V. A. Sizov, Models and methods of virtual-recovered redundancy of data of automatic information-control systems under extreme conditions, *Avtomat. i Telemekh.*, 1998, Issue 7, 176–184

Автоматика и телемеханика, № 7, 1998

УДК 62-506.16

© 1998 г. **В. А. СИЗОВ, канд. техн. наук**
(Тульское ВАИУ)

МОДЕЛИ И МЕТОДЫ ВИРТУАЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНОГО РЕЗЕРВИРОВАНИЯ ДАННЫХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

В статье рассмотрены постановки и методы решения задач повышения оперативности и сохранности обработки данных автоматизированных информационно-управляющих систем в условиях чрезвычайных ситуаций за счет разработки формализованных моделей и методов виртуально-восстановительного резервирования. В рамках системы резервирования рассмотрены задачи проектирования виртуально-восстановительного резерва и его размещения в узлах сети ЭВМ по критериям равномерного распределения выигрыша от использования виртуально-восстановительного резерва по узлам сети ЭВМ, минимума степени виртуальности резерва. Предложены эффективные методы их решения.

1. Введение

Широкое применение автоматизированных информационно-управляющих систем в процессах организационного управления, а также внедрение новых технологий обработки данных на базе сетей ЭВМ в средствах информационной поддержки принятия решений по ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций (ЧС) обусловливают актуальность разработки формализованных моделей и методов повышения качества выходной информации с учетом особенностей функционирования систем данного класса [1].

Под выходной информацией, согласно ГОСТу 34.003-90, понимается информация, получаемая в результате выполнения функций автоматизированной системы и выдаваемая на объект ее деятельности, пользователям или в другие системы. Под качеством выходной информации в автоматизированных информационно-управляющих системах, согласно ГОСТу 15467-79, понимается совокупность свойств информации, обусловливающих ее пригодность удовлетворять потребности пользователей при решении стоящих перед ними задач.

Автоматизированные информационно-управляющие системы быстрого реагирования, построенные для поддержки принятия решений в условиях ЧС, предъявляют повышенные требования как к оперативности обработки данных, использующихся в этих системах, так и к их сохранности. Перечисленные характеристики во многом определяются качеством проектирования, ведения и актуализации распределенных баз данных, положенных в основу автоматизированных информационно-управляющих систем быстрого реагирования [2–4].

Однако в известных моделях оптимизации проектирования распределенных баз данных не в полной мере учитываются значения показателей качества входной информации, которые в значительной степени влияют как на качество выходной информации, так и в целом на эффективность эксплуатации систем рассматриваемого класса.

Одними из основных системных методов повышения качества выходной информации в автоматизированных информационно-управляющих системах, направленными на улучшение надежностных и вероятностно-временных характеристик функционирования систем, являются резервирование и восстановление данных [5, 6].

С одной стороны, разрушение данных автоматизированных информационно-управляющих систем быстрого реагирования в условиях ЧС недопустимо, поскольку вызывает ухудшение эффективности функционирования системы или выход ее из строя. С другой стороны, использование резерва, построенного с помощью традиционных средств введения избыточности (копии и предыстории), в ряде случаев, требует дополнительного временно́го ресурса, который всегда является дефицитом при принятии решений в условиях ЧС.

Особенности функционирования автоматизированных информационно-управляющих систем на базе сетей ЭВМ позволяют при решении задач повышения качества выходной информации методами резервирования и восстановления, кроме традиционных средств введения избыточности, ввести и достаточно эффективно использовать избыточность, которую можно определить как виртуально-восстановительную. Она учитывает степень соответствия информации в конкретный момент времени реальному состоянию объектов учета.

Виртуально-восстановительное резервирование состоит в том, что в большинстве случаев задачи, решаемые территориально-распределенными органами управления в условиях ЧС, позволяют заранее выделить необходимые наборы данных (промежуточные массивы) и распределить их по узлам сети ЭВМ для немедленного использования в будущем. В отличие от структурно-технологического резерва [7] в состав виртуально-восстановительного резерва могут входить как сами данные, так их копии и/или предыстории.

