

УДК 681.324

В.И. Шевченко, аспирант

Севастопольский национальный технический университет

Студгородок, г. Севастополь, Украина 99053

E-mail: kvit@sevgtu.sebastopol.ua

ОПТИМИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ОБРАБОТКОЙ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОТОКОВ В РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЕ

Предлагаются модели управления обработкой информационных потоков в распределенной вычислительной системе дистанционного контроля и диагностики, с учетом возможной перестройки ее компонентов, за счет использования резервов канального и коммуникационного оборудования. Определяется оптимальный состав оборудования по выбранному критерию качества.

Современные информационные системы дистанционного контроля и диагностики сложных объектов базируются на использовании универсальных технологий сбора, хранения и обработки информации. Качество функционирования таких систем с точки зрения пользователя зависит от степени обеспечения надежного и своевременного представления полной, достоверной и конфиденциальной информации об объекте управления в заданные сроки. В связи с чем, актуальной является задача создания унифицированных математических моделей, которые позволяли бы по единым показателям оценить качество организации управления обработкой информационных потоков в таких системах [1, 3].

Система дистанционного контроля и диагностики (СДК) сложного объекта управления предназначена для оперативной обработки и передачи информации от объекта контроля к относительно удаленным точкам концентрации с целью обеспечения его надежной работы. В структуре СДК объектов управления, несмотря на значительные архитектурные отличия, можно выделить три основные подсистемы: подсистему оперативной обработки данных (СОО), подсистему передачи данных (СПД) и подсистему обработки и хранения данных верхнего уровня (СХД) [2].

По своим функциональным и архитектурным особенностям, систему дистанционного контроля и диагностики можно отнести к территориально распределенным информационно-вычислительным системам обработки и передачи данных, качество функционирования которых, во многом зависит от того, на сколько эффективно реализовано управление нагрузкой имеющихся вычислительных ресурсов и распределением поступающих в систему информационных задач.

В данной работе предлагается две модели управления распределением информационно-вычислительных задач обработки данных поступающих от вычислительных комплексов (ВК) подсистемы оперативной обработки данных в узлы обработки СХД верхнего уровня, с учетом возможной перестройки компонентов СПД за счет использования резервов канального и коммуникационного оборудования. Целью моделирования является определение оптимального состава вычислительного оборудования позволяющего обеспечить заданный уровень сервисов обслуживания.

Переходя к описанию моделей, сделаем ряд предположений относительно структурной организации СДК и способов взаимодействия ее элементов. Подсистема оперативной обработки данных состоит из M вычислительных комплексов предварительной обработки технологической информации о состоянии объекта управления, эта информация требует дополнительной обработки – информационно-вычислительных работ (ИВР) $j = \overline{1, M}$ типов, в соответствии с типами входных информационных потоков. Каждая $ИВР_j$ характеризуется заданными объемом передаваемых данных – d_j , объемом вычислений, необходимых для обработки данных u_j , предельным временем обработки данных в СХД t_j^{COD} , предельным временем передачи данных по каналам связи $t_j^{СПД}$ и интенсивностями эксплуатационных затрат на обработку и передачу данных. Данные от ВК СОО передаются для обработки в СХД, состоящей из N вычислительных подсистем обработки данных (СОД) различной производительности. Каждая $ИВР_j$ может быть обработана только в одной из $i = \overline{1, N}$ СОД. Для передачи данных от вычислительных комплексов СОО к обрабатывающим узлам СХД используется подсистема передачи данных (СПД), состоящая из K коммуникационных комплексов (КК), соединенных каналами связи (КС). Коммуникационные комплексы предназначены для буферизации пакетов сообщений, определения маршрутов, коммутации сообщений и концентрации информационных потоков. Для передачи данных от j -го ВК к $СОД_i$ может быть использован только один из $k = \overline{1, K}$ коммуникационных комплексов. Каждый КК может быть оснащен p -м типом оборудования $p = \overline{1, c}$ с производительностью P_p^k . Для связи между КК подсистемы передачи данных и ВК подсистемы оперативной обработки, либо КК и СОД верхнего уровня используются полудуплексные каналы связи с пропускной способностью P_l^{ks} , где $l = \overline{1, L}$ – тип канала связи. Причем между j -ым ВК и k -м коммуникационным комплексом, а так же k -м коммуникационным комплексом и i -ой СОД, размещаются каналы только одного типа.

Одноуровневая модель управления обработкой данных в СДК. Одноуровневая стратегия управления

предполагает одновременное выполнение двух управляющих функций: назначение информационно-вычислительных работ от ВК СОО на обработку по узлам системы обработки данных верхнего уровня и выбор коммуникационного оборудования с учетом ограничений на время передачи и обработки ИВР с минимальными эксплуатационными затратами на обработку.

