ISSN 2658 – 7505
Выпуск №6, 2019
Электронный научный журнал «Вестник молодёжной науки России»

УДК 004.052.3

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ПОСТАНОВОК И МЕТОДОВ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОЦЕНИВАНИЯ ВЕРОЯТНОСТНО-ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ВЫСОКОЙ ГОТОВНОСТИ

Литвяк Р.К., *litvyak_rk@rambler.ru*
Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, г. Новочеркасск

В статье изложен обзор существующих постановок, методов и моделей оценки вероятностно-временных характеристик информационных систем высокой готовности в рамках традиционного вероятностно-аналитического подхода на основе исследований отечественных и зарубежных ученых. Предложена классификация описанных в периодической и монографической научной литературе математических моделей оценки вероятностно-временных характеристик информационных систем высокой готовности. Для каждого выделенного класса задач рассматриваются типичные постановки и методы решения.

ANALYSE OF MODELS FOR EVALUATIING TEMPORAL AND PROBABILISTIC PARAMETERS OF HIGH AVAILIBILITY INFORMATION SYSTEMS

Litvyak R.K.
Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk

This article contains review of available methods and models for calculating probabilistic and temporal parameters of high availability information systems (under the traditional analytical probabilistic approach) based on some papers from both Russian and foreign researchers. Classification of these models for calculating probabilistic and temporal parameters of high availability information systems (from research papers) is given. Typical problem statements and solution methods for every problem class are considered.

В данной работе дается развернутый анализ существующих подходов и математических моделей информационных систем с различными механизмами поддержки избыточности. Эта группа моделей включает в себя модели оценки надежности системно-надежностных параметров информационных систем со структурной избыточностью и модели оценки надежности системно-надежностных параметров информационных систем с информационной избыточностью.

В работах [1, 2] изложены методы оценки и повышения надежности информационных систем из функционально неоднородных модулей (из первого класса моделей). Рассматривается вычислительная система, содержащая m узлов, в которых размещаются n типов функциональных модулей, каждый из которых r-кратно резервируется. При этом в каждом узле может размещаться не более d функциональных модулей. Размещение модулей по узлам системы задается матрицей $\|\varphi_{ij}\|$, элемент которой $\varphi_{ij}=1$, если в j-м узле размещен и исправен модуль i-го типа, в противном случае $\varphi_{ij}=0$. Требуется определить вероятность безотказной работы для рациональных по надежности вариантов размещения информационных ресурсов по узлам системы. Алгоритм решения задачи предполагает различные стратегии конструирования матриц $\left\|\varphi_{ij}\right\|$ для следующих случаев:

1) $r \leq m/2$, $z = m/r$ – целое число;
2) $r > m/2$, $z = m/(m\text{-}r)$ – целое число;
3) $r \leq m/2$, $z = m/r$ – не целое число;
4) $r > m/2$, $z = m/(m\text{-}r)$ – не целое число.

Второй класс данной группы моделей ориентирован на информационно-управляющие системы с информационной избыточностью [3,4,5-13]. В качестве средства повышения надежности и качества функционирования информационных систем предлагается резервирование программных модулей и информационных массивов, результатом применения которого является снижения временных и трудовых издержек на восстановление потерянной информации.

В работах [3,4] проводится анализ эффективности использования методов оперативного и восстановительного резервирования. Авторы предлагают следующие альтернативные стратегии оперативного резервирования информационных массивов:

1) имеется несколько копий информационного массива; в случае разрушения основного массива используется первая резервная копия, в случае разрушения первой резервной копии используется вторая резервная копия и т.д.;

2) данная стратегия предусматривает в качестве копий текущего массива использовать его предыстории, т.е. предыдущие массивы и массивы изменений; в случае разрушения текущего массива, его восстановление происходит из предыдущего массива и массива изменений, в случае разрушения и этого массива – восстановление возможно из предыдущей предыстории и т.д.;

3) в этой стратегии объединены идей первых двух стратегий: для текущего массива создаются несколько резервных копий и хранятся несколько предысторий, в целях восстановления сначала используются резервные копии, а в случае их разрушения – предыстории.

