

УДК 629.735.083.06

# ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ ДОСТОВЕРНОСТИ ДАННЫХ В ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМАХ ПРИ ИНФОРМАЦИОННОМ РЕЗЕРВИРОВАНИИ

**А. Аль-Аммори,**

канд. техн. наук

Киевский национальный транспортный университет

Проводится исследование способов информационного резервирования как основного условия обеспечения достоверности данных, получаемых от разных источников информации, к которым относятся контролирующие датчики сигналов и измерители всевозможных физических величин. Рассматриваются основные виды информационного резервирования (параллельное, последовательное и комбинированное) для выбора более эффективных, отказоустойчивых и отказобезопасных структур информационно-управляющих систем самолетов нового поколения.

**Ключевые слова** — источник информации, достоверность информации, информационное резервирование, вероятность ложной тревоги, вероятность необнаружения.

Известно, что эффективность и безопасность процессов полета существенно зависят от достоверности информации, поступающей на вход управляемых вычислительных систем от различного рода измерителей (так называемых датчиков информации), которые контролируют состояние и ход выполнения процесса полета.

Применение микропроцессорной системы (МПС) для управления и контроля сложными производственными процессами полета позволяет обрабатывать информацию, поступающую одновременно от многих источников и датчиков в реальном масштабе времени, восстанавливать данные в аналоговой форме на выходе микропроцессора (МП), а также распределять их между различными потребителями (исполнительными устройствами). При этом МПС производит целый ряд важных операций:

- обеспечивает циклический и адресный опрос датчиков;
- определяет истинные значения измеряемых величин по показаниям датчиков;
- распознает или обнаруживает события;
- производит цифровое управление и регулирование в сложных производственных системах и устройствах;
- обеспечивает адаптивное оптимальное управление с использованием обратной связи;
- производит статистическую обработку информации.

Для эффективного и качественного управления производственным процессом полета необходима достоверная информация, которую зачастую бывает очень сложно получить вследствие помех и некачественных источников информации, неточных измерителей контролируемых параметров, ненадежных датчиков и т. п.

В соответствии с физическим представлением работы реального датчика информационно-управляющие системы сигнализации могут находиться в одном из трех случайных несовместных состояний [1, 2]:  $a$  — вероятность верного сообщения;  $b$  — вероятность ложного сообщения;  $d$  — вероятность пропуска сообщения.

Такая система вероятностных состояний достаточно полно описывается триномиальным распределением [3, 4], которое является расширением биномиального распределения.

Вероятность того, что из  $n$  источников информации  $k$  из них пропускают сообщения,  $m - k$  ложно сообщают и  $n - m$  передают верное сообщение, описывается триномиальным распределением [3, 4]:

$$P_{(n-m, m-k, k)} = C_n^{n-m} a^{n-m} C_m^{m-k} b^{m-k} d^k, \quad (1)$$

где  $C_n^{n-m}$  — число сочетаний из  $n$  по  $n - m$ , причем:

$$a + b + d = 1. \quad (2)$$

Вероятностные характеристики  $a_n, b_n, d_n$  для  $n$  параллельно подключенных источников информа-

ции можно определить из триномиального распределения в соответствии с работами [3–6]:

$$\left. \begin{aligned} a_{n,1} &= 1 - (1 - a)^n; \\ b_{n,1} &= (1 - a)^n - d^n; \\ d_{n,1} &= d^n. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Если один и тот же источник информации запрашивать периодически с определенным интервалом времени и запоминать выдаваемую им информацию, то, согласно теореме Бейеса [3, 4], при заданной априорной вероятности  $\alpha$  и заданных вероятностных характеристиках источников информации, а именно, вероятности  $a$  достоверного сообщения, вероятности  $b$  ложной тревоги и вероятности  $d$  необнаружения, апостериорные вероятности:  $P_{16}$  — достоверного сообщения,  $P_{26}$  — необнаружения контролируемого явления и  $P_{36}$  — ложной тревоги — можно определить с помощью следующих формул:

$$\left. \begin{aligned} P_{16} &= \frac{\alpha a}{\alpha a + (1 - \alpha)b}; \\ P_{26} &= \frac{\alpha d}{(1 - \alpha)a + \alpha d}; \\ P_{36} &= \frac{(1 - \alpha)b}{\alpha a + (1 - \alpha)b}. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Если ввести обозначение  $\beta = \frac{1 - \alpha}{\alpha}$  — коэффициент априорности контролируемого явления, и полагая, что  $b = d$ , можно ввести коэффициент  $\gamma$  качества источника информации, а именно,