В качестве информационного обеспечения модели используются следующие параметры:

– *входные параметры, связанные с источниками заданий и системами обработки данных:*

a_{ij} – интенсивность эксплуатационных затрат на выполнения ИВР j -го типа в i -ой подсистеме обработки данных верхнего уровня;

P_i^s – производительность $СОД_i$ (эталонных операций в секунду);

u_j – объем вычислений, необходимый для обработки данных j -го типа (эталонных операций);

d_j – объем данных, передаваемых для обработки в СОД для ИВР j -го типа (бит);

$t_j^{СОД}$ – предельное время обработки данных j -го типа в СОД;

$t_j^{СПД}$ – предельное время передачи информационного потока j -го типа в СПД;

$t_{ij}^{СОД}$ – время, затрачиваемое i -ой СОД на обработку информационного потока j -го типа

$$t_{ij}^{СОД} = \frac{u_j}{P_i^s}, \quad \forall i = \overline{1, N}, \quad \forall j = \overline{1, M}$$

– *входные параметры, связанные с ресурсами подсистемы передачи данных:*

k – номер узла СПД, в котором размещается коммуникационный комплекс, $k = \overline{1, K}$;

$\{P_1^k, P_2^k, \dots, P_c^k\}$ – дискретное множество производительностей процессоров коммуникационных комплексов (эталонных операций/с);

c – количество типов процессоров, каждому типу соответствует одно значение производительности

$P_p^k, \quad p = \overline{1, c}$;

$\{P_1^{ks}, P_2^{ks}, \dots, P_L^{ks}\}$ – дискретное множество пропускных способностей каналов связи, бит/с;

L – количество типов каналов связи, каждому типу канала связи соответствует одно значение пропускной способности $P_l^{ks}, \quad l = \overline{1, L}$;

W_k – объем памяти, предназначенный для буферизации пакетов сообщений в k -м КК;

Q_p – количество эталонных операций, требуемых для обработки одного бита информации в КК на процессоре p -го типа.

– *входные параметры, связанные с затратами на эксплуатацию элементов СПД определенного типа:*

a_{jkp}^k – интенсивность эксплуатационных затрат на обработку задачи от j -го ВК СОО в k -м коммуникационном комплексе с процессором p -го типа;

a_{jl}^s – интенсивность эксплуатационных затрат на передачу данных j -го типа по каналу связи l -го типа;

– *определяемые переменные:*

x_{ijk} – двоичная переменная, принимает следующие значения:

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{если данные от } j\text{-го ВК обработаны в } СОД_i \text{ и} \\ & \text{переданы через } k\text{-ый КК} \\ 0, & \text{иначе} \end{cases} \quad \omega_{jlk} - \text{признак размещения канала}$$

связи l -го типа между j -ым ВК и k -м коммуникационным комплексом

$$\omega_{jlk} = \begin{cases} 1, & \text{если } j\text{-ый ВК соединен с } k\text{-ым КК,} \\ & \text{КС } l\text{-го типа} \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}$$

v_{ilk} – признак размещения канала связи l -го типа между k -м коммуникационным комплексом и i -ой СОД;

$$v_{ilk} = \begin{cases} 1, & \text{если } i\text{-ая } СОД \text{ соединена с } k\text{-ым КК,} \\ & \text{КС } l\text{-го типа} \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}$$

δ_{kp} – признак размещения в КК процессора p -го типа;

$$\delta_{kp} = \begin{cases} 1, & \text{если в } k\text{-м КК размещен процессор } p\text{-го типа} \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}$$

Системные ограничения на одноуровневой модели управления

Задача, поступающая от j -го ВК, может быть обработана только в одной подсистеме обработки данных верхнего уровня (СОД) и передается через один КК:

$$\sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^K x_{ijk} = 1, \quad \forall j = \overline{1, M}. \quad (1)$$

Время обработки данных не должно превышать заданного:

$$\sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^K \frac{u_j}{P_i^s} x_{ijk} \leq t_j^{СОД}, \quad \forall j = \overline{1, M}. \quad (2)$$

Для СПД должны выполняться следующие коммуникационные ограничения.

Между j -ым ВК и k -м коммуникационным комплексом размещаются каналы связи только одного типа:

$$\sum_{l=1}^L \omega_{jlk} = 1, \quad \forall j = \overline{1, M}, \quad \forall k = \overline{1, K}. \quad (3)$$

Связь между j -ым ВК и k -м коммуникационным комплексом формируется в соответствии с назначением j -ой ИВР на обработку в $СОД_i - x_{ijk}$:

$$\sum_{l=1}^L \sum_{k=1}^K \omega_{jlk} x_{ijk} = 1, \quad \forall j = \overline{1, M}, \quad \forall i = \overline{1, N}. \quad (4)$$