Стратегии резервирования характеризуются такими вероятностными и временными показателями, как вероятность успешного решения задачи, коэффициент готовности информационной системы, среднее время решения задачи при условии ее решения, среднее время до разрушения массива и его копий и/или предысторий, планируемое время доступа к ЭВМ, для оценки которых используется аппарат марковских процессов с дискретным временем и дискретным множеством состоянии и аппарат теории случайных блужданий. Рассмотрим более подробно предложенные исследователями формализованные аналитические модели и методы анализа эффективности стратегий резервирования программных модулей и информационных массивов в информационных системах, а также полученные результаты.

В соответствии с 1-й стратегией для основного массива F_{00} создаются k копий $\{F_{0r}\}$, $r=\overline{1,k}$, вероятности разрушения и работоспособного состоянии массива за единичный интервал времени равны q и p=1-q соответственно. Процесс функционирования информационной системы в этом случае определяется уравнением

$$p + pq + pq^2 + ... + pq^k + q^{k+1} = 1,$$

вероятность успешного решения задачи в информационной системе при использовании 1-й стратегии равна $\rho_I = 1 - q^{k+1}$.

Для определения оптимального числа резервных копий предлагаются вероятностный и детерминированный подходы. Вероятностная оценка числа резервных копий определяется из выражения

$$\bar{k} = (d^{-1}\sigma t)^2,$$

где $\sigma = \sqrt{qp^{-2}}$, t – стандартное нормальное отклонение, $2d$ – допустимые пределы изменения k для заданного уровня риска. Детерминированная оценка числа резервных копий в предположении о малости σ при заданной величине $\rho_I = \gamma$ равна $\bar{k} = \dfrac{\ln(1-\gamma)}{\ln q} - 1$.

Выражение для определения среднего времени решения задачи в информационной системе с k резервными копиями и условием успешного решения задачи имеет вид

$$M(T_I^{(1)}) = \theta p^{-1}(1 - q^{k+1}(1 + (k+1)p),$$

где θ – время решения задачи, время решения задачи вне зависимости от успешности ее решения определяется равенством

$$M(T_I^{(2)}) = \theta p^{-1}(1 - q^{k+1}),$$

а планируемое средне время использования ЭВМ –

$$M(T_I) = k\tau + M(T_I^{(2)}),$$

где τ – время создания одной копии.

Для определения вероятностно-временных характеристик информационной системы со 2-й стратегией резервирования программных модулей и информационных массивов используется метод решения классической задачи о разорении игрока. Заданы: F_{00} – основной массив; F_{-1}, F_{-2}, …, F_{-k} –предыстории и массивы изменений основного массива; p – вероятность успешного создания обновленного массива; q=1-p – вероятность разрушения массива при обновлении. Требуется найти аналитические выражения для вероятности обновления массива F_{00}, вероятности разрушения массива и k его предысторий, времени функционирования ЭВМ до обновления массива, времени функционирования ЭВМ, времени функционирования ЭВМ до разрушения всех предысторий, среднего времени функционирования ЭВМ.

В терминах задачи о разорении игрока исходы обновления массивов являются перемещениями некоторой точки по оси z, координата которой в определенный момент времени равна числу неразрушенных предысторий: в момент времени t=0 точка находится в позиции z=k+1, в моменты времени t=1, 2, … точка в зависимости от успеха или провала обновления информационного массива перемещается на один шаг вправо или влево до попадания в одно из поглощающих состояний z=0 или z=k+2. Данный случайный процесс описывается следующей системой уравнений

$$q = q_2 p + q, \quad z = 1,$$

ISSN 2658 – 7505
Выпуск №6, 2019
Электронный научный журнал «Вестник молодёжной науки России»

$$q_z = pq_{z+1} + qq_{z-1}, \quad k+1 < z < 1,$$
$$q_{k+1} = qq_k, \quad z = k+1,$$

при граничных условиях $q_0 = 1,\ q_{k+2} = 0,$ решение которого имеет вид при $q \neq p$ имеет вид

$$q_z = \left(qp^{k+2} - 1\right)^{-1}\left(qp^{k+2} - \left(\frac{q}{p}\right)^z\right).$$

Вероятность разрушения массива и всех его предысторий равна

$$q_{k+1} = \left(q^{k+2} - p^{k+2}\right)^{-1}\left(q^{k+1}(q-p)\right),$$

а вероятность успешного обновления массива определяется из системы уравнений, аналогичной приведенной выше, и имеет вид

$$P_{k+1} = \rho_{II} = p\left(p^{k+2} - q^{k+2}\right)^{-1}\left(p^{k+1} - q^{k+1}\right).$$