Применение в автоматизированных информационно-управляющих системах быстрого реагирования виртуальных (невосстанавливаемых за директивное время) данных (предысторий) оправдывается, с одной стороны, необходимостью скорейшего принятия решений в условиях ЧС, с другой – способностью человека использовать дополнительную информацию, полученную по другим каналам (в том числе, эвристическую) и свой опыт для корректировки этих данных.

Таким образом, в ряде случаев допускается

$$(1) \qquad |x(t) - x(t-\tau)| \leqslant \delta, \quad \delta > 0, \quad \forall\tau, \quad \tau \in [0, t],$$

где $x(t)$, $x(t-\tau)$ – соответствующие значения какого-либо параметра информационного элемента в момент времени t и $t-\tau$, δ – абсолютная граница допустимых пределов отклонений используемой информации от реальной. Выполнение неравенства (1) обусловливает актуальность информационного элемента на интервале $T = [0, t]$ [8]. При этом под степенью виртуальности резерва понимается вероятность неактуальности всех составляющих его элементов на интервале T.

2. Постановка задач синтеза оптимального виртуально-восстановительного резерва и их сведение к многомерным задачам о ранце

Одной из основных задач виртуально-восстановительного резервирования данных, решаемых на этапе технического проектирования, является задача определения оптимального содержания виртуально-восстановительного резерва и его размещения по узлам сети ЭВМ.

Пусть M – число узлов сети ЭВМ, N – число информационных элементов системы; α_n – относительная частота корректировок n-го информационного элемента (число корректировок на заданный период времени T); $t^n_{mm'}$ – время передачи n-го информационного элемента из m-го в m'-й узел сети ЭВМ; b_n – величина объема n-го информационного элемента; $W = \|\lambda_{nm}\|$ – матрица взаимосвязей источников информации (узлов сети ЭВМ) и информационных элементов, где $\lambda_{nm} = 1$, если источником n-го информационного элемента является m-й узел сети ЭВМ и $\lambda_{nm} = 0$, в противном случае; $C = \|c_{nm}\|$ – матрица выигрышей, где c_{nm} – взвешенные оценки выигрыша, получаемого пользователем в результате размещения n-го информационного элемента в m-м узле сети ЭВМ, $c_{nm} \in [0, 1]$, $\forall n$, $n = \overline{1, N}$, $\forall m$, $m = \overline{1, M}$. Способы построения матрицы C определяются конкретными условиями применения автоматизированных информационно-управляющих систем. В частности, оценка выигрыша, получаемого пользователем в результате размещения n-го информационного элемента в m-м узле сети ЭВМ может складываться из объективных оценок (например, времени передачи n-го информационного элемента в m-й узел из других узлов сети ЭВМ) и субъективной оценки негативизма по отношению к необходимости передачи n-го информационного элемента в m-й узел сети ЭВМ.

Тогда, используя следующие переменные величины:

$$x_{nm} = \begin{cases} 1, & \text{если } n\text{-й информационный элемент размещается в } m\text{-м} \\ & \text{узле сети ЭВМ;} \\ 0, & \text{в противном случае,} \end{cases}$$

степень виртуальности резерва $P(x_{nm})$ можно определить по следующей формуле

$$(2) \qquad P(x_{nm}) = 1 - \prod_{n=1}^{N} \left(1 - \alpha_n \sum_{m=1}^{M} \sum_{m'=1}^{M} x_{nm} \lambda_{nm'} t^{n}_{mm'} \right).$$

В случаях, когда территориально-распределенные системы состоят из однородных элементов по признаку степени риска возникновения ЧС (например, метрополитен [9]), в качестве основных критериев синтеза виртуально-восстановительного резерва целесообразно использовать максиминный критерий равномерного распределения выигрыша по узлам сети ЭВМ, критерий минимума степени виртуальности резерва и др.

Задача проектирования виртуально-восстановительного резерва по первому критерию имеет следующий вид.

