УДК 004.7(045)

ИГНАТОВ В.А.,
ГУЗИЙ Н.Н.,
СОРАЯ М.А.

ОПТИМАЛЬНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГАРАНТОСПОСОБНОСТИ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ И КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ

Предложены модели и алгоритмы расчета оптимального обеспечения гарантоспособности специализированных телекоммуникационных и компьютерных сетей на основе *ZG(n,m)*- преобразования для оптимального управления избыточностью телекоммуникационных и компьютерных сетей, обеспечения заданных требований гарантоспособности при минимальных затратах сетевых ресурсов.

Models and algorithms of calculation of the optimum providing of telecommunication and computer networks dependability are offered. *ZG(n,m)* transformations are used for an optimum management with redundancy, providing of the set requirements to networks dependability, optimum redundancy of telecommunication and computer networks at the minimum expenses of network resources.

Постановка проблемы. Анализ последних исследований

Задача обеспечения гарантоспособных вычислений (dependable computing) в условиях отказов и неисправностей устройств возникла уже на первых этапах развития вычислительной техники [1,2]. В дальнейшем понятие гарантоспособности (dependability) компьютерных систем и сетей существенно расширилось. Гарантоспособность является средством (технологией), гарантирующим достоверность информации в результате ее накопления, преобразования, хранения, обработки и передачи при наличии внешних и внутренних возмущений при функционировании вычислительной системы. Построение распределенных вычислительных систем потребовало учета гарантоспособности телекоммуникационных систем, объединяющих компьютеры в сети, а также воздействия множества деструктивных факторов, таких как несанкционированный доступ, пассивные и активные помехи [3,4]. Обеспечение необходимого уровня гарантоспособности тесно связано с такими понятиями, как надежность, живучесть, отказоустойчивость и другими, хорошо известными современной науке [5,6].

Проблемы повышения вероятности безотказной работы отказоустойчивых реконфигурируемых многопроцессорных систем управления рассматриваются в [7,8].

Дальнейшее развитие информационных компьютерных технологий сопровождается ростом требований к качеству функционирования специализированных систем критического назначения. Проблемы обеспечения качества обслуживания трафика (QoS) особо актуальны в системах критического назначения. Особую роль играет гарантоспособность в работе автономных вычислительных средств, в частности бортовых авиационных и космических систем [9-11].

В гражданской авиации интенсивно ведутся работы по разработке и внедрению всемирной авиационной телекоммуникационной сети (ATN), построенной на принципах архитектуры открытых информационных систем и концепции CNS/ATM “single sky.

Основным средством предупреждения и парирования опасных ситуаций, связанных с отказами компонентов систем критического назначения является использование различного вида избыточности [9-12].

При системном подходе к выбору способов применения избыточности и построении гарантоспособных систем из элементов ограниченного качества и надежности, как правило, решают три проблемы:

выбор альтернативных принципов действия, структур и элементов;

анализ гарантоспособности альтернативных систем с учетом ограничений на характеристики систем и ресурсы;

принятия решений относительно оптимального обеспечения гарантоспособности.

Первые постановки указанных проблем относятся к 50-70 годам прошлого столетия. Они обозначены в ставших уже классическими работах

Э. Мура и К. Шеннона, которые были посвящены методу поэлементного резервирования [1]; Дж. Немана, который предложил метод мажоритарной обработки сигналов – «метод голосования большинством сигналов» [2].

Основные идеи, предложенные авторами, были направлены на расширение функций систем в направлении самоконтроля и самодиагностирования, на заблаговременное введение такой структурной и информационной избыточности, которая позволяла парировать возможные отказы элементов и устройств, бороться с помехами в каналах управления.

Системы, при построении которых в той или иной форме используются и развиваются эти идеи, получили название «функционально-избыточных систем (ФИС)» или «структурно-избыточных систем (СИС)». Такие системы находят все более широкое применение при построении специализированных компьютерных сетей, необходимыми компонентами которых служат функционально-избыточные телекоммуникационные системы (ФИТС).

В настоящее время остаются недостаточно изученными проблемы оценивания функционирования телекоммуникационных и компьютерных сетей по интегральным показателям обеспечения гарантоспособности, самодиагностирования в штатном режиме, самовосстановления, реконфигурации архитектуры и структуры телекоммуникационных и компьютерных сетей при обнаружении отказавших элементов.