$\gamma = \frac{b}{a} = \frac{d}{a}$  и при  $k$  повторных последовательных запросах одного и того же источника информации априорные вероятности  $P_{16}$ ,  $P_{26}$  и  $P_{36}$  определяются зависимостями:

$$\left. \begin{aligned} P_{16}(k) &= \frac{1}{1 + \beta\gamma^k}; \\ P_{26}(k) &= \frac{\beta\gamma^k}{1 + \beta\gamma^k}; \\ P_{36}(k) &= \frac{\gamma^k}{\beta + \gamma^k}. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Для сравнительной оценки эффективности параллельного и последовательного информационного резервирования, заключающейся в снижении вероятностей  $P_{26}$  необнаружения и  $P_{36}$  ложной тре-

воги в зависимости от числа последовательных запросов  $k$  одного источника информации и числа  $n$  параллельного подключения источников информации, соответственно можно ввести коэффициенты  $M_{b6}$ ,  $M_{d6}$  влияния очередного запроса на снижение вероятностей ложной тревоги и необнаружения при последовательном резервировании и аналогичные коэффициенты  $M_{bA}$ ,  $M_{dA}$  при параллельном резервировании. Указанные коэффициенты несложно определить способом деления соответствующих выражений, определяющих вероятности ложной тревоги и необнаружения ( $k - 1$ -го и  $k$ -го запросов при  $(n - 1)$ -м и  $n$ -м подключении источников информации соответственно. В результате таких операций получаются следующие формулы:

$$\left. \begin{aligned} Mb_6 &= \frac{1 + \beta\gamma^k}{\gamma(1 + \beta\gamma^{k-1})}; \\ Mb_A &= \frac{(1 - a)^{n-1} - d^{n-1}}{(1 - a)^n - d^n}; \\ Md_6 &= \frac{\beta + \gamma^k}{(\beta + \gamma^{k-1})\gamma}; \\ Md_A &= \frac{d^{n-1}}{d^n} = \frac{1}{d}. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

При высоком качестве источника информации, когда  $\gamma \rightarrow 0$ , и увеличении числа  $k$  последовательных запросов одного источника информации и числа  $n$  параллельно подключаемых источников информации приведены коэффициенты  $\tilde{M}b_6$ ,  $\tilde{M}b_A$ ,  $\tilde{M}d_6$ ,  $\tilde{M}d_A$ , определяемые формулами (6). Они асимптотически сводятся к следующим простым зависимостям:

$$\left. \begin{aligned} \tilde{M}b_6 &= \lim_{k \rightarrow \infty} Mb_6 = \frac{1}{\gamma}; \\ \tilde{M}b_A &= \lim_{n \rightarrow \infty} Mb_A = \frac{1}{1 - a}; \\ \tilde{M}d_6 &= \lim_{k \rightarrow \infty} Md_6 = \frac{1}{\gamma}; \\ \tilde{M}d_A &= Mb_A = \frac{1}{d}. \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

При реализации мажоритарного принципа, например  $Q = 2$  (индекс мажоритарности, который показывает, сколько источников информации  $n$  голосует «за»), коэффициенты  $Mb_{A2}$ ,  $Md_{A2}$  снижения вероятностей  $P_3$  ложной тревоги и вероятности  $P_2$  необнаружения параллельной системы, состоящей из  $n - 1$  источников информации, при подключении еще одного источника информации можно определить с помощью следующих формул:

$$\left. \begin{aligned}
 Mb_{A2} &= \frac{P_3(2, n-1)}{P_3(2, n)} = \\
 &= \frac{(1-a)^{n-1} - d^{n-1} - (n-1)bd^{n-2}}{(1-a)^n - d^n - nbd^{n-1}}; \\
 Md_{A2} &= \frac{P_2(2, n-1)}{P_2(2, n)} = \\
 &= \frac{d^{n-1} + (n-1)bd^{n-2} + (n-1)ad^{n-2}}{d^n + nbd^{n-1} + nad^{n-1}}.
 \end{aligned} \right\} (8)$$