Найти:

$$(3) \qquad \max_{x_{nm}} \min_{m} \sum_{n=1}^{N} c_{nm} x_{nm}$$

при ограничениях

– на степень виртуальности резерва

$$(4) \qquad 1 - \prod_{n=1}^{N} \left(1 - \alpha_n \sum_{m=1}^{M} \sum_{m'=1}^{M} x_{nm} \lambda_{nm'} t^{n}_{mm'} \right) \leqslant P^*,$$

где P^* – максимально допустимая степень виртуальности резерва;

– на относительное время корректировок информационных элементов

$$(5) \qquad \sum_{n=1}^{N} \sum_{m=1}^{M} \sum_{m'=1}^{M} x_{nm} \alpha_n \lambda_{nm'} t^{n}_{mm'} \leqslant T^*_{\text{кор}},$$

где $T^*_{\text{кор}}$ – максимально допустимое относительное время корректировок информационных элементов (на интервале T);

– на объем внешней памяти m-го узла сети ЭВМ

$$(6) \qquad \sum_{n=1}^{N} x_{nm} b_n \leqslant B^*_m, \quad \forall m, \quad m = \overline{1, M},$$

где B^*_m – максимально допустимый объем памяти m-го узла для хранения информации;

– на отсутствие дублирования информационных элементов в узлах сети ЭВМ

$$(7) \qquad \sum_{n=1}^{N} x_{nm} = 1, \quad \forall m, \quad m = \overline{1,M}.$$

Задача проектирования виртуально-восстановительного резерва по критерию минимума степени виртуальности резерва формулируется следующим образом.

Найти:

$$\min_{x_{nm}} 1 - \prod_{n=1}^{N} \left(1 - \alpha_n \sum_{m=1}^{M} \sum_{m'=1}^{M} x_{nm} \lambda_{nm'} t^{n}_{mm'} \right)$$

при ограничениях (5)–(7).

Утверждение 1. *Решение задачи* (3)–(7) *является допустимым при* $P^* \Rightarrow 1$ *и выполнении ограничений* (5)–(7).

Доказательство. Пусть $\varphi_n = \sum\limits_{m=1}^{M} \sum\limits_{m'=1}^{M} x_{nm}\ \alpha_n\ \lambda_{nm'}\ t^{n}_{mm'}$. Тогда ограничения (4), (5) будут иметь следующий вид

$$(8) \qquad \begin{cases} 1 - \prod\limits_{n=1}^{N} (1 - \varphi_n) \leqslant P^*; \\ \sum\limits_{n=1}^{N} \varphi_n \leqslant T^*_{\text{кор}}. \end{cases}$$

Путем логарифмирования первого неравенства системы (8) и разложения функции логарифма в степенной ряд последовательно получим:

$$\begin{cases} \sum\limits_{n=1}^{N} \ln(1 - \varphi_n) \geqslant \ln(1 - P^*); \\ \sum\limits_{n=1}^{N} \varphi_n \leqslant T^*_{\text{кор}}; \end{cases} \qquad \begin{cases} \sum\limits_{n=1}^{N} \varphi_n \leqslant -\ln(1 - P^*) - \varepsilon; \\ \sum\limits_{n=1}^{N} \varphi_n \leqslant T^*_{\text{кор}}, \end{cases}$$

где ε – остаточный член ряда.

Очевидно, что при $P^* \Rightarrow 1$ ограничение (5) является более жестким. Предложенный анализ жесткости ограничений может быть использован для снижения размерности задач с конкретными исходными данными.

Современные автоматизированные информационно-управляющие системы организационного типа на базе сетей ЭВМ критичны к объему информации, передаваемой по каналам связи, ввиду низкой пропускной способности последних. Поэтому наиболее актуальной можно считать задачу нахождения

$$\max_{x_{nm}} \min_{m} \sum_{n=1}^{N} c_{nm} x_{nm}$$

при ограничении (5). Данная задача сводится к задаче максимизации путем введения дополнительных переменных $y_m = \{0, 1\}$. Она имеет следующий вид.