Телекоммуникационные и компьютерные сети можно рассматривать как сетевые системы массового обслуживания вычислительных и логических процедур, а всю совокупность процессов обслуживания этих процедур обведенять одним общим понятием „обслуживание трафика данных”[13,14]. Под работоспособностью телекоммуникационной и компьютерной сети в дальнейшем будем понимать ее способность обеспечивать заданное качество обслуживания сетевого трафика в условиях отказов элементов, действия внутренних и внешних помех, а также других видов несанкционированных воздействий на сеть. Из этого определения следует, что для количественного определения показателей гарантоспособности необходимо задавать эталоны *QoS* - качества обслуживания трафика для определения показателей качества, возможные виды отказов, сбоев, атак, помех, несанкционированных воздействий и т.п.

Цель данной работы – разработать модели и алгоритмы оптимального управления гарантоспособностью специализированных телекоммуникационных и компьютерных сетей, в которых для оптимального управления гарантоспособностью используют прямое и обратное *ZG*-преобразования [9-12].

Для достижения этой цели ставятся и решаются следующие задачи:

построение моделей и алгоритмов расчета и оптимального обеспечения гарантоспособности телекоммуникационных и компьютерных сетей;

исследование построенных моделей и алгоритмов расчета оптимального обеспечения гарантоспособности телекоммуникационных и компьютерных сетей;

выявление закономерностей изменения параметров моделей;

разработка практических рекомендаций по результатам анализа предложенных моделей и алгоритмов.

Изложение основного материала исследования

Предложенные Игнатовым В.А. и Захаренковым В.В. прямое и обратное *ZG*-преобразования для повышения надежности систем автоматизированного самолетовождения [10] являются дальнейшим обобщением скалярных методов мажорирования на векторный случай. Они позволяют управлять функционально-сигнальной избыточностью так, чтобы оптимально обеспечивать требуемое качество функционирования систем.

На рис.1 приведена обобщенная структурная схема $ZG(n,m)$- системы, выполняющая функции многоканальной телекоммуникационной системы между двумя узлами сети. Через n обозначено число каналов в неизбыточной телекоммуникационной системе (НТКС), через m обозначено число резервных каналов в функционально-избыточной телекоммуникационной системе (ФИТКС).

Упрощенно принцип действия $ZG(n,m)$- системы можно пояснить следующим образом. В прямом *ZG*-преобразовании выходной векторный сигнал Xn, размерности n, узла связи (маршрутизатора), выполняющего функции источника сигналов (данных), с помощью первого генератора опорных сигналов (ГОС1) преобразуется A – преобразователем в $n + m$ избыточный векторный сигнал $Yn+m$, размерности $n+m$, так, что каждая координата выходного сигнала $Yn+m$ преобразователя содержит информацию о всех координатах векторного входного сигнала Xn. При прохождении по многоканальной линии связи, составляющие сигнала $Yn+m$ подвергаются разного рода несанкционированным воздействиям $\xi n+m$ от источников несанкционированных воздействий (ИНВ), описанных оператором L. В обратном ZG-преобразовании, при оптимальной обработке в D - преобразователе принятых избыточных сигналов с помощью второго генератора опорных сигналов (ГОС2) обнаруживают и исправляют искаженные из-за помех и несанкционированных воздействий передаваемые сигналы. На выходе D – преобразователя получают оптимальные по методу максимального правдоподобия оценки X^*_n.переданных сигналов X_n.