На основании формул (6)–(8) можно определить коэффициенты  $F_{bA}, F_{dA}, F_{b\delta}, F_{d\delta}$  снижения вероятностей  $P_3$  и  $P_2$  ложной тревоги и необнаружения при параллельном и последовательном информационном резервировании для заданных значений  $k$  последовательных запросов и  $n$  параллельно подключаемых источников информации соответственно согласно следующим выражениям:

$$\left. \begin{aligned}
 F_{bA} &= \prod_{i=1}^n \frac{(1-a)^{i-1} - d^{i-1}}{(1-a)^i - d^i}; \\
 F_{dA} &= \frac{1}{d^n}; \\
 F_{b\delta} &= \prod_{i=1}^k \frac{1 + \beta\gamma^i}{(1 + \beta\gamma^{i-1})\gamma}; \\
 F_{d\delta} &= \prod_{i=1}^k \frac{\beta + \gamma^i}{(\beta + \gamma^{i-1})\gamma}.
 \end{aligned} \right\} (9)$$

Из изложенного выше можно сделать следующие выводы:

— способ параллельного резервирования информации существенно снижает вероятность необнаружения ситуации и мало влияет на снижение вероятности ложной тревоги. Применение принципов мажоритарной логики позволяет снижать вероятность ложной тревоги, но при этом необходимо увеличивать число параллельных каналов, что связано с экономическими ограничениями;

— способ последовательного резервирования позволяет существенно снизить вероятность ложной тревоги при «незначительных» экономических затратах, однако применение этого способа ограничивается временем старения информации и корреляционными связями случайных самоустраниющихся отказов техники. Способ последовательного информационного резервирования легко реализуется в МПС, которые в настоящее время находят широкое применение. Последовательное информационное резервирование эффективно при задании оптимальных критериев подтверждения достоверности сообщения, если пришло « $k$ » сообщений из « $m$ » возможных сообщений, а если взять « $k$ » примерно равным половине « $m$ », то вероятно-

сти ложной тревоги и необнаружения будут равны. Если « $k$ » достаточно мало, то будет повышена вероятность ложной тревоги, а если « $k$ » стремится к « $m$ », то будет повышаться вероятность необнаружения;

— комбинированное применение параллельного и последовательного резервирования позволяет эффективно снижать как вероятность ложной тревоги, так и вероятность необнаружения при минимальных экономических затратах.

Согласно асимптотическим приближенным значениям коэффициентов  $Mb_{b\delta}, Mb_{dA}, Md_{b\delta}, Md_{dA}$ , определяемых формулами (7), выражения (9) можно записать следующими упрощенными зависимостями:

$$\left. \begin{aligned}
 \tilde{F}_{bA} &= \frac{1}{(1-a)^n}; \quad \tilde{F}_{dA} = \frac{1}{d^n}; \\
 \tilde{F}_{b\delta} &= \frac{1}{\gamma^k}; \quad \tilde{F}_{d\delta} = \frac{1}{\gamma^k}.
 \end{aligned} \right\} (10)$$

На основании выражений (10) можно найти оценку снизу для числа  $k$  последовательных запросов и числа  $n$  параллельных подключений, если заданы требования на  $\tilde{F}_{bA}, \tilde{F}_{dA}, \tilde{F}_{b\delta}, \tilde{F}_{d\delta}$  по снижению вероятностей  $P_3$  ложной тревоги и  $P_2$  необнаружения при параллельном и последовательном резервировании соответственно. Указанные оценки можно найти согласно следующим формулам:

$$\left. \begin{aligned}
 n_{bA} &> -\frac{\ln F_{bA}}{\ln(1-a)}; \quad K_{b\delta} > -\frac{\ln F_{b\delta}}{\ln \gamma}; \\
 n_{dA} &> -\frac{\ln F_{dA}}{\ln d}; \quad K_{d\delta} > -\frac{\ln F_{d\delta}}{\ln \chi}.
 \end{aligned} \right\} (11)$$

На основании изложенного можно решить следующую практическую задачу.