Найти:

$$\max_{\{x_{nm}, y_m\}} \sum_{m=1}^{M} y_m \sum_{n=1}^{N} c_{nm} x_{nm}$$

при ограничениях

- $\sum\limits_{m=1}^{M} y_m \sum\limits_{n=1}^{N} c_{nm} x_{nm} \leqslant \sum\limits_{n=1}^{N} c_{nm} x_{nm}$, $\forall m$, $m = \overline{1, M}$;
- $\sum\limits_{m=1}^{M} y_m = 1$;
- $\sum\limits_{n=1}^{N} \sum\limits_{m=1}^{M} \sum\limits_{m'=1}^{M} x_{nm} \alpha_n \lambda_{nm'} t^n_{mm'} \leqslant T^*_{\text{кор}}$.

Пусть $t^n_{mm'} = \text{const}$, $\forall m$, $m = \overline{1, M}$; $\forall m'$, $m' = \overline{1, M}$, $m' \neq m^*$, $\forall n$, $n = \overline{1, N}$. Тогда решение задачи определения оптимального содержания виртуально-восстановительного резерва и его размещения в сети ЭВМ сводится к решению M многомерных задач о ранце [10], которые формулируются следующим образом.

Найти:

$$\max \sum_{n=1}^{N} c_{nm^*} x_{nm^*}, \quad \forall m^*, \quad m^* = \overline{1, M} \tag{9}$$

при ограничениях

$$- \sum_{m=1}^{M} \sum_{n=1}^{N} \alpha_n x_{nm} \leqslant D; \quad D = T^*_{\text{кор}} / t^n_{mm'}; \tag{10}$$

$$\begin{gathered} - \sum_{n=1}^{N} (c_{nm^*} + \alpha_n) x_{nm^*} + \sum_{n=1}^{N} (\alpha_n - c_{nm'}) x_{nm'} + \\ + \sum_{\substack{m=1 \\ m \neq m' \\ m \neq m^*}}^{M} \sum_{n=1}^{N} \alpha_n x_{nm} \leqslant D, \quad \forall m', \quad m' = \overline{1, M}, \quad m' \neq m^*. \end{gathered} \tag{11}$$

В предложенной постановке задачи все коэффициенты при переменных являются неотрицательными числами.

3. Особенности применения метода ветвей и границ при решении задач синтеза виртуально-восстановительного резерва

Высокая трудоемкость решения многомерных задач о ранце требует анализа и дополнительных исследований их особенностей, которые можно выразить системой следующих утверждений.

Утверждение 2. *Верхние границы множества решений задачи* (9)–(11) *для заданного m^*, вычисленные по всем ограничениям* (10)–(11) *равны между собой при условии*:

$$\sum_{n=1}^{N} (c_{nm^*} + \alpha_n) \leqslant D \tag{12}$$

или

$$\sum_{n=1}^{N} \alpha_n \leqslant D - N. \tag{13}$$

Доказательство. Рассмотрим матрицу $C = \|c_{nm}\|$, представленную в векторной форме $C = (c_i)$, где $i = (n-1) \times M + m$, $\forall n$, $n = \overline{1,N}$, $\forall m$, $m = \overline{1,M}$, $i = \overline{1, N \times M}$.

Для каждого из ограничений определим последовательность чисел $H^p = \{h_i^p\}$, $p = \overline{1,P}$ (P – число ограничений задачи), элементы которой ранжированы следующим образом:

$$h_{j+1}^p \geqslant h_{j+2}^p \geqslant \ldots \geqslant h_i^p \geqslant \underbrace{0 \geqslant \ldots \geqslant 0}_{N \times (M-1) \text{ нулей}},$$

где $h_i^p = \dfrac{c_i}{d_i^p}$, $\forall i = \overline{1, N \times M}$, d_i^p, $\forall p = \overline{1,P}$ – соответствующие коэффициенты при переменных x_i ограничений (10), (11), $0 \leqslant j \leqslant N \times M$, $1 \leqslant \ell \leqslant N \times M$.

Пусть $U = S \cup E_s \cup G_s$, $S \subseteq U$, $E_s \subseteq U$, $G_s \subseteq U$, $S \cap E_s = \varnothing$, $S \cap G_s = \varnothing$, $E_s \cap G_s = \varnothing$, где U – множество переменных x_i, S – множество фиксированных переменных x_i, вошедших в допустимое решение, E_s – множество зависимых переменных x_i, которые не могут быть включены в множество S, так как для них выполняется неравенство $d_i > D - \sum\limits_{x_i \in S} d_i x_i$, G_s – множество переменных, из которых производится выбор для включения в S очередной переменной.

