, результаты сопоставления методов поиска даны в виде графика рис 1.

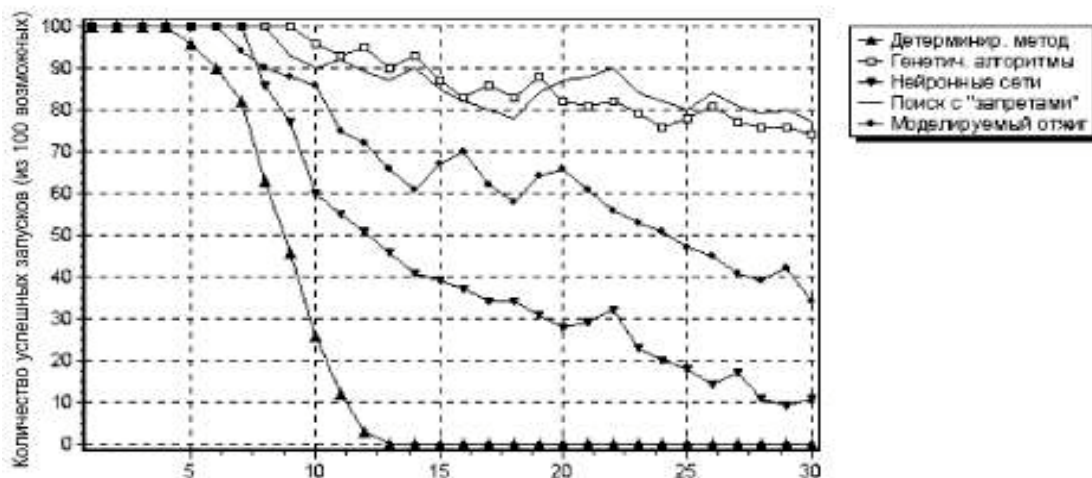


рис 1

По данному графику можно определить три метода имеющие самые худшие результаты, но невозможно определить какой метод из двух адаптивных (генетические алгоритмы) или стохастический (поиск запретами) эффективнее. Конечно можно выявить промежутки значений аргумента в пределах которой один метод имеет преимущества над вторым или наоборот.

В полученных результатах других работ [2-3] можно наблюдать аналогичное рис 2-3. В этом примере, рис 2, тоже неясно при получении авторами результатов по аппроксимации "деформированного" (негауссовского) опорного пика гауссовской функцией какой способ эффективнее.

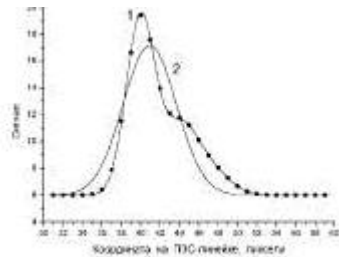


Рис.2. Пример аппроксимации "деформированного" (негауссовского) опорного пика гауссовской функцией : Кривая 1 - зависимость освещенности ПЗС-линейки от координаты, чёрные точки - значения сигнала, получаемого с ПЗС линейки, кривая 2 - гауссовская аппроксимационная кривая.

В примере рис. 3 авторами [3], при решении научной задачи, проводится сравнение эффективности некоторых параметрических методов спектрального оценивания применительно к задаче анализа сигналов зондирования ионосферы с использованием модельных расчётов и реальных рядов данных проводится оценка спектральной плотности при применении разных методов. На основании только этих графиков в этом примере также трудно отдать предпочтение какому то методу.