Для получения аналитических выражений для временных характеристик 2-й стратегии предлагается метод производящих функций. Вводится производящая функция $u_z = \sum_{\xi=0}^{\infty} u_{z,\xi}\, s^{\xi}$, $u_{z,\xi}$ удовлетворяют системе уравнений

$$u_{z,\xi+1} = pu_{z+1,\xi} + qu_{z-1,\xi}, \ 1 < z < 1+k, \ \xi > 1$$

с граничными условиями: $u_{0,0} = 1, u_{z,0} = 0, \ 0 < z < k+2; \ u_{z,\xi} = u_{k+2,\xi}, \ \xi \geq 1.$

Среднее время решения задачи до разрушения основного массива и его предысторий находят следующим образом:

$$M(T_{II}^{p}) = M(T_{d,k+1}) = \left.\frac{du_z(s)}{ds}\right|_{s\to 1} = (qp^{-1})^{k+1} C (A^{k+2} - B^{k+2})^{-2}\eta,$$

где $M(T_{d,k+1})$– математическое ожидание времени до разрушения массива и его предысторий при условии, что процесс начался в точке k+1;

$$u_z(s) = (qp^{-1})^z (\lambda_1^{k+2}(s) - \lambda_2^{k+2}(s))^{-1} (\lambda_1^{k+2-z}(s) - \lambda_2^{k+2}(s)),$$
$$\lambda_1(s) = (2ps)^{-1}(1 + \sqrt{(1 - 4pqs^2)}),$$
$$\lambda_2(s) = (2ps)^{-1}(1 - \sqrt{(1 - 4pqs^2)}),$$
$$A = \lambda_1(s)\big|_{s\to 1};\ B = \lambda_2(s)\big|_{s\to 1};\ C = \frac{1}{\sqrt{1 - 4pq}};$$
$$\eta = (k+2)(A^{k+2} + B^{k+2})(A - B) - (A^{k+2} + B^{k+2})(A + B).$$

Аналогичным образом получены выражения для среднего времени успешного решения задачи $M(T_{II}^{y})$ и среднего времени функционирования ЭВМ $M(T_{II})$с учетом того, что производящая функция среднего времени функционирования ЭВМ равна сумме производящих функций времени успешного решения задачи и времени решения задачи до разрушения основного массива и его предысторий:

$$M(T_{II}^{y}) = (pq^{-1}) C (A^{k+2} - B^{k+2})^{-2}\eta,$$
$$\lambda_1(s) = (2ps)^{-1}(1 + \sqrt{(1 - 4pqs^2)}),$$

$$\lambda_2(s) = (2ps)^{-1}(1 - \sqrt{(1-4pqs^2)}),$$
$$A = \lambda_1(s)\big|_{s\to 1};\ B = \lambda_2(s)\big|_{s\to 1};\ C = \sqrt{1-4pq},$$
$$\eta = (k+2)(A^{k+2} + B^{k+2})(A^{k+1} - B^{k+1}) - (k+1)(A^{k+2} - B^{k+2})(A^{k+1} + B^{k+1});$$
$$M(T_{II}) = \frac{\theta}{q-p}\left[k + 1 - \frac{(k+2)(1-(qp^{-1})^{k+1})}{1-(qp^{-1})^{k+2}}\right].$$

Используя результаты, полученные для первых двух стратегий, для третьей стратегии введенные вероятностно-временных характеристики принимают вид:

$$\rho_{III} = 1 - \left(q^{y+2} - p^{y+2}\right)^{-1}\left(q^{k+1}(q-p)\right),$$
$$M(T_{III}^{(1)}) = x\tau + \theta p^{-1}(1-q^x),$$
$$M(T_{III}^{(2)}) = \frac{\theta q^x}{q-p}\left[y + 1 - \frac{(y+2)(1-(qp^{-1})^{y+1})}{1-(qp^{-1})^{y+2}}\right],$$
$$M(T_{III}) = x\tau + \theta p^{-1}(1-q^x) + \frac{\theta q^x}{q-p}\left[y + 1 - \frac{(y+2)(1-(qp^{-1})^{y+1})}{1-(qp^{-1})^{y+2}}\right],$$

где *y* – число предысторий резервируемого массива, а *x* – число его копий.