Тогда предположим, что $x_i \in S$, $\forall i$, $i = \overline{1,j}$, $j < N \times M$, и выполняются условия:

(14) $$h_{j+1}^p \geqslant h_{j+2}^p \geqslant \ldots \geqslant h_{\ell_p}^p, \quad \ell_p \leqslant N \times M, \quad \forall p = \overline{1,P};$$

(15) $$\sum_{i=j+1}^{\ell_p} d_i^p > D - \sum_{x_i \in S} d_i^p x_i;$$

(16) $$\sum_{i=j+1}^{\ell_p - 1} d_i^p \leqslant D - \sum_{x_i \in S} d_i^p x_i.$$

Условия (15), (16) означают, что в множество S без нарушения p-го ограничения можно дополнительно ввести элементы $x_{j+1}, x_{j+2}, \ldots, x_{\ell-1}$. При введении в множество S элементов $x_{j+1}, x_{j+2}, \ldots, x_\ell$ p-е ограничение нарушится.

Для определения верхней границы решения используется выражение:

$$H_s = \sum_{x_i \in S} c_i^p x_i \min\left\{L_s^1, L_s^2, L_s^p, \ldots, L_s^p\right\},$$

где $L_s^p = \sum\limits_{i=j+1}^{\ell_p - 1} c_i + h_{\ell_p}^p \Delta D^p$; $\Delta D^p = D - \sum\limits_{x_i \in S} d_i^p x_i - \sum\limits_{i=j+1}^{\ell_p - 1} d_i^p$.

Из условия (12) следует, что $h_{\ell_p}^p = \dfrac{c_{\ell_p}}{d_i^p} = 0$, так как $c_{\ell_p} = 0$, $\forall p$, $p = \overline{1,P}$, $\ell_p > N$.

Поэтому $L_s^1 = L_s^2 = \ldots = L_s^p = \sum\limits_{i=j+1}^{\ell_p - 1} c_i = \sum\limits_{n=1}^{N} c_{nm^*}$.

Предыдущее равенство будет верным при более жестком условии $c_i = \max\limits_i c_i = 1$, т.е. $\sum\limits_{n=1}^{N} \alpha_n \leqslant D - N$. Физически это означает, что верхней границей множества решений задачи по всем ограничениям является максимальный суммарный выигрыш от распределения всех N элементов в m^*-й узел при соблюдении ограничений на частоту корректировок. Пусть условие (12) не выполняется:

$$\sum_{n=1}^{N} (c_{nm^*} + \alpha_n) > D.$$

Тогда $\ell < N$ и при $S = \varnothing$ верхние границы множества решений задачи по всем ограничениям определяются формулами:

$$L_s^1 = \sum_{i=j+1}^{\ell_1-1} c_i + h_{\ell_1}^1 \left(D - \sum_{i=j+1}^{\ell_1-1} d_i^1 \right) = \sum_{i=j+1}^{\ell_1-1} c_i + \frac{c_{n'm^*}}{\alpha_{n'}} \left(D - \sum_{i=j+1}^{\ell_1-1} \alpha_i \right);$$

$$L_s^p = \sum_{i=j+1}^{\ell_p-1} c_i + h_{\ell_p}^p \left(D - \sum_{i=j+1}^{\ell_p-1} d_i^p \right) =$$

$$= \sum_{i=j+1}^{\ell_p-1} c_i + \frac{c_{n^{**}m^*}}{\alpha_{n^{**}} + c_{n^{**}m^*}} \left(D - \sum_{i=j+1}^{\ell_p-1} (c_i + \alpha_i) \right),$$

$$\forall p, \quad p = \overline{2, P}.$$

Величины ℓ_1 и ℓ_p должны удовлетворять следующим условиям:

$$\begin{cases} \sum\limits_{i=j+1}^{\ell_1} \alpha_i > D; \\ \sum\limits_{i=j+1}^{\ell_1-1} \alpha_i \leqslant D; \\ \alpha_i \geqslant 1 \quad \forall i = \overline{1, N}; \end{cases} \qquad \begin{cases} \sum\limits_{i=j+1}^{\ell_p} (\alpha_i + c_i) > D; \\ \sum\limits_{i=j+1}^{\ell_p-1} (\alpha_i + c_i) \leqslant D; \\ \alpha_i \geqslant 1, \quad 0 \leqslant c_i \leqslant 1, \quad \forall i = \overline{1, N}. \end{cases}$$