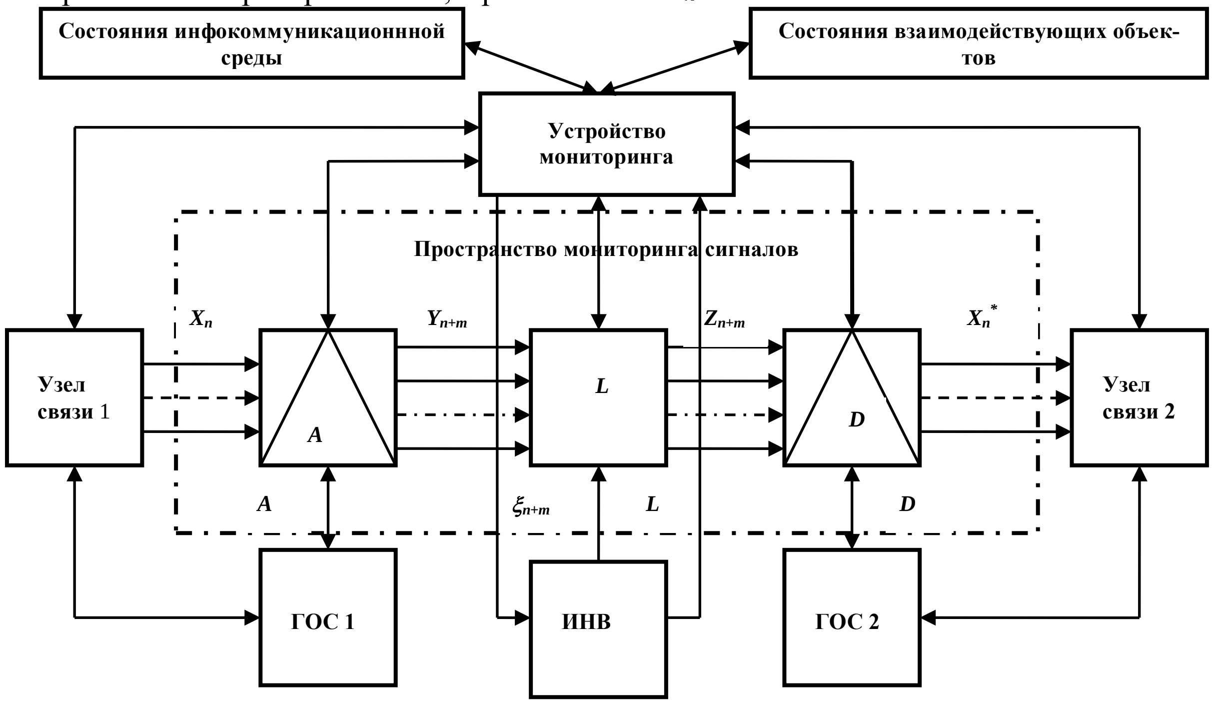

Рис. 1. Структурная схема ZG(n,m)- системы

Нетрудно заметить, что в $ZG(n,m)$- системе используется фрактальная избыточность, которую можно количественно измерить показателем фрактальной избыточности

$$r(n,m) = m \;/\; (n+m) \tag{1}$$

Эта избыточность порождает общее число возможных решений в D –преобразователе

$$N(n,m) = C^n_{n+m} = (n+m)!/\,n!\,m! \tag{2}$$

Пример 1. Рассмотрим простейшую бинарную ФИТКС $ZG(n,m)$- систему с параметрами $n = 2$, $m = 1$, $r1(2,1) = m/(n+m) = 1/(2+1) = 1/3$. Используя (2), получим $N(2,1) = C^2_{2+1} = (2+1)!/\,2!1! = 1.2.3/1.2.1 = 3$. Следовательно, в обратном D – преобразователе $ZG(2,1)$- системы формируется не одно, как обычно принято, единственное решение, а множество из трех решений, из которых D – преобразователь должен сформировать одно, по определенному критерию оптимальное решение относительно переданных двух сигналов. Такая система остается гарантоспособной при отказе или искажении сигнала в любом одном канале, так как позволяет правильно вычислить два переданных сигнала по принятым сигналам «оставшимся в живых» двух каналов. Необходимо отметить существенное отличие векторного мажорирования от скалярного мажорирования. При скалярном мажорировании к каждому одному каналу необходимо было бы организовывать еще два канала. Это, в конечном счете, привело бы к избыточному введению избыточных четырех каналов, то есть, к шестиканальной системе. Таким образом, использование принципа в формировании избыточных сигналов «один за всех и все за одного» позволяет в данном примере в 4 раза уменьшить избыточность и, соответственно, затраты всех видов ресурсов.

Пример 2. Рассмотрим более сложную бинарную ФИТКС $ZG(n,m)$-систему с параметрами $n = 2$, $m = 2$, $r2(2,2) = m\,/\,(n+m) = 2/(2+2) = 1/2$. Используя (2), получим $N(2,2) = C^2_{2+2} = (2+2)!/2!2! = 1.2.3.4/\,1.2.\,1.2 = 6$. Следовательно, в D – преобразователе $ZG(2,2)$- системы формируется множество из шести решений. Из них преобразователь формирует одно, по определенному критерию оптимальное, решение относительно двух переданных сигналов. Такая система остается гарантоспособной при отказе любых двух каналов.

Пример 3. Рассмотрим бинарную ФИТКС *ZG(n,m)*-систему с параметрами $n = 2$, $m = 3$, $r3(2,3) = m / (n+m) = 3/(2+3) = 3/5$. Используя (2), получим $N(2,3) = C^2_{2+3} = (2+3)!/\ 2!3! = 1.2.3.4.5/\ 1.2.1.2.3 = 10$. Следовательно, в D – преобразователе *ZG(2,3)*-системы существует множество из десяти решений. Из них формируется единственное, по определенному критерию оптимальное решение, относительно двух переданных сигналов. Такая система остается гарантоспособной при отказе любых трех каналов.