В предположении о наличии в информационной системе последействия возможна модификация описанных выше моделей. Рассматривается информационная система с двумя состояниями: E_0 – состояние успешного обновления информационного массива; E_1 – состояние неудачного обновления информационного массива. Для первой стратегии резервирования вероятности состояний P_0 и P_1 для стационарного режима ($i \to \infty$) являются решениями системы уравнений

$$P_0(i) = P_0(i-1)p_0 + P_1(i-1)p_1,$$
$$P_1(i) = P_0(i-1)q_0 + P_1(i-1)q_1,$$
$$P_0(i) + P_1(i) = 1,$$
$$P_0 = \frac{p_1}{p_1 + q_0},\ P_1 = \frac{q_0}{p_1 + q_0},$$

где $P_0(i)$, $P_1(i)$ – вероятности нахождения на *i*-ом шаге в состоянии E_0 и E_1 соответственно; p_0, q_0, p_1, q_1 – вероятности переходов $E_0\ E_0$, $E_0\ E_1$, E_1E_0, E_1E_1 соответственно.

Вероятность успешного решения задачи после *k* шагов равна

$$\rho_I = p\{A\} = 1 - p_1 q^k = \frac{p_1 + q_0 - q_0 q_1^k}{p_1 + q_0}.$$

Среднее время успешного решения задачи представимо в виде

$$M(T_I^{(1)}) = M(x|A) = \theta\sum_{i=1}^{k+1} iP\{x = i|A\} = \left[\frac{p_1(q_1 - q_0)}{q_1(p_1 + q_0 - q_0 q_1^k)} + \frac{q_0}{q_1}\frac{1 - q_1^{k+1}(1+k)p_1}{p_1(p_1 + q_0 - q_0 q_1^k)}\right]\theta,$$

среднее время решения задачи вне зависимости от ее успешности –

$$M(T_I^{(2)}) = \frac{q_0}{q_1}\frac{1 - q_1^{k+1}}{(p_1 + q_0)p_1}\theta,$$

среднее время доступа к ЭВМ –

ISSN 2658 – 7505
Выпуск №6, 2019
Электронный научный журнал «Вестник молодёжной науки России»

$$M(T_I^{(2)}) = k\tau + \frac{q_0}{q_1}\frac{1-q_1^{k+1}}{(p_1+q_0)p_1}\theta.$$

При анализе характеристик второй стратегии резервирования рассматриваются состояния S_k, состоящие в том, что имеются k неповрежденных массивов, $k = \overline{0, m}$. Вероятностный процесс функционирования информационно-управляющей системы задается системой уравнений

$$P_k = p_0\overline{P}_k + p_1 P_k^*,\ 0<k<m,$$
$$P_k^* = p_1\overline{P}_{k+1} + q_1 P_{k-1}^*,\ 0<k<m,$$
$$\overline{P}_k = p_0\overline{P}_{k+1} + q_0 P_{k-1}^*,\ 0<k<m,$$

с граничными условиями $\overline{P}_0 = P_0^* = 0,\ \overline{P}_m = P_m^* = 1,$ где P_k – вероятность успешного решения задачи с начальным состоянием S_k; $\overline{P}_k$ – условная вероятность успешного решения задачи с начальным состоянием S_k; P_k^* – условная вероятность успешного решения задачи с начальным состоянием S_k, которому предшествовало состояние E_1. Сведение данной системы уравнений к равносильной системе уравнений и ее решение позволяет найти вероятность успешного решения задачи и среднее время функционирования системы:

$$\rho_{II} = \frac{p_1}{p_1+q_0}\frac{(p_1+q_0)p_0^{k+1} - (p_0+q_1)q_0 q_1^k}{p_1 p_0^{k+1} - q_0 q_1^{k+1}},\ p_0 \neq q_1;$$