Исходя из их одновременного выполнения следует, что $\ell_p \leqslant \ell_1$ $\forall p$, $p = \overline{2, P}$. Таким образом, с учетом $h_{\ell_1}^1 \neq h_{\ell_p}^p$, $d_i \neq d_i^p$, $\forall i$, $i = \overline{1, \ell_1}$, $\forall p$, $p = \overline{2, P}$, очевидно, что, $L_s^1 \neq L_s^p$, $\forall p$, $p = \overline{2, P}$. Утверждение 2 доказано.

Следствие 1. При выполнении условия (12) *для определения верхней границы решения по всем ограничениям необходимо преобразовать целевую функцию задачи к виду:*

$$\sum_{n=1}^{N} \left(c_{nm^*} x_{nm^*} + \sum_{\substack{m=1 \\ m \neq m^*}}^{M} \varepsilon x_{nm} \right),$$

где ε – сколь угодно малое положительное число.

Действительно, неопределенность в выборе наиболее жесткого ограничения в задаче может значительно снизить эффективность метода “ветвей и границ”. Введение ε в качестве коэффициента при переменных x_{nm} целевой функции не влияет на ее максимальное значение при любых значениях x_{nm}, однако позволяет строить оптимальное дерево ветвлений и исключить анализ бесперспективных вариантов решений задачи.

Утверждение 3. В случае однородности виртуально-восстановительного резерва относительно выигрыша от его распределения по узлам сети ЭВМ, т.е. при $c_{nm} = 1$ $\forall n$, $n = \overline{1, N}$, $\forall m$, $m = \overline{1, M}$, приближенным решением задачи (9)–(11) *является множество решений, определяемое выражением:*

$$\sum_{n=1}^{N} x_{nm} = \left] \frac{D}{\max\limits_{\{n\}} \alpha_n M} \right[\quad \forall m, \quad m = \overline{1, M},$$

где $\left]\dfrac{D}{\max\limits_{\{n\}}\alpha_n M}\right[$ *– целая часть отношения* $\dfrac{D}{\max\limits_{\{n\}}\alpha_n M}$.

Доказательство. При $c_{nm} = 1$ $\forall n$, $n = \overline{1,N}$, $m = \overline{1,M}$ ограничения задачи (9)–(11) примут следующий вид:

$$\sum_{n=1}^{N}\sum_{m=1}^{M}\alpha_n x_{nm} \leqslant D, \tag{17}$$

$$\sum_{n=1}^{N} x_{nm^*} - \sum_{n=1}^{N} x_{nm} \leqslant 0 \quad \forall m = \overline{1,M}, \quad m \neq m^*. \tag{18}$$

После сложения левых и правых частей ограничений (17), (18) получится следующее неравенство:

$$\sum_{n=1}^{N}(M + \alpha_n - 1)x_{nm^*} + \sum_{n=1}^{N}\sum_{\substack{m=1\\ m\neq m^*}}^{M}(\alpha_n - 1)x_{nm} \leqslant D. \tag{19}$$

Заменим α_n на $\max\limits_{\{n\}}\alpha_n$. Тогда получим $M\sum\limits_{n=1}^{N} x_{nm^*}\left(\max\limits_{\{n\}}\alpha_n - 1\right)\sum\limits_{n=1}^{N}\sum\limits_{m=1}^{M} x_{nm} \leqslant$ $\leqslant D$. Так как $\sum\limits_{n=1}^{N}\sum\limits_{m=1}^{M} x_{nm} \leqslant \dfrac{D}{\max\limits_{n}\alpha_n}$ по условию (17), то $\sum\limits_{n=1}^{N} x_{nm^*} \leqslant \dfrac{D}{\max\limits_{n}\alpha_n M}$.