Устройство мониторинга (embedded system) состояния каналов *ZG(n,m)*- системы обеспечивает контроль и диагностирование сигналов во всех каналах, выявление отказов и искажений сигналов, отключение отказавших каналов, то есть адаптивную реконфигурацию структуры системы, самовосстановление сигналов отказавших каналов по сигналам работоспособных каналов, взаимодействия с управляющими устройствами узлов связи 1, 2 и другие функции. Пространство мониторинга сигналов (рис.1) выделено штрихпунктирной линией. Основное назначение мониторинга в этой *ZG(n,m)*-системе – обеспечить гарантоспособность передачи сигналов узла сети 1 в узел 2, при воздействии на сеть внутренних и внешних деструктивных факторов.

Рассмотрим кратко методику математического моделирование работы *ZG(n,m)*- системы. Выходной сигнал X_n. узла связи *1* преобразуется *A*–преобразователем в избыточный векторный сигнал Y_{n+m}, размерности $n+m$, в соответствии с операторным уравнением

$$Y_{n+m} = \grave{A}\, X_{n}\,, \tag{3}$$

где $A(n+m)Чm$ – матрица A характеризует ориентацию в $(n+m)$-ом пространстве проекций n-вектора X_n., на Y_{n+m} так, что $(n+m)$-вектор Y_{n+m} содержит все проекции X_n. и удовлетворяет уравнению (3).

По умолчанию рассматриваются только те матрицы A, ранг которых равен n, а любая комбинация из n строк такой матрицы также есть $nЧn$-матрица ранга n. Предполагается, что в каналах многоканальной линии связи составляющие вектора Y_{n+m} искажаются случайными несанкционированными воздействиями и помехами. Эти искажения описываются оператором L:

$$Z_{n+m} = L(Y_{n+m,}\ X_{n+m}) \tag{4}$$

В результате на вход D – преобразователя поступает сигнал Z_{n+m} , который может существенно отличаться от Y_{n+m} .

Различают два вида искажений: малые искажения и «выбросы» (отказы). Предполагается, что выбросы в рассматриваемый момент времени могут изменять не более m координат избыточного вектор-сигнала.

На основе принципов «голосования большинством или меньшинством» определяется диагностическая процедура и операторы алгоритма, позволяющие устройству мониторинга идентифицировать координаты выбросов и нейтрализовать последствия выбросов, выполняя оптимальное оценивание вектора X_n по искаженному вектору Z_{n+m} [8, 15].

Оптимальное по методу наименьших квадратов единственное преобразование избыточного $n+m$ мерного векторного сигнала Z_{n+m} в оценку X^*_n векторного сигнала X_n , n -мерного базиса, выполняется на основе расширенной псевдоматрицы

$$D = [B\,A]^{-1} B\,, \tag{5}$$

где определенный выбор из конечного множества $nЧm$-матрицы B ранга n для заданной $(n+m)Чn$-матрицы A делает оптимальное преобразование единственным.

Для $B=A^T$ матрица D в (5) является псевдообратной матрицей [7,8].

При построении алгоритмов диагностирования и реконфигурации структуры *ZG(n,m)*-системы используется проверочная матрица вида

$$S = AD - E\ , \tag{6}$$

где E – единичная матрица.

Для реконфигурации структуры ФИТКС введена коммутирующая диагональная $(n+m)Ч(n+m)$-матрица $G_{ij\ldots k}$, в которой *i-й, j-й, ..., k-й* элементы нулевые, а все другие равны единице. Индексы $i, j, \ldots, k$ по определению матрицы $G_{ij\ldots k}$ не могут принимать значения более чем $n+m$.

Авторами доказано следующее утверждение: если число h индексов матрицы $G_{ij\ldots k}$, равных нулю, удовлетворяет условию

$$h \le m\,, \tag{7}$$

где m – число избыточных каналов, то обратное *ZG*-преобразование

$$X^*_n = \left[\, B\, G_{ij\ldots k}\, A \,\right]^{-1} B\, G_{ij\ldots k}\, Z_{n+m}\ , \tag{8}$$

полученное с помощью матрицы (5) путем подстановки в нее матрицы $G_{ij\dots k}$, инвариантно относительно числа h.