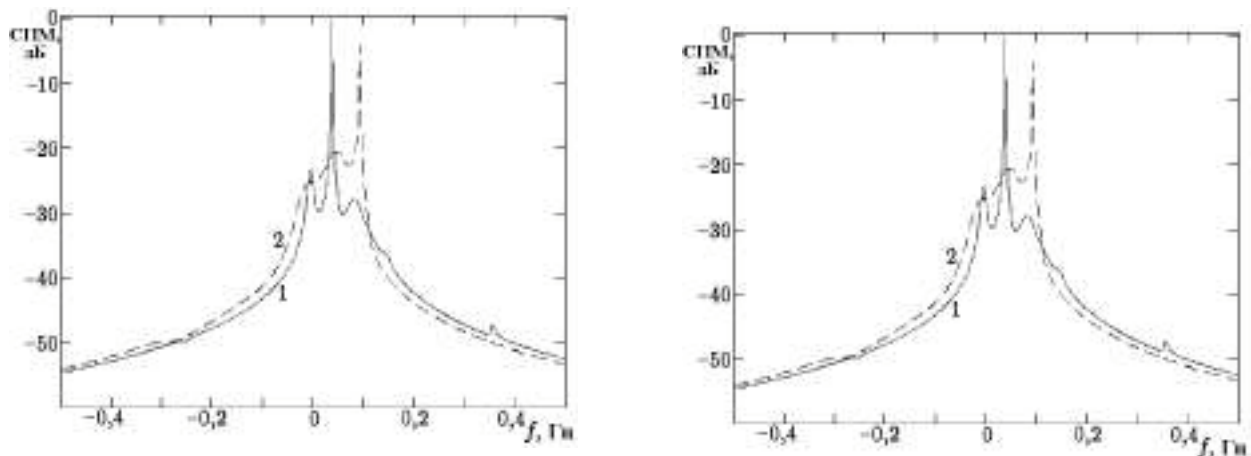


рис 3. Оценка спектральной плотности

- а) Кривая 1 — оценка с помощью метода Куликова 2--метод Прони 3--метод Бартлетта  
 б) Кривая 1 — оценка с помощью метода Куликова 2 — по автокорреляционной последовательности

**Суть метода решения задачи**

В последние годы все более усложняются технические (и не только технические) системы и решаемые ими задачи. Для каждого конкретного случая с учетом поставленных для решения задач разработчиками систем определяются методы и пути создания системы. Но до и после создания системы разработчику приходится доказывать правильность выбора методов и путей их реализации. Наиболее часто это приходится делать и при предложении новых а также известных методов при применении их в новых областях. Для решения задачи введем понятие "Суммарной эффективности".

Рассмотрим для примера техническую систему Ψ, надежность которой определяется Sn компонентами. В надежной схеме эти компоненты определяют надежность системы по j параметрам (аргументам). Ψ систему представим в виде Δ матрицы (1), где элементами строки являются значения надежностей по Sn компонентам(аргументам), а строками методы достижения надежности.

$$\Delta = \begin{vmatrix} IS_{00}, IS_{01}, IS_{02}, \dots, IS_{0m} \\ IIS_{00}, IIS_{01}, IIS_{02}, \dots, IIS_{0m} \\ \dots \\ nS_{00}, nS_{01}, nS_{02}, \dots, nS_{0m} \end{vmatrix} \quad (1)$$