Пусть будет так, что быстротечность контролируемого процесса позволяет применить только  $k$  последовательных запросов одного источника информации. При этом снижение  $\tilde{F}_{b\delta}$  и  $\tilde{F}_{d\delta}$  вероятностей ложной тревоги и необнаружения можно оценить согласно формуле (10). Пусть значения  $\tilde{F}_{b\delta}$  и  $\tilde{F}_{d\delta}$ , полученные согласно (10), не устраивают заказчика, который требует понизить эти вероятности не менее чем в  $W$  и  $V$  раз соответственно. Тогда можно определить минимальное число  $n$  источников, подключаемых параллельно для обеспечения требований по  $W$  и  $V$ , согласно следующим выражениям [1, 5]:

$$\left. \begin{aligned}
 n_{bA} &> -\frac{\ln W - \ln F_{b\delta}}{\ln(1-a)}; \\
 n_{dA} &> -\frac{\ln V - \ln F_{d\delta}}{\ln d}.
 \end{aligned} \right\} (12)$$

Естественно, для удовлетворения требованиям заказчика надо выбрать большее число из  $n_{bA}$  и  $n_{dA}$ .

Матрицы, приведенные в табл. 1–4, характеризуют общие коэффициенты подавления  $F_{bA}, F_{dA}, F_{b6}, F_{d6}$ , рассчитанные по формулам (9). Причем число столбцов соответствует числу  $k$  последовательных запросов одного и того же источника, а число строк определяется числом  $n$  параллельно подключенных источников. В каждой клетке матрицы располагается коэффициент понижения, определяемый для числа последовательных запросов, соответствующего номеру столбца, и для числа параллельно подключенных источников,

■ Таблица 1. Коэффициенты понижения вероятностей ложной тревоги, определяемые при следующих исходных данных:  $a = 0,9; \beta = 1; b = d = 0,05$

$\frac{k}{n}$	1	2	3	4	$\frac{k}{n}$	1	2	3	4
1	1	15,78	262,1	4369,3	1	–	1	2	3
2	8,7	105,73	1755	29274,3	2	–	2	3	4
3	57,42	906,1	15050	250885,4	3	1	2		5
4	534	8426,5	139965	2333208,2	4	2	3	5	6

■ Таблица 2. Коэффициенты понижения вероятностей необнаружения, определяемые при следующих исходных данных:  $a = 0,9; \beta = 1; b = d = 0,05$

$\frac{k}{n}$	1	2	3	4	$\frac{k}{n}$	1	2	3	4
1	1	15,78	262,1	4369,3	–	–	1	2	3
2	20	315,6	5242,2	87388	1	–	2	3	4
3	400	6312	1048442	1747721,5	2	1	3	5	6
4	8000	126240	2096846,4	34954429,5	3	2	5	6	7

■ Таблица 3. Коэффициенты понижения вероятностей ложной тревоги, определяемые при следующих исходных данных:  $a = 0,9; \beta = 9; b = d = 0,05$

$\frac{k}{n}$	1	2	3	4	$\frac{k}{n}$	1	2	3	4
1	1	11,17	190,7	3007,4	–	–	1	2	3
2	6,7	74,8	1210,9	20149,3	–	–	1	3	4
3	57,42	641,4	10377,6	172682,4	1	1	2	4	5
4	534	5964,8	96510,1	1605928,7	2	2	3	4	6

■ Таблица 4. Коэффициенты понижения вероятностей необнаружения, определяемые при следующих исходных данных:  $a = 0,9; \beta = 9; b = d = 0,05$

$\frac{k}{n}$	1	2	3	4	$\frac{k}{n}$	1	2	3	4
1	1	16,56	276,1	4601,8	–	–	1	2	3
2	20	331,2	5521,1	92036,8	1	–	2	3	4
3	400	6624	110422,1	1840736	2	1	3	5	6
4	8000	132480	2208441,6	36814721,5	3	2	5	6	7

соответствующего номеру строки. В матрицах указанные коэффициенты представлены в виде конкретных чисел. Для лучшей наблюдаемости и облегчения анализа полученных оценок в матрицах, изображающих те же самые значения коэффициентов, последние приведены в виде десятичного порядка полученных значений.