Для оптимального обеспечения гарантоспособности $ZG(n,m)$-системы необходимо выб-рать значение критерия оптимальности (целевой функции), построить математическую модель критерия, эталонные значения для расчета показателей качества обслуживания трафика, ввести показатели гарантоспособности системы в установившемся режиме статистического равновесия.

В качестве критерия оптимальности Π выберем критерий среднего риска как марематическое ожидание потерь, обусловленных, с одной стороны, нарушениями гарантоспо-собности, а, с другой стороны, затратами на создание и поддержание качественной работы системы обеспечения гарантоспособности

$$P(y,\ \pi_1;\ \pi_2;\ p_1;\ p_2;\ \alpha;\ \beta) = \pi_1\, p_1\, y^{-\alpha} + \pi_2\, p_2\, y^{-\beta}\ , \quad (9)$$

где нормированный показатель гарантоспособности

$$y = q\ /\ q_0\ , \quad (10)$$

q и q_0 – соответственно, показатели гарантоспособности рассматриваемой системы и системы аналога или прототипа;

π_1 и π_2 – соответственно, потери из-за нарушения гарантоспособности и затраты на обеспечение гарантоспособности;

p_1 и p_2 – соответственно, вероятности противоположных событий – нарушения гарантоспособности и обеспечения гарантоспособности, для этих вероятностей соблюдается условие нормировки как для полной группы событий

$$p_1 + p_2 = 1\ ; \quad (11)$$

α и β – показатели влияния избыточности $ZG(n,m)$-системы на нормированное значение показателя гарантоспособности.

Значение критерия (9) удобно рассчитывать для одного канала избыточной и неизбыточной системы. Можно предположить, что затраты на обеспечение работы одного канала избыточной системы будут линейно возрастать с увеличением числа резервных каналов, тогда

$$p_2 = p_1\,(n + m)\ /\ n = p_1 r(n,m)/n/m \quad (12)$$

Для определения вероятностей p_1 и p_2 необходимо составить систему дифференциальных уравнений Колмогорова–Чепмена, которые описывают динамику изменения состояний $ZG(n,-m)$–системы, и для установившегося режима статистического равновесия определить эти вероятности. Граф переходов $ZG(n,m)$- системы представлен на рис.2, где через S_k, $k = 0, m+n$, обозначено k-ое состояние системы, Λ и M – соответственно, интенсивность отказа любого одного канала и интенсивность восстановления работоспособности этого канала после отказа, $P_k(t)$ – вероятность пребывания системы в состоянии S_k в момент времени t. Система дифференциальных уравнений имеет вид:

$$\begin{aligned}
&P'_0(t) = -L\,P_0(t) + M\,P_1(t),\\
&P'_1(t) = L\,P_0(t) - (L+M)\,P_1(t) + M\,P_2(t);\\
&P'_k(t) = L\,P_{k-1}(t) - (L+M)\,P_k(t) + M\,P_{k+1}(t);\ k = 2,\ (n+m-1);\\
&\textstyle\sum P_k(t) = 1.
\end{aligned} \quad (13)$$

Для исследования динамики изменения гарантоспособности необходимо задать начальные условия

$$P_k(t=0) = P0_k,\ k = 0,\ (n+m)\ ; \quad (14)$$

и решить задачу Коши. Состояния $S_0, S_1,\dots S_m$ образуют подмножество состояний гарантоспособности системы, а состояния $S_{m+1}, S_{m+2},\dots S_{m+n}$ образуют подмножество состояний нарушения гарантоспособности системы. Поэтому вероятность обеспечения гарантоспособности системы в момент времени t равна

$$p_2(t) = \sum P_j(t)\ ,\ j = 0,\ m. \quad (15)$$

Вероятность нарушения гарантоспособности системы в момент времени t равна

$$p_1(t) = \sum P_k(t),\ k = (m+1),\ (n+m)\ . \quad (16)$$

Формулы (15), (16) позволяют исследовать переходный и установившийся режимы обеспечения гарантоспособности системы.