$$\rho_{II} = \frac{1}{2}\frac{1+2kq_0}{1+kq_0},\ p_0 = q_1;$$

$$M(T_{II}) = \frac{\theta}{q_1 - p_0}\{(p_1+q_0)(k+1) - (p_0+q_1)(k+2)\times$$
$$\times\frac{(p_0^{k+1} - q_1^{k+1})p_0 q_0^2}{(p_1 p_0^{k+1} - q_0 q_1^{k+1})q_1^2}\left[1 - \frac{2(q_0-q_1)}{(k+2)(p_1+q_0)}\right]\Bigg\},\ p_0 \neq q_1;$$

$$M(T_{II}) = \theta\left\{\frac{q_0}{q_1}\left[1 + (k+2)(k+1) - \frac{k^2}{2}\right] - \right.$$
$$\left. - \frac{k+2}{2}\frac{(k+2)^2 q_0 + 4q_0 q_1 - 1}{q_1[(k+2)q_0 + q_1 - 1]}\right\},\ p_0 = q_1.$$

Для определения средней продолжительности функционирования информационно-управляющей системы при условии успешного решения задачи и средней продолжительности функционирования информационной системы при условии неудачного решения задачи рассматривается следующая система уравнений

$$P_{k,n+1} = p_0 P_{k+1,n} + q_0 P_{k-1,\mathrm{n}}^*,\ 0<k<m,$$
$$P_{k,\mathrm{n}+1}^* = p_1 P_{k+1,n} + q_1 P_{k-1,\mathrm{n}}^*,\ 0<k<m,$$

с граничными условиями

$$P_{0,\mathrm{n}}^* = P_{0,n} = 0; P_{m,\mathrm{n}}^* = P_{m,n} = 0, n \geq 1;$$
$$P_{0,0}^* = P_{0,0} = 0; P_{k,0}^* = P_{k,0} = 0, k > 0;$$

где $P_{k,n}$ – вероятность достижения состояния S_0 на n-ом шаге с начальным состоянием S_k, которому предшествовало событие E_0; $P^*_{k-1,n}$ – вероятность достижения состояния S_0 на n-ом шаге с начальным состоянием S_k, которому предшествовало событие E_1. Сведение данной системы к равносильной системе уравнений, в которой неизвестными являются производящие функции $u_k(z)=\sum_{u=0}^{\infty}P_{k,u}z^u$, $u^*_k(z)=\sum_{u=0}^{\infty}P^*_{k,u}z^u$, $0<k<m$, а затем ее решение позволяет найти искомые показатели

$$M(x|A)=\frac{\bar{V}_{k+1}+\bar{W}_{k+1}}{\bar{T}_{k+1}}\theta,$$

$$M(x|\bar{A})=\frac{V_{k+1}+W_{k+1}}{T_{k+1}}\theta,$$

где

$$\bar{V}_{k+1}=4q_1(p_0-q_1)^{-1}(q_0q_1^{k+1}-p_1p_0^{k+1});$$
$$\bar{W}_{k+1}=\{[(k-1)q_0+2]q_1^{k+1}+[(k-1)p_1+2]p_0^{k+2}+$$
$$+(k+1)(p_0q_0q_1^{k+1}+p_1q_1p_0^{k+1})\}p_0^{-(k+2)};$$
$$\bar{T}_{k+1}=p_0^{-(k+1)}(p_1p_0^{k+1}-q_0q_1^{k+1})^2;$$
$$V_{k+1}=4p_0(p_0-q_1)^{-1}(q_0q_1^{k+1}-p_1p_0^{k+1});$$
$$W_{k+1}=(k+1)(p_1p_0^{k}+q_0q_1^{k})+2p_0(q_1^{k+1}+p_0^{k+1})$$
$$T_{k+1}=q_1^{-(k+1)}(p_1p_0^{k+1}-q_0q_1^{k+1})^2.$$

Аналогичные характеристики для третьей стратегии резервирования определяются на основании результатов, полученных для первых двух стратегий резервирования.