Исходя из данных, представленных в табл. 1–4, можно сделать следующие выводы.

1. Комбинированная система последовательно-параллельного резервирования одновременно снижает вероятности необнаружения и ложной тревоги, но более эффективно подавляет вероятности необнаружения.

2. Значения априорных вероятностей слабо влияют на повышение достоверности информации с увеличением числа последовательных запросов.

3. Заданные коэффициенты понижения вероятностей ложной тревоги и необнаружения можно обеспечить двумя способами: либо увеличением числа последовательных запросов при заданном числе параллельно подключенных источников, либо увеличением числа параллельно подключенных источников при заданном числе последовательных запросов.

Вероятность полной группы событий [1, 5] при последовательно-параллельном резервировании определяется формулой

$$P_{16}(1 - P_{1A}) + P_{1A}(1 - P_{16}) + P_{1A}P_{16} + (1 - P_{1A})(1 - P_{16}) = 1, \quad (13)$$

где  $P_{1A}, P_{16}$  — вероятности верного сообщения только для параллельного и только для последовательного информационного резервирования соответственно.

На основании (13) системная вероятность  $P_{1c}$  верного сообщения при последовательно-параллельном информационном резервировании определяется формулой

$$P_{1c} = 1 - (1 - P_{1A})(1 - P_{16}), \quad (14)$$

где

$$P_{1A} = 1 - (1 - a)^n; P_{16} = \frac{1}{1 + \gamma^k}; \gamma = \frac{1 - a}{a}. \quad (15)$$

Если подставить формулы (15) в (14), то после несложных преобразований можно получить зависимость

$$P_{1c} = 1 - (1 - a)^n \frac{(1 - a)^k}{a^k + (1 - a)^k}. \quad (16)$$

Из выражения (16) после преобразований получим

$$(1 - a)^n = \frac{(1 - P_{1c})(a^k + (1 - a)^k)}{(1 - a)^k}. \quad (17)$$

После логарифмирования формулы (17) можно получить окончательную расчетную формулу определения зависимости  $n(k)$  числа параллельных источников информации от  $k$  последовательных запросов:

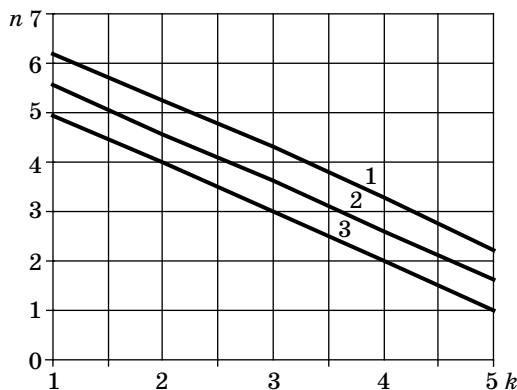
$$n(k) = \frac{\ln(1 - P_{1c}) + \ln(a^k + (1-a)^k) - k \ln(1-a)}{\ln(1-a)}. \quad (18)$$

Номограмма  $n(k)$  (рис. 1, а) получена по формуле (18) при следующих исходных данных:  $k = 1, 2, \dots, 5$ ;  $a = 0,97$ . Требуемая вероятность  $P_{1c}$  верного сообщения при совместном параллельно-последовательном информационном резервировании задана в трех вариантах.

Таким образом, в соответствии с исходными данными по номограмме можно графически определить требуемое число  $n$  параллельно подключенных источников информации при заданном  $k$  последовательном поступлении данных с одного источника информации и, наоборот, по заданному  $n$  можно графически определить необходимое число  $k$  для обеспечения требуемой вероятности  $P_{1c}$  системой источников информации с параллельно-последовательным резервированием информации. Для обеспечения требуемой величины  $P_{1c}$  с увеличением числа  $k$  последовательных данных число  $n$  параллельных источников информации можно уменьшить, а с увеличением  $n$  можно уменьшить  $k$ .