На практике чаще всего важны характеристики установившегося режима статистического равновесия, который определяется условием

$$P'_k(t) = 0,\ k = 0,\ (n+m)\ . \quad (17)$$

Для этого режима система дифференциальных уравнений Колмогорова–Чепмена переходит в систему алгебраических уравнений, неизвестными в которой являются вероятности

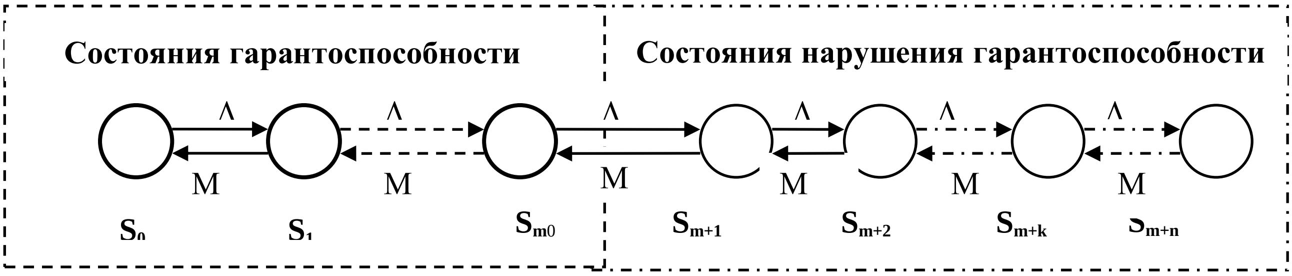

Рис. 2. Граф изменения гарантоспособности ZG(n,m)- системы

состояний, не зависящие от времени. Решая эту систему относительно этих вероятностей, получим

$$P_k = \rho^k \ / \sum \rho^k \ , \ \mathrm{k} = 0, \ (n+m) \ , \qquad (18)$$

где отношение интенсивностей

$$\rho = \Lambda / M \ . \qquad (19)$$

Вероятность обеспечения гарантоспособности системы в установившемся режиме статистического равновесия равна

$$p_{2\infty} = \sum \ r^i \ / \sum \ r^k \ ; \ i = 0, \ m; \ k = 0, \ (n+m) \ . \qquad (20)$$

Вероятность нарушения гарантоспособности системы в установившемся режиме статистического равновесия равна

$$p_{1\infty} = \sum \ r^j \ / \sum \ r^k ; \ j = m+1, (n+m); \ k = 0, \ (n+m) \ . \qquad (21)$$

Из формулы (18) следует, что исходными данными для расчета вероятностей (20), (21) являются интенсивности Λ и M, которые по формуле (19) позволяют рассчитать отношение ρ, а по нему с помощью формул (20), (21) искомые вероятности.

Пример 4. Рассмотрим простейшую бинарную ФИТКС $ZG(n,m)$- систему с параметрами $n = 2$, $m = 1$, $r = m / (n+m) = 1/(2+1) = 1/3$. Рассчитаем показатели гарантоспособности в установившемся режиме при $\rho = 0.25$.

Используя формулы (20), (21), получим

$p_{1\infty} = (\rho^2 + \rho^3) / (\rho^0 + \rho^1 + \rho^2 + \rho^3) = (0.063 + 0.016)/(1 + 0.25 + 0.063 + 0.016) = 0.058824$

$p_{2\infty} = (\rho^0 + \rho^1) / (\rho^0 + \rho^1 + \rho^2 + \rho^3) = (1.0 + 0.25) / (1 + 0.25 + 0.063 + 0.016) = = 0.941176$

Как видим, расчет показателей гарантоспособности $ZG(n,m)$-систем в установившемся режиме не представляет принципиальных трудностей. Исходные данные в виде интенсивностей Λ и M определяют известными методами теории надежности.

Перейдем к определению параметров α и β в формуле (9). Можно предположить, что параметр α будет зависеть обратно пропорционально от числа резервных каналов m, а параметр β - прямо пропорционально числу m, тогда эти зависимости удобно аппроксимировать следующими функциями:

$$a = n \ / \ (n + m) = 1 \ / \ (1 + r); \qquad (22)$$

$$b = (n + m) \ / \ n = 1 + r. \qquad (23)$$

Подставляя эти функции в формулу (9), получим итоговую зависимость критерия среднего риска от всех определяющих гарантоспособность $ZG(n,m)$-системы параметров. В формуле (9) остается один свободный параметр q_0, которым, как будет показано в дальнейшем, задается база сравнительного анализа гарантоспособности различных $ZG(n,m)$- систем.