Определим трансформированную строку матрицы

$$X_t = |S_{00}, S_{01}, S_{02}, S_{03}, \dots, S_{0m}|^T \quad (2)$$

Соответственно строке матрицы функции реализации методов равны

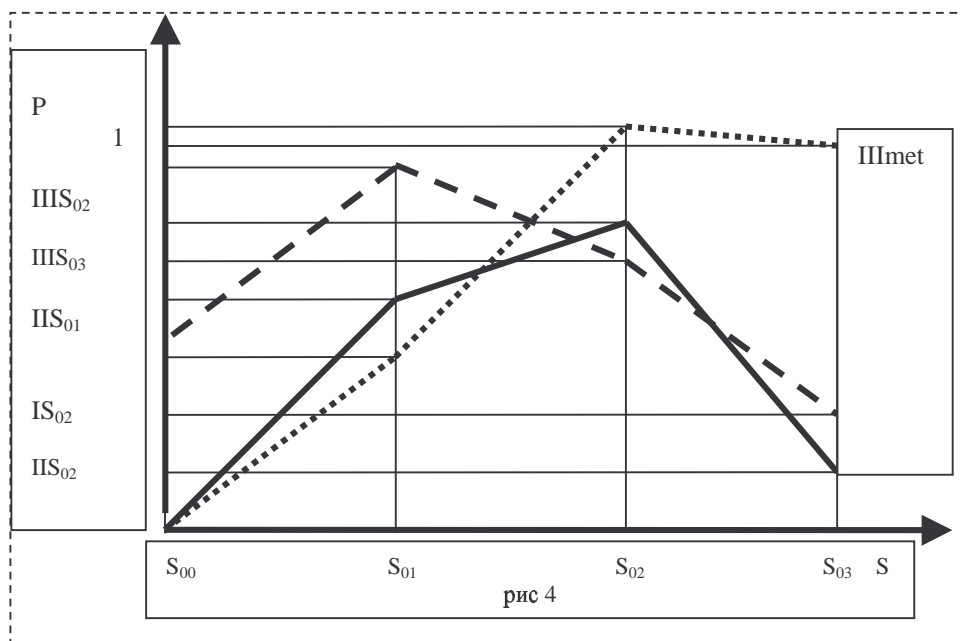
$$I_{met} = |IS_{00}, IS_{01}, IS_{02}, IS_{03}, \dots, IS_{0m}|^T$$

$$II_{met} = |IIS_{00}, IIS_{01}, IIS_{02}, IIS_{03}, \dots, IIS_{0m}|^T$$

$$\dots$$

$$n_{met} = |nS_{00}, nS_{01}, nS_{02}, nS_{03}, \dots, nS_{0m}|^T$$

Для наглядности рассмотрим графическую интерпретацию рис 4 функции nmet, когда известный метод реализуется тремя путями (I met- III met) при аргументах S00 – S03 (к такому виду с помощью линейной аппроксимации можно привести и кривые рис 2-3).



Ясно, что максимальное значение которое может принять функция  $met(S)$  равно единице. Соответственно максимальная площадь которая может занять функция  $met(S)$  равна  $(S_{03}-S_{00})$ . Определим "Суммарную эффективность" SEF, как процент отношения реально занимаемой площади  $Remet(S)$  функции  $met(S)$  к максимально возможной.

$$SEF=Remet(S)/ (S_{03} - S_{00})=100\% \quad (3)$$

"Суммарная Эффективность" SEF рассчитывается для каждой функции  $met(S)$  и приоритет присуждается высшей.

### Практическая полезность

Для примера рассмотрим функционирование временно-избыточной вычислительной сети.

В технических системах известны 5 видов [4] избыточностей: по нагрузке, аппаратная, функциональная, информационная и временная. Часто системному проектировщику удается рассчитать показатели надежности с учетом вида применяемой избыточности [5] при применении конкретного пути реализации данной избыточности. Для определения метода и путей ее достижения, который даст лучший результат по надежности, иногда простое арифметическое сравнение результатов не дает. Причина кроется в том, что для применяемого метода, надежность системы для конкретного системного параметра может быть лучшей а для других параметров худшей.

Одним из принципов проектирования сети является то, что сеть должна быть создана такими аппаратурно-программными средствами, чтобы максимально была решена проблема отказов. Универсального теста для обнаружения-нейтрализации известных видов отказов не существует. Поэтому, на конкретных сетевых уровнях, некоторые отказы не могут быть обнаружены средствами контроля, используемыми на этих уровнях. Наверно это и не нужно, потому что обнаружение и нейтрализация некоторых видов отказов лучше на высших уровнях сети. Такой вид отказа для конкретного уровня назовём "неисправляемым". Например, для канального и транспортного уровня к "неисправляемым" отказам относятся неправильное указание длины пакета, адресация приемника бывшего в нерабочем состоянии, неправильная процедура выбора, нарушения режима секретности. Для сеансного уровня таким видом отказа является запись неадресуемого запроса, неприбытие ответа на запрос или нарушение процедуры диалога, неимение собственных ресурсов. Для прикладного уровня такие отказы могут обнаружиться при проведении таких специфических действий, как проверка на допустимое значение данных, проверка на режимность секретности.