Между k -м коммуникационным комплексом и i -ой СОД размещаются каналы только одного типа:

$$\sum_{l=1}^L v_{ilk} = 1, \quad \forall i = \overline{1, N}, \quad \forall k = \overline{1, K}. \quad (5)$$

В КК размещается обрабатывающее оборудование только одного типа:

$$\sum_{p=1}^c \delta_{kp} = 1, \quad \forall k = \overline{1, K}. \quad (6)$$

Ограничения на время передачи данных в подсистеме передачи данных:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^N \sum_{l=1}^L \sum_{k=1}^K \omega_{jlk} x_{ijk} \frac{d_j}{P_l^{ks}} + \sum_{i=1}^N \sum_{l=1}^L \sum_{p=1}^c \sum_{k=1}^K \frac{Q_p d_j}{P_p^k} x_{ijk} \delta_{kp} \omega_{jlk} + \\ + \sum_{i=1}^N \sum_{l=1}^L \sum_{k=1}^K x_{ijk} v_{ilk} \frac{d_j}{P_l^{ks}} \leq t_j^{СПД}, \end{aligned} \quad (7)$$

$$\forall j = \overline{1, M}.$$

Ограничения на эксплуатационные расходы при передаче данных:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^N \sum_{l=1}^L \sum_{k=1}^K a_{jl}^s \omega_{jlk} x_{ijk} \frac{d_j}{P_l^{ks}} + \sum_{i=1}^N \sum_{l=1}^L \sum_{p=1}^c \sum_{k=1}^K a_{jpk}^k x_{ijk} \delta_{kp} \omega_{jlk} \frac{Q_p d_j}{P_p^k} + \\ + \sum_{i=1}^N \sum_{l=1}^L \sum_{k=1}^K a_{jl}^s x_{ijk} v_{ilk} \frac{d_j}{P_l^{ks}} \leq C_j^{СПД}, \end{aligned} \quad (8)$$

$$\forall j = \overline{1, M}.$$

Ограничения на объем буферной памяти в КК:

$$\sum_{j=1}^M \sum_{l=1}^L x_{ijk} \omega_{jlk} d_j \leq W_k, \quad \forall k = \overline{1, K}, \quad \forall i = \overline{1, N}. \quad (9)$$

В качестве критерия эффективности выбран минимум эксплуатационных расходов на передачу данных в СПД и обработку данных в СОД:

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^M \left[\sum_{l=1}^L \sum_{k=1}^K a_{jkl}^s \omega_{jkl} \frac{d_j}{P_l^{ks}} + \sum_{l=1}^L \sum_{p=1}^c \sum_{k=1}^K a_{jpk}^k \frac{Q_p d_j}{P_p^k} \omega_{jkl} \delta_{kp} + \sum_{i=1}^N \sum_{p=1}^c \sum_{l=1}^L a_{ikl}^s v_{ikl} \frac{d_j}{P_l^{ks}} \right] + \\ + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M a_{ij} t_{ij}^{СОД} x_{ijk} \rightarrow \min. \end{aligned} \quad (10)$$

Математическая модель задачи управления может быть сформулирована следующим образом: определить значения параметров $x_{ijk}, \omega_{jlk}, \delta_{kp}, v_{ilk} \quad \forall i = \overline{1, N}, \quad \forall j = \overline{1, M}, \quad \forall p = \overline{1, c} \quad l = \overline{1, L}$ с учетом ограничений (1 – 9) при которых ЦФ (10) принимает минимальное значение.

Двухуровневая модель управления обработкой данных в СДК. В двухуровневой модели стратегия управления обработкой данных разбивается на два этапа: на первом этапе производится назначение потоков ИВР, генерируемых вычислительными комплексами подсистемы оперативной обработки данных, на обработку по узлам

СОД подсистемы обработки и хранения данных верхнего уровня, с целью снижения эксплуатационных затрат на обработку ИВР. На втором этапе производится выбор из возможных наборов ресурсов коммуникационного оборудования для передачи данных от ВК к СОД, позволяющего передавать информацию с наименьшими эксплуатационными затратами за заданное время и согласно пути, определенному на первом этапе.

В качестве информационного обеспечения используются переменные и параметры предыдущей модели, за исключением переменной x_{ijk} , замененной на x_{ij} .

x_{ij} – двоичная переменная, принимает следующие значения:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если ИВР } j\text{-го типа обрабатывается в } СОД_i \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}.$$

Системные ограничения на первом этапе управления:

Данные от j -го ВК обрабатываются только в одной СОД:

$$\sum_{i=1}^N x_{ij} = 1, \quad \forall j = \overline{1, M}. \quad (11)$$

Время обработки данных не должно превышать заданного:

$$\sum_{i=1}^N \frac{u_j}{P_i^s} x_{ij} \leq t_j^{СОД}, \quad \forall j = \overline{1, M}. \quad (12)$$

В качестве критерия эффективности управления назначением ИВР выбран – минимум эксплуатационных затрат на обработку ИВР в системе обработки данных верхнего уровня:

$$F_{СОД} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M a_{ij} t_{ij}^{СОД} x_{ij} \rightarrow \min. \quad (13)$$

Математическая модель задачи о назначении ИВР от j -го ВК на $СОД_i$ первого уровня управления, может быть записана в следующем виде: определить значения параметров x_{ij} , $\forall i = \overline{1, N}$, $\forall j = \overline{1, M}$ с учетом ограничений (11, 12) при которых ЦФ (13) принимает минимальное значение.