Решая полученное уравнение оптимизации гарантоспособности из (9) найдем оптимальное значения y_{opt}:

$$y_{opt} = \left[\pi_1 n^2 \sum_{k=2}^{3} \rho^k \Big/ \pi_2 (n+m)^2 \sum_{k=0}^{1} \rho^k \right]^Z \ , \qquad (24)$$

где безразмерный показатель степени

$$z := \frac{n(n+m)}{n^2 + (n+m)^2} \ . \qquad (25)$$

Подставляя оптимальное значение y_{opt} в формулу (9), найдем минимальное значение критерия среднего риска

$$\Pi_{\min}(y_0) = \pi_1 \sum_{k=2}^{3} \rho^k / \sum_{k=0}^{1} \rho^k * (y_0)^{\frac{-n}{n+m}} + \pi_2 \sum_{k=0}^{1} \rho^k / \sum_{k=0}^{1} \rho^k * (y_0)^{\frac{n+m}{n}} \ . \qquad (26)$$

Типовой алгоритм решения задачи оптимального обеспечения гарантоспособности $ZG(n,m)$-систем содержит следующие шаги: выбор критерия оптимальности и параметров, определяющих гарантоспособность системы; установление связей и отношений между критерием и определяющими параметрами, построение графа изменения состояний гарантоспособности системы, составление дифференциальных уравнений; определение вероятностей состояний для режима статистического равновесия системы; расчет показателей гарантоспособности $ZG(n,m)$- системы в установившемся режиме; выбор аппроксимаций (22) и (23); решение уравнения оптимизации нормированного параметра гарантоспособности и получение аналитических соотношений типа (24) и (25) для координат экстремума критерия среднего риска; параметрический анализ оптимального решения; формулировка выводов и практических рекомендаций.

Пример 5. Покажем работу этого алгоритма при оценивании эффективности использования избыточности в бинарных *ZG(n,m)*- системах оптимального обеспечения гарантоспособности при $n = 2$, $\pi_1 = 1$, изменении числа резервных каналов m от 1 до 3 при $\rho = 0.25$.

Индексные показатели уменьшения нормированных оптимальных значений параметра гарантоспособности и нормированных минимальных значений критерия среднего риска, рассчитанные в системе MathCAD, имеют следующие значения:

$$W_{У21}=1.962,\ W_{У31}=2.829,\ W_{У32}=1.442, \\ W_{П21}=4.499,\ W_{П31}=21.554,\ W_{П32}=4.791 \quad (27)$$

Рис. 3 иллюстрирует особенности формирования оптимального значения параметра гарантоспособности *ZG(n,m)*- систем. Через $П_1(y)$ обозначена составляющая среднего риска, обусловленная нарушениями гарантоспособности, через $П_2(y)$ обозначена составляющая среднего риска, обусловленная обеспечением и поддержанием гарантоспособности *ZG(n,m)*- системы. На рис.4 показаны графики зависимости критерия среднего риска для бинарных *ZG(n,m)*- систем при изменении числа резервных каналов от 1 до 3 при $\rho = 0.25$.

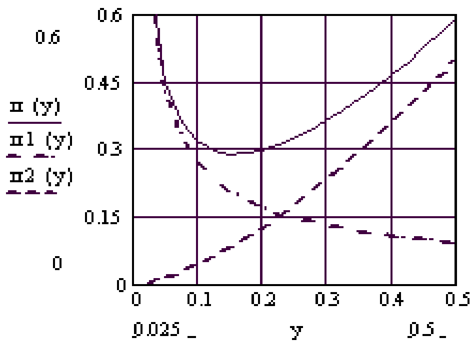

Рис. 3. Формирование оптимального значения параметра гарантоспособности

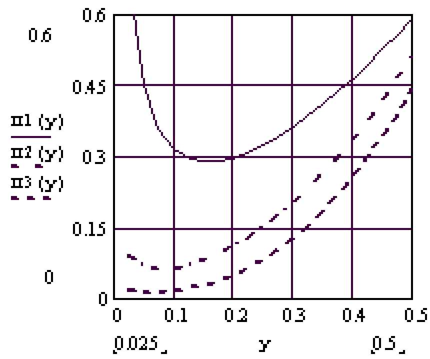

Рис. 4. Изменение критерия среднего риска для ZG(n,m)- систем при n = 2, m = 1; 2; 3

Анализ результатов позволил выявить следующие закономерности: особо значимый рост эффективности *ZG(n,m)*- систем наблюдается при первом увеличении числа резервных каналов – от 1 до 2; индексные показатели уменьшения оптимальных значений нормированного параметра гарантоспособности убывают с ростом числа резервных каналов; индексные показатели уменьшения минимальных значений критерия среднего риска растут с ростом числа резервных каналов. В заключение рассмотрим использование показателя гарантоспособности системы аналога или прототипа q_0 для определения оптимального значения q_{opt} *ZG(n,m)*- систем:

$$q_{opt} = y_{opt}\, q_0. \quad (28)$$

Пример 6. Предположим, что вероятность нарушения гарантоспособности одного канала системы-прототипа равна $q_0 = 0.015$. Определим оптимальное значение вероятности нарушения гарантоспособности может быть у одного канала *ZG(n,m)*- системы оптимального обеспечения гарантоспособности при $n = 2$, $m = 1, 2, 3$.