Допустим, что каждый уровень сети при функционировании характеризуется двумя моментами в отношении к отказам: первый – сеть, с присущими на уровне аппаратно-программными средствами обнаруживает и, в рамках возможности, нейтрализует наиболее характеризующие данный уровень отказы, которые назовём "исправляемыми". Второй – вместе с "исправляемым" отказом ("и") на уровне может произойти и "неисправляемый" ("ни") отказ, который может "путешествовать" с низшего уровня сети до высшего до его обнаружения и последующей нейтрализации. Примером такого вида отказа является распространение с низшего уровня на высший уровень такой информации, которая своим строением, полнотой как бы непретенциозна, но на высшем уровне эта информация будет отклонена, например, требованием к защите секретности.

При этом не имеет значение сделано это сознательно или нет. Главное конечная цель – задача взаимообмена информации – не произошла, то есть произошел отказ, хотя аппаратура работала безотказно.

Для создания модели принято, что  $\alpha$  и  $\beta$  коэффициенты интенсивности “и” и “ни” вида отказов и их характеризует экспоненциальное распределение.  $t_x$  и  $t_w$  – значения времени, необходимые для обнаружения “и” и “ни” вида отказов. Соответственно принято, что существует “недостовверный” контроль (“нк”), который обнаружит только “и” виды отказа и “достовверный” контроль (“д”), который обнаружит все виды отказа. После обнаружения отказа происходит восстановление – ремонт системы. Принимаем, что  $K(t), W(t), Q(t)$  являются функциями времени распределения недостовверного контроля обнаруживающий отказ с коэффициентом интенсивности отказа  $\alpha$ , достовверного контроля обнаруживающий отказ с коэффициентом интенсивности отказа  $\beta$  и ремонта.

“Достовверный” контроль выполняется на достаточном для решения задачи последнем уровне системы. Принято, что функции распределения  $K(t)$ ,  $\Omega(t)$  и  $Q(t)$  и вероятности происхождения “и” и “ни” отказов имеют одинаковые значения на всех уровнях сети и, что при ремонте, происходит нейтрализация “и” и “ни” отказов. Принято, что после обнаружения отказа за время  $t_y$  происходит восстановление (ремонт) системы.  $t_j$  значение времени, в течении которого на  $j$ -том уровне, в случае отсутствия отказа в сети, происходит выполнение задачи. Тут  $j \leq n$ , где  $n=1 \div 7$ . В общем, для выполнения задачи в целом в сети необходимо  $Y = \sum_{j=1}^n t_j$  время. Если рассмотрим вычислительную сеть как

$Q$ -временную избыточную систему, то величина выделенного времени равна  $T=Y+Q$  :

Из известной [5] упрощенной модели передачи информации в вычислительных сетях примем, что отказ который обнаруживается на данном уровне характеризуется коэффициентом интенсивности отказа  $\alpha$ , необнаруживаемый отказ - коэффициентом интенсивности отказа  $\beta$ , Примем, что  $\lambda=\alpha+\beta$ . После обнаружения отказа в сети происходит «восстановление» (тут подразумеваются не только такие физические действия как замена модема, восстановление линии, замена в узлах электронных компонентов, но и повторная программная пересылка пакетов и так далее). Принимаем, что восстановление происходит за время  $t_u$ . Соответственно временем обнаружения отказа будет  $t_k$ ,