Достоверность информации отдельных источников информации, определяемая вероятностями,  $a, b, d$ , можно повысить, по крайней мере, двумя способами:

— посредством увеличения числа  $n$  источников информации; при этом будет увеличиваться вероятность  $P_{1n}$  правильного обнаружения контролируемого признака и, соответственно, снижаться вероятность  $P_{3n}$  и  $P_{2n}$  ложной тревоги и необнаружения контролируемого признака системой из  $n$  источников информации;



■ Рис. 1. Номограмма зависимости  $n$  от  $k$  при последовательно-параллельном информационном резервировании: 1 —  $(1 - P_{1c}) = 10^{-7}$ ; 2 —  $(1 - P_{1c}) = 10^{-8}$ ; 3 —  $(1 - P_{1c}) = 10^{-9}$

— если один и тот же источник информации запрашивается  $k$  раз с определенным интервалом времени, то, очевидно, вероятность  $P_{1k}$  правильного обнаружения контролируемого признака после  $k$ -го запроса также будет повышаться, а вероятности  $P_{3k}$  (ложной тревоги) и  $P_{2k}$  (необнаружения) будут, соответственно, снижены.

Оба способа с помощью теоретико-алгебраических предположений можно объединить, представив совокупность  $n$  источников информации, каждый из которых запрашивается  $k$  раз, в виде матрицы  $D_{ij}$ :

$$D_{ij} = \begin{pmatrix} u_{11} & u_{12} & \dots & u_{1k} \\ u_{21} & u_{22} & \dots & u_{k1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ u_{n1} & u_{n2} & \dots & u_{nk} \end{pmatrix}. \quad (19)$$

В матрице число строк соответствует числу  $n$  источников информации, т. е. число строк определяется пространственным или параллельным резервированием. Число столбцов  $k$  определяет число последовательных запрашиваний одного и того же источника информации, т. е. число столбцов определяется временным или последовательно-параллельным информационным резервированием. Элемент матрицы  $D_{ij}$  представляет собой  $i$ -й источник информации, который последовательно запрашивается  $j$  раз.

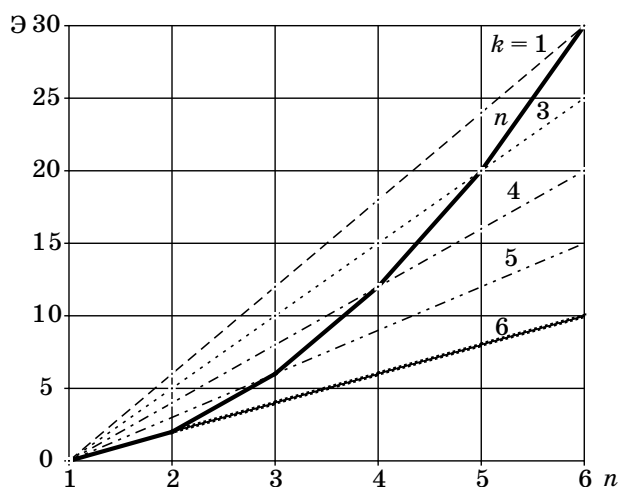
Применение некоррелированных  $k$  съёмов данных от одного и того же источника информации в информационной системе, состоящей из  $n$  источников информации, равносильно увеличению системы на число  $N_3$  эквивалентных датчиков, определяемое формулой

$$N_3 = n(k-1). \quad (20)$$

Если при этом учесть стоимость ( $C$ ) одного источника информации, то несложно оценить экономическую эффективность  $\mathcal{E} = C \times n(k-1)$  последовательно-параллельного информационного резервирования (рис. 2).

Необходимо также учесть реальные ограничения на реализацию обоих способов повышения достоверности информации. Для первого способа ограничением является увеличение материальных затрат, связанных с увеличением числа  $n$  источников информации. Для второго способа ограничением является время старения информации, которое зависит от быстротекучести управляемых процессов, а также время корреляции между случайными сбоями или самоустраняющимися техническими отказами запрашиваемого источника информации, которое не должно превышать временной интервал между двумя съемами информации от одного и того же датчика информационной системы.