Используем результаты примера 5 как исходные данные: $y1_{opt} = 0.158648$, $y2_{opt} = 0.080875$, $y3_{opt} = 0.056083$. Подставляя эти значения в формулу (28), получим оптимальные значения вероятностей нарушения гарантоспособности соответствующих *ZG(n,m)*: $q1_{opt} = y1_{opt}\, q_0 = 0.158648.\ 0.015 = 2.38\ 10^{-3}$, $q2_{opt} = y2_{opt}\, q_0 = 0.0808750.\ 0.015 = 1.213.\ 10^{-3}$, $q3_{opt} = y3_{opt}\, q_0 = 0.0560830.\ 0.015 = 8.412\ 10^{-4}$.

По результатам исследования можно сделать следующие выводы

1. Для оптимального обеспечения гарантоспособности телекоммуникационных и компьютерных сетей основными являются задачи построения моделей и алгоритмов оптимального обеспечения гарантоспособности телекоммуникаци-

онных и компьютерных сетей; параметрический анализ моделей оптимизации гарантоспособности, разработка практических рекомендаций.

2. Использование *ZG(n,m)*- систем позволяет оптимально управлять избыточностью специализированных телекоммуникационных и компьютерных сетей, обеспечивать заданные требования к их гарантоспособности при минимальных затратах всех видов сетевых ресурсов.

3. Полученные в этой работе результаты полезны для определения эталонов качества обслуживания трафика на разных уровнях модели открытых систем.

Список литературы

1. Neumann J. Probabilistic logic and the synthesis of reliable organisms from unreliable components. // Neumann J. Automata Studies. Ann. of Math. Studies. №34. 1952.
2. Moore E.F. Reliable circuits using less reliable relays // Moore E.F., Shannon C. E. J. Franklin Inst.,– 1956, p. 262.
3. Харченко В.С. Гарантоспособность и гарантоспособные системы: элементы методологии // Радіоелектронні та комп’ютерні системи. – 2006. – №5. – С.7-19
4. Харченко В.С. Парадигмы и принципы гарантоспособных вычислений: состояние и перспективы развития // Радіоелектронні і комп’ютерні системи. – 2009. – №2(36) – С. 91-100
5. Теслер Г.С. Концепция построения гарантоспособных вычислительных систем // Математичні машини і системи. 2006. – №1, – С. 134-145.
6. Мудла Б.Г., Єфімова Т.І., Рудько Р.М. Гарантоздатність як фундаментальний узагальнюючий та інтегруючий підхід // Математичні машини і системи. – 2010. – №2, – С. 148-165.
7. Романкевич А.М., Романкевич В.А., Мораведж Сейед Милад О повышении надежности реконфигурируемых отказоустойчивых многопроцессорных систем управления сложными объектами // Электронное моделирование. – 2010. – Т.32. № 4. – С.85-92
8. Романкевич А.М., Майданюк И.В., Романкевич В.А. Частный случай граничных оценок при построении и преобразовании GL-модели // Радіоелектронні і комп’ютерні системи – 2010, – №6(47) – С. 236-243
9. Игнатов В.А., Маньшин Г.Г., Трайнев В.А. Статистическая оптимизация качества функционирования электронных систем. М.: Энергия. – 1974. 264 с.
10. Игнатов В.А. Диагностические комплексы систем автоматического самолетовождения. Игнатов В.А., Паук С.М., Конахович Г.Ф Под ред. В.А.Игнатова. М.: Транспорт. - 1975, 272 с.
11. Игнатов В.А., Захаренков В.В. Мажоритарное устройство для выделения проекций векторной величины. А.С. СССР №782162. Б.И. СССР. №6. 1978.
12. Игнатов В.А., Захаренков В.В. Устройство выбора непрерывного сигнала по принципу большинства. А.С. СССР №828448. Б.И. СССР. №8. 1981.
13. Игнатов В.А. Теория информации и передачи сигналов. М.: Сов. радио, 2-ое изд. 1990, 280 с.
14. Даниліна Г.В., Гузій М.М., Ігнатов В.О., Милокум Я.В. Методи і алгоритми оптимального управління трафіком в обчислювальних мережах // – Проблеми інформатизації та управління. К.: НАУ, – 2006. – Вип.17. – С. 32-37.