При обычном вероятностном рассуждении, используя интеграл Лаплас-Стилтестта, получаем следующее интегральное уравнение (5):

$$\begin{aligned} \Phi_{ji}(t) = & \int_0^T e^{\lambda T} d\Phi(u) \Phi_{j2}(T-u) + \int_0^T (1-e^{-\alpha T}) e^{-\beta \cdot t} d\Phi(u) \int_0^{E-U} dK(\tau) \\ & \int_0^{T-U-\tau} dQ(\zeta) \Phi_{Jo}(T-u-\tau-\zeta) + \int_0^T (1-e^{-\beta \cdot T}) e^{-\alpha \cdot t} d\Phi(u) \int_0^{T-U} dK(\tau) \cdot \\ \Psi_{j,2}(T-u-\tau-\zeta) + & \int_0^T (1-e^{-\alpha T}) e^{-\alpha \cdot t} (1-e^{-\beta \cdot t}) d\Phi(u) \int_0^{T-U} dK(\tau) \\ & \int_0^{T-U-\tau} dQ(\zeta) \Phi_{Jo}(T-u-\tau-\zeta) \end{aligned} \quad (4)$$

где

$$\Psi_{ji}(t) = \int_0^T e^{-\lambda t} d\Phi(u) \int_0^{t-u} dK(\tau) \Psi_{j+1}(u) + \int_0^T e^{-\beta t} (1 - e^{-\alpha T}) d\Phi(u) \cdot$$

$$\int_0^{T-u} dK(\tau) \int_0^{T-u-\tau} dQ(\xi) \Phi_{Jo}(T-u-\tau-\xi) + \int_0^T e^{-\alpha T} (1 - e^{-\beta T}) d\Phi(u) \cdot$$

$$\int_0^{T-u} dK(\tau) \Psi_{j+1}(T-u-\tau) + \int_0^T (1 - e^{-\alpha T}) (1 - e^{-\beta T}) d\Phi(u) \int_0^{T-u} dK(\tau) \cdot$$

$$\int_0^{T-u-\tau} dQ(\xi) \Phi_{Jo}(t-u-\tau-\xi)$$

где  $\Phi_0(t)$  – условная вероятность того, что на j,0 сетевом уровне система, бывшая в рабочем состоянии, выполняющая на j уровне информационный взаимодействие, решит целую задачу за  $t \leq T$  время.

$\Phi_{ji}(t)$  - условная вероятность того, что на j,0 сетевом уровне система, бывшая в рабочем состоянии, когда на этом уровне выполнен i подэтап из m подэтапов, остальные выполняются за  $t \leq T$  время.

$\Psi_{ji}(t)$  - условная вероятность того, что на j,0 сетевом уровне система, бывшая в рабочем состоянии, когда на j уровне при взаимодействии информации имеет место «неисправимый» отказ с  $\beta$  коэффициентом интенсивности, решит задачу на j-том уровне сети за  $t \leq T$  время.

Для примера объясним смысл интегрального уравнения условной вероятности решения задачи  $\Phi_{ji}(t)$  на j-том уровне. Тут передано следующее: на j-том уровне, при выполнении первого подэтапа отказ не происходит и система переходит на выполнение второго подэтапа с вероятностью  $\Phi_{j2}(T-u)$  или происходит “и” отказ с коэффициентом интенсивности отказа  $\alpha$ , который обнаруживается “недостовверным” контролем  $K(\tau)$  на подэтапе. После соответствующего восстановления  $Q(\xi)$  система возвращается в начальное состояние с вероятностью  $\Phi_{j0}(T-u-\tau-\xi)$  или на подэтапе не происходит “и” отказа с коэффициентом интенсивности отказа  $\alpha$ , а происходит “ни” отказ коэффициентом интенсивности отказа  $\beta$ , который не обнаруживается на подэтапе “недостовверным” контролем  $K(\tau)$  система переходит на выполнение следующего подэтапа с вероятностью  $\Psi_{j0}(T-u-\tau-\xi)$ , или на подэтапе происходит оба вида отказа, и после соответствующего контроля и восстановления система с начального состояния выполнит задачу с вероятностью.  $\Phi_{j0}(T-u-\tau-\xi)$ .

Состоянием возвращения считается то состояние, для которого была известна работоспособность системы.