Таким образом, с учетом того, что задача (9)–(11) является линейной с булевыми переменными, ее приближенное решение определяется выражением:

$$\sum_{n=1}^{N} x_{nm} = \left]\frac{D}{\max\limits_{\{n\}}\alpha_n M}\right[\quad \forall m = \overline{1,M}.$$

Следствие 2. В случае однородности виртуально-восстановительного резерва относительно выигрыша от его распределения по узлам сети ЭВМ, а также относительно частоты корректировок его элементов, т.е. при $\alpha_n = 1$ $\forall n$, $n = \overline{1,N}$, *множество решений задачи* (9)–(11) *определяется выражением*

$$\sum_{n=1}^{N} x_{nm} = \left]\frac{D}{M}\right[\quad \forall m = \overline{1,M}.$$

Рассмотренные утверждения и следствия позволяют строить эффективные алгоритмы решения задач виртуально-восстановительного резервирования, основанные на идеях метода “ветвей и границ” [11].

4. Заключение

Результатом решения задачи синтеза виртуально-восстановительного резерва является оптимальный по заданным критериям информационный состав массивов данных, размещенных по узлам сети ЭВМ. Целесообразность решения этой задачи определяется конкретными условиями ведения и актуализации распределенных баз данных. Применение виртуально-восстановительного резервирования данных автоматизированных информационно-управляющих систем, основанное на более гибком использовании понятия качества информации позволяет повысить оперативность и обоснованность принятия решений по ликвидации последствий ЧС, сложившихся в территориально-распределенных системах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Архипова Н. И., Кульба В. В.* Управление в условиях чрезвычайных ситуаций: Учебное пособие. М.: РГГУ, 1994.
2. *Мамиконов А. Г., Кульба В. В., Косяченко С. А., Ужастов И. А.* Оптимизация структур распределенных баз данных в АСУ. М.: Наука, 1990.
3. *Хаббард Дж.* Автоматизация проектирования баз данных. М.: Мир, 1984.
4. *Кульба В. В., Косяченко С. А., Ужастов И. А.* Методы автоматизации проектирования РБД в интегрированных системах управления производством // 8 Междунар. конф. "Применение ЭВМ в технике и управлении производством – COMPCONTROL-87" (Материалы конференции). Ч. II/2. Москва, 1987.
5. *Мамиконов А. Г., Кульба В. В., Шелков А. Б.* Достоверность, защита и резервирование информации в АСУ. М.: Энергоатомиздат, 1986.
6. *Георгидзе И. А., Карсанидзе Т. В.* Формализованные модели и методы оптимального резервирования и восстановления данных информационно-управляющих систем в условиях чрезвычайных ситуаций // Третья международная конференция "Проблемы управления в чрезвычайных ситуациях". М.: ИПУ, 1995.
7. *Карсанидзе Т. В.* Структурно-технологическое резервирование данных в системах, функционирующих на базе ЛВС // 4-е Всесоюзное совещание по распределенным вычислительным системам массового обслуживания (Душанбе, 1990 г.): тез. докладов. М.: ИПУ, 1991.
8. *Костогрызов А. И., Петухов А. В., Щербина А. М.* Основы оценки, обеспечения и повышения качества выходной информации в АСУ организационного типа. М.: Вооружение. Политика. Конверсия, 1994.
9. *Сизов В. А., Колесников М. Б.* Проектирование автоматизированных информационных систем быстрого реагирования для информационной поддержки принятия решений по ликвидации последствий чрезвычайных происшествий на метрополитене // Автоматизация и современные технологии. 1996. № 11.
10. *Land A. H., Doig A. G.* An automatic method of solving discrete programming problems // Econometrica. 1960. V. 28. No. 3. P. 497–520.
11. *Алексеев О. Г.* Комплексное применение методов дискретной оптимизации. М.: Наука, 1987.

Поступила в редакцию 30.04.97