Восстановительное резервирование включает в себя перечень мероприятий по созданию и хранений нескольких резервных копий и/или предысторий, предназначенных для реконструкции текущей версии основного массива и копий оперативного резерва. Наиболее общей моделью функционирования информационной системы с восстановительным резервом является следующая: существует k копий и/или предысторий оперативного резерва; в случае разрушения оперативного резерва система в состояние 2, далее возможен переход в исходное состояние 3 с использованием восстановительного резерва с вероятностью $\rho_в$, при разрушении восстановительного резерва имеет место переход в поглощающее состояние 1 с вероятностью $1-\rho_в$, в случае успешного решения задачи имеет место переход из состояния 3 в состояние 4 с вероятностью ρ_j. Вероятностно-временные характеристики в данной модели находятся в предположении о том, что моделью возникновения ошибок в информационно-управляющей системе является схема независимых событий:

$$P_B^j=\sum_{i=0}^{\infty}P^j\bar{P}_B^i(1-P^j)^i=\frac{P^j}{1-(1-P^j)\bar{P}_B},$$

$$E_B^j=[1-(1-P^j)\bar{P}_B]^{-2}\{E^j[P^j+(1-\bar{P}_B)(1-P^j)]+T_B(1-P^j)[1-\bar{P}_B(1-P^j)]\},$$

ISSN 2658 – 7505
Выпуск №6, 2019
Электронный научный журнал «Вестник молодёжной науки России»

где P_B^j – вероятность успешного решения задачи с использованием восстановительного резерва; P^j – вероятность успешного решения задачи при использовании стратегии резервирования с номером j; $\overline{P}_B$ – вероятность успешного восстановления оперативного резерва; E_B^j – среднее время функционирования информационной системы; E^j – среднее время решения задачи с использования оперативного резерва и стратегии резервирования с номером j; T_B – время восстановления оперативного резерва.

Список цитируемой литературы

1. Богатырев В.А. Безотказность систем из функционально неоднородных модулей // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2002. № 3. С. 6-8.
2. Богатырев В.А. К оценке динамического распределения запросов в отказоустойчивых управляющих вычислительных системах // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2002. № 9. С. 10-12.
3. Кульба В.В. Анализ стратегий резервирования информационных стратегий в АСУ // Методы и модели планирования и управления в дискретных производственных системах / Институт проблем управления. – Москва, 1977. Вып. 14. – С. 20-32.
4. Мамиконов Г.А., Кульба В.В., Шелков А.Б. Достоверность, защита и резервирование информации в АСУ. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 304 с.: ил. – (Применение вычислительных машин в исследованиях и управлении производством).
5. Кульба В.В, Сомов С.К., Шелков А.Б. Резервирование данных в сетях ЭВМ. Препринт. Казань: Издательство Казанского университета, 1987.
6. Кульба В.В. Анализ стратегий резервирования информационных стратегий в АСУ // Методы и модели планирования и управления в дискретных производственных системах / Институт проблем управления. – Москва, 1977. Вып. 14. – С. 20-32.
7. Кульба В.В., Пелихов В.П., Шелков А.Б. Стратегии резервирования информационных массивов // Построение автоматизированных систем обработки данных / Институт проблем управления. – Москва, 1978. Вып. 16. – С. 26-42.
8. Кульба В.В., Мамиконов А.Г., Шелков А.Б. Резервирование программных модулей и информационных массивов в АСУ // Известия академии наук. Автоматика и телемеханика. 1980. № 8. С. 133-141.
9. Мамиконов А.В., Кульба В.В., Сомов С.К. Резервирование программных модулей и информационных массивов в сетях ЭВМ // Всесоюзное совещание “Автоматизированные системы массового обслуживания”: Тез докл. / – М.: Институт проблем управления, 1982. – С. 113-114.
10. Шелков А.Б. Резервирование программных модулей и информационных массивов с учетом возможности восстановления при разрушении // Методы исследования нелинейных систем управления. – М.: Наука, 1983. С.127-133.
11. Сомов С.К., Шелков А.Б., Коробко В.Б Восстановительное резервирование программных модулей и информационных массивов в сетях ЭВМ // Анализ и синтез оптимальных модульных систем обработки данных – М.: Институт проблем управления, 1984. С. 54-60.
12. Мамиконов А.В., Кульба В.В., Сомов С.К. Анализ стратегий резервирования программных модулей и информационных массивов в сетях ЭВМ // Известия академии наук. Автоматика и телемеханика. 1984. № 2. С. 149-159.
13. Кульба В.В., Мамиконов А.Г., Наткович Б.Ю., Шелков А.Б. Резервирование баз данных в АСУ // Известия академии наук. Автоматика и телемеханика. 1991. № 1. С. 131-141.