Согласно [5], решением вышеприведенных (5) интегральных уравнений определяем условную вероятность  $\Phi_{j0}(t)$

$$\Phi_{j0}(t) = \frac{A^m}{1 - [CE \sum_{\tau=0}^m A^{m-1-\tau} (A+C) + (B+D) \sum_{\tau=0}^m (A+C)^T]} \quad (5)$$

здесь

$$A = \int_0^T e^{-\lambda T} d\Phi(u)$$

$$B = \int_0^T e^{-\beta T} (1 - e^{-\alpha T}) d\Phi(u) \int_0^{T-u} dK(\tau) \int_0^{T-u-\tau} dQ(\xi)$$

$$\begin{aligned}
 C &= \int_0^T e^{-\alpha T} (1 - e^{-\beta T}) d\Phi(u) \int_0^{T-u} dK(\tau) \\
 D &= \int_0^T (1 - e^{-\alpha T})(1 - e^{-\beta T}) d\Phi(u) \int_0^{T-u} dK(\tau) \int_0^{T-u-\tau} dQ(\xi) \\
 E &= \int_0^T d\Omega(u) \int_0^{T-u} dQ(\xi)
 \end{aligned}$$

Для примера рассмотрим время избыточной вычислительной сети, где на транспортном уровне для повышения надежности применяются три основных метода восстановления, которые реализованы протоколами SWP (Stop and Wait Protocol) ABP (Ailternating Bit Protocol), GBN(Go Back N Protokal) и SRP(Selective Repeat Protokol) [6,7].

Протоколы SWP и ABP реализуют первый метод восстановления, GBN второй метод а SRP третий метод.

Согласно алгоритмам функционирования протоколов восстановления [6] и (4), получаем аналитические соотношения вероятностей безошибочной передачи информации в каналах для первого, второго и третьего методов восстановления.

$$I\Phi_{n-k}(t) = \left[ A^k \times (1 - B \times \sum_{\rho=0}^k A^\rho)^{-1} \right] \tag{6}$$

$$II\Phi_{n-k}(t) = [A + A^k (1 - B \times \sum_{\rho=0}^k A^\rho)^{-1}]$$

$$III\Phi_{n-k}(t) = \left[ A^k \times (1 - k \times A^k \times C \times D + B \times D \times \sum_{\rho=0}^k (\rho + 1) A^\rho) + B \times \sum_{\rho=0}^k A^\rho \right]^{-1}$$

где  $\Phi_{n-k}(t)$  условная вероятность того, что на транспортном уровне система бывшая в рабочем состоянии, выполняющая информационный взаимообмен, решит целую задачу за  $t \leq T$  времени, когда из  $n$  количества кадров передан безошибочно  $k$ . Соответственно  $I \Phi_{n-k}(t)$ ,  $II \Phi_{n-k}(t)$ ,  $III \Phi_{n-k}(t)$  условные вероятности решения задачи за время  $t \leq T$  при применении I, II и III методов восстановления.

Для сравнительного анализа эффективности применяемых в вычислительных сетях методов восстановления, согласно зависимости (6) и вычисляя условные вероятности, можно определить влияние изменения таких характеристик системы (для нашего примера), как величины избыточного времени  $\theta$ , величины времени восстановления  $t_g$  (ремонта) системы, величины времени "недостовверного" контроля  $t_k$  и количества передаваемых пакетов на величину условных вероятностей выполнения задачи.

Согласно вышеизложенной методике получаем

$$\Delta = \begin{vmatrix} I\Phi_{t_k} & I\Phi_{t_g} & I\Phi_{\theta} & I\Phi_7 \\ II\Phi_{t_k} & II\Phi_{t_g} & II\Phi_{\theta} & II\Phi_7 \\ III\Phi_{t_k} & III\Phi_{t_g} & III\Phi_{\theta} & III\Phi_7 \end{vmatrix} \tag{7}$$

Здесь  $\Phi_{t_k}$ ,  $\Phi_{t_g}$ ,  $\Phi_{\theta}$ ,  $\Phi_7$  максимальные значения условных вероятностей решения задачи за  $t < T$  время получаемое соответственно при изменении системных параметров, таких как значения времени "недостовверного" контроля  $t_k$ , времени восстановления (ремонта)  $t_g$ , времени избыточного времени  $Q$  и количество передаваемых пакетов  $7 \times 100$ .