Можно полагать, что в конкретной ситуации существуют резервы как по  $n$  (параллельному ре-



■ Рис. 2. Экономическая эффективность при последовательно-параллельном информационном резервировании

резервированию), так и по  $k$  (последовательному резервированию), которые позволяют существенно повысить достоверность информации.

В качестве примера нетрудно показать, что при использовании МПС управления параметров полета при  $1 - a = 0,05$ ,  $V = 1$  для информационной системы из четырех источников информации достоверность информации повышается в  $10^3$  раз. Если же в этой системе применять последовательный съем данных по четыре раза для каждого источника информации, то, согласно формуле (12), достоверность информации при этом повысится в  $10^7$  раз, т. е. на четыре порядка. При этом  $N_3 = 12$ , т. е. к четырем источникам информации как бы добавляется 12 эквивалентных источников информации. Это и есть неиспользованный резерв, который несложно реализовать на основе МПС.

Разумеется, приведенные выкладки получены с учетом абстрактных идеализированных условий. Практические результаты, очевидно, будут несколько ниже. Тем не менее, на практике существуют конкретные МПС, например:

- в радиолокационных измерителях, позволяющих существенно повышать достоверность информации при обработке получаемых данных по критерию « $k$  из  $m$ », согласно которому в реальном масштабе времени постоянно контролируется « $k$ » благоприятных исходов из « $m$ » производимых зондирований обозреваемого радиолокатором пространства;
- в системах автоматического управления полетом (САУП) при съеме и обработке информации с первичных датчиков. Введение МП-техники в САУП позволяет повышать достоверность получаемой информации в нормальных и опасных (факторных) режимах работы САУП, и, в конечном

итоге, достигается повышение надежности и эффективности авионики для обеспечения высокого уровня безопасности процессов полета.

### Выводы

В работе изложены основные способы повышения достоверности информации в информационно-управляющих системах методами параллельного, последовательного и комбинированного информационного резервирования.

- Способ параллельного резервирования информации существенно снижает вероятность обнаружения ситуации и мало влияет на снижение вероятности ложной тревоги. Применение принципов мажоритарной логики позволяет снижать вероятность ложной тревоги, но при этом необходимо увеличивать число параллельных каналов, что связано с экономическими ограничениями.
- Способ последовательного резервирования позволяет существенно снизить вероятность ложной тревоги при «незначительных» экономических затратах, однако применение этого способа ограничивается временем старения информации и корреляционными связями случайных самоустраивающихся отказов техники.
- Комбинированное применение параллельного и последовательного резервирования позволяет эффективно снижать как вероятность ложной тревоги, так и вероятность обнаружения при минимальных экономических затратах.

### Литература

1. Соченко П. С., Аль-Аммори О. М., Аль-Аммори А. Способы повышения достоверности информации в системах управления / НАН Украины, Ин-т кибернетики им. В. М. Глушкова. Киев, 1998. 30 с.
2. Соченко П. С., Аль-Аммори А. Н., Аль-Аммори О. М., Дагман Я. Способы повышения эффективности информационно-управляющих систем. Киев: Наук. світ, 1999. 30 с.
3. Абезгаус Т. Т., Тронь А. П. и др. Справочник по вероятностным расчетам. М.: Воениздат, 1989. 656 с.
4. Вентцель Е. С., Овчаров Л. А. Теория вероятности и ее инженерные приложения. М.: Наука, 1988. 480 с.
5. Аль-Аммори А. Вероятностный способ обеспечения эффективности информационных систем // Управління проектами, системний аналіз і логістика / НТУ. Киев, 2006. Вип. 3. С. 178–180.
6. Аль-Аммори А. Н. Исследование способов повышения надежности контроля пожарной ситуации на борту воздушного судна // Проблемы эксплуатации и надежности авиационной техники: Сб. науч. тр. / КМУГА. Киев, 1998. С. 128–131.