На базе  $\Delta$  матрицы создаем строк- матрицы

$$\begin{aligned}
 I \text{ met} &= (I\Phi_{t_k} \quad I\Phi_{t_g} \quad I\Phi_{\theta} \quad I\Phi_7) \\
 II \text{ met} &= (II\Phi_{t_k} \quad II\Phi_{t_g} \quad II\Phi_{\theta} \quad II\Phi_7) \\
 III \text{ met} &= (III\Phi_{t_k} \quad III\Phi_{t_g} \quad III\Phi_{\theta} \quad III\Phi_7)
 \end{aligned}$$

Взяв результаты расчетов и значения  $t_k=0,0028$ ч;  $t_g=0,3$ ч;  $Q=0,9$ ч;  $m=7$  из [5] создаем трансформированные строк- матрицы

$$x_1=(0,0028 \ 0,3 \ 0,9 \ 7,0)^T \tag{8}$$

$$I_{met}(x_1)=(0,251 \ 0,255 \ 0,271 \ 0,2501)$$

$$II_{met}(x_1)=(0,498 \ 0,254 \ 0,268 \ 0,2496)$$

$$III_{met}(x_1)=(0,251 \ 0,253 \ 0,271 \ 0,35)$$

Графическая интерпретация которых приведена на рис. 5 а) и б)..

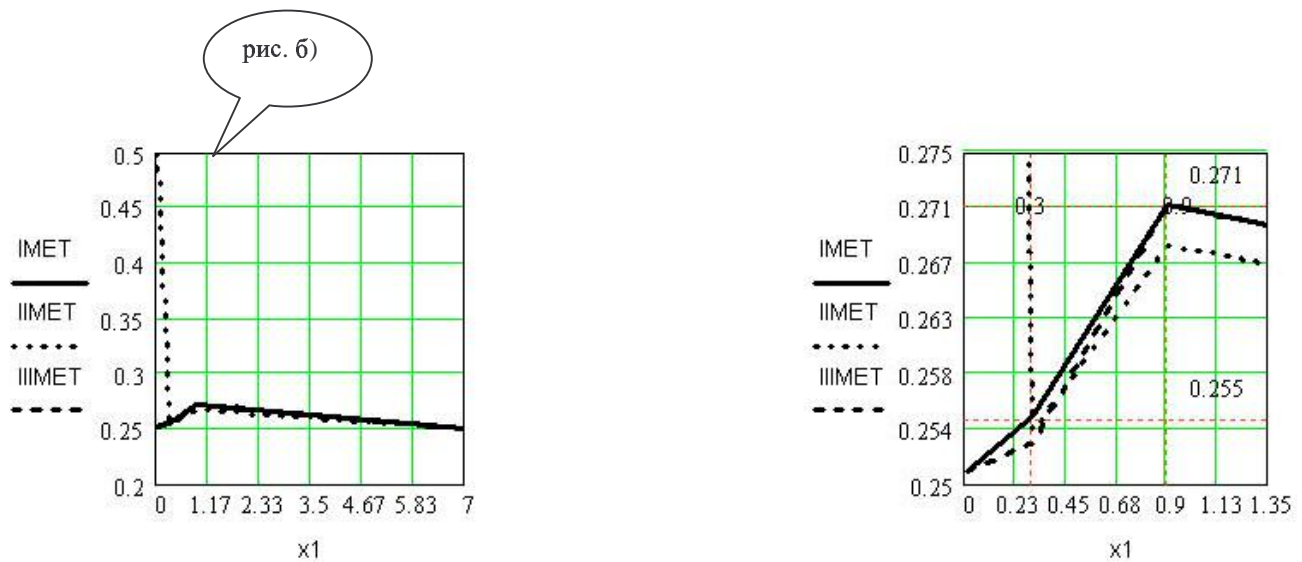


рис 5

Вычисляем площадь  $S_{met}$  очерченную функциями  $I_{met}$ ,  $II_{met}$ ,  $III_{met}$  согласно зависимости (9).

$$nS_{met} = \frac{1}{2} \times \sum_{k=0}^4 (x_{k+1} - x_k) \times |n\Phi_k - n\Phi_{k+1}| + \sum_{k=0}^4 (x_{k+1} - x_k) \times \min |n\Phi_k, n\Phi_{k+1}| \tag{9}$$

Где  $X_k$  соответствующие значения аргументов (0,0028 0,3 0,9 7,0) согласно (2) а  $\Phi_k$  значения вероятностей согласно (6). Для функции  $I_{met}$  они равны 0.251, 0.255, 0.271, 0.2501, для функции  $II_{met}$  0.498, 0.254, 0.268, 0.2496 а для функции  $III_{met}$  0.251, 0.253, 0.271., 0.25. Для нашего примера  $k = 0 \div 3$ .

"Суммарная эффективность" СЭФ методов восстановления определяется как соотношение  $S_{met}$  площадей очерченной функциями  $I_{met}$ ,  $II_{met}$ ,  $III_{met}$ . (рис 5) к максимально возможной площади очерченный этими же функциями, которая равна  $x_4 - x_1$

Учитывая вышеизложенное, в процентном соотношении "Суммарная эффективность" СЭФ равна

$$I \text{ SEF} = \frac{IS_{I_{met}}}{x_4 - x_1} \times 100 = 25,8\%$$

$$II \text{ SEF} = \frac{IIS_{II_{met}}}{x_4 - x_1} \times 100 = 26,16\%$$

$$III \text{ SEF} = \frac{IIIS_{III_{met}}}{x_4 - x_1} \times 100 = 25,79\%$$



Обобщая можно констатировать, что для рассмотренного примера, II метод восстановления применяемый в вычислительных сетях при информационном взаимодействии, согласно приведенной модели, выявляет лучшую "Суммарную эффективность" по вероятностным характеристикам.

#### **Рекомендации по использованию**

Предлагаемый метод можно обобщить и для других случаев, когда на основе полученных результатов невозможно однозначно определить эффективность применяемых методов при теоретически известных максимальных значениях системных параметров.

#### **Литература:**

- 1- И.А. Минаков., Сравнительный анализ некоторых методов случайного поиска и оптимизации. Известия Самарского научного центра Российской академии наук, 1 (1999), 2 (осень), 286-293 стр
- 2- В.Л. Веснин, Р. Виллш, А.А. Черторийский, К. Шрёдер, В. Экке., Использование корреляционных методов для обработки данных с волоконно-оптических брегговских датчиков и анализ возможных ошибок этих методов. Известия Самарского научного центра Российской академии наук, 5 (2003), 1 (весна), 165-174 стр
- 3- А.Н. Плеухов, В.В. Бочкарев, М.М. Кацевман, И.Р. Петрова, В.Ю. Теплов., Спектральная обработка сигналов наклонного зондирования ионосферы с помощью параметрических методов, Известия высших учебных заведений. Радиофизика, 43 (2000), 7 (июль 01), 607-616 стр
- 4- Надёжность технических систем. Справочник под редакцией профессора . А.Ушакова Москва.Советское Радио 1985
- 5- T.Sharaschenidze. Definition of Dependence of Information Transmission Probability on the Package Amount Using the SWP and ABP Restoring Methods.. Bulletin of the Georgian Academy of Sciences. volume 168, number 3, November-December 2003.p.462
- 6- Джон Уолред. Телекоммуникационные и компьютерные сети. Вводный курс. Москва. Пост Маркет. 2001.
- 7- Г.Хелд. Технологии передачи данных. Москва. Питер.2003

Статья содержит 5 рисунков.

---

**Статья получена: 2005-05-16**

**Статья получена после переработки: 2006-01-30**