Системные ограничения второго этапа управления.

Связь между j -ым ВК и k -м коммуникационным комплексом формируется в соответствии с назначением j -ой ИВР на обработку в $СОД_i$ – x_{ij} :

$$\sum_{i=1}^N \sum_{l=1}^L \sum_{k=1}^K \omega_{jlk} v_{jlk} x_{ij} = 1, \quad \forall j = \overline{1, M}. \quad (14)$$

Ограничения (3), (5), (6) на состав коммуникационного и обрабатывающего оборудования СПД из одноуровневой модели входят в двухуровневую модель без изменений.

Ограничения на время передачи данных в СПД:

$$\sum_{l=1}^L \sum_{k=1}^K \omega_{jlk} \frac{d_j}{P_l^{ks}} + \sum_{l=1}^L \sum_{p=1}^c \sum_{k=1}^K \frac{Q_p d_j}{P_p^k} \delta_{kp} \omega_{jlk} + \sum_{i=1}^N \sum_{l=1}^L \sum_{k=1}^K x_{ij} v_{ilk} \frac{d_j}{P_l^{ks}} \leq t_j^{СПД}, \quad (15)$$

$$\forall j = \overline{1, M}.$$

Ограничения на эксплуатационные расходы при передаче данных:

$$\sum_{l=1}^L \sum_{k=1}^K a_{jl}^s \omega_{jlk} \frac{d_j}{P_l^{ks}} + \sum_{l=1}^L \sum_{p=1}^c \sum_{k=1}^K a_{jlp}^k \delta_{kp} \omega_{jlk} \frac{Q_p d_j}{P_p^k} +$$

$$+ \sum_{i=1}^N \sum_{l=1}^L \sum_{k=1}^K a_{jil}^s x_{ij} v_{ilk} \frac{d_j}{P_l^{ks}} \leq C_j^{СПД}, \quad (16)$$

$$\forall j = \overline{1, M}.$$

Ограничения на объем буферной памяти в КК:

$$\sum_{j=1}^M \sum_{l=1}^L x_{ij} \omega_{jlk} d_j \leq W_k, \quad \forall k = \overline{1, K}, \quad \forall i = \overline{1, N}. \quad (17)$$

В качестве критерия эффективности выбран минимум эксплуатационных расходов при передаче данных в СПД:

$$F_{СПД} = \sum_{j=1}^M \left[\sum_{l=1}^L \sum_{k=1}^K a_{jlk}^s \omega_{jlk} \frac{d_j}{P_l^{ks}} + \sum_{l=1}^L \sum_{p=1}^c \sum_{k=1}^K a_{jlp}^k \frac{Q_p d_j}{P_p^k} \omega_{jlk} \delta_{kp} + \right.$$

$$\left. + \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L a_{ikl}^s x_{ij} v_{ilk} \frac{d_j}{P_l^{ks}} \right] \rightarrow \min. \quad (18)$$

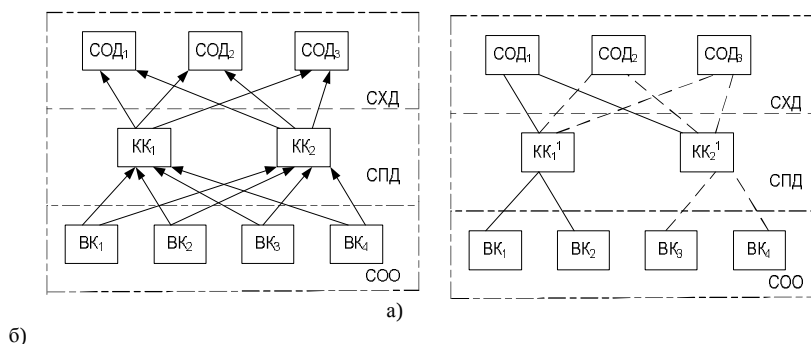
Математическая модель задачи управления второго уровня сводится к следующему: при заданных входных значениях параметров x_{ij} , $\forall i = \overline{1, N}$, $\forall j = \overline{1, M}$, определенных на первом этапе, определить значения переменных $\omega_{jlk}, \delta_{kr}, v_{ilk}$ $\forall i = \overline{1, N}$, $\forall j = \overline{1, M}$, $l = \overline{1, L}$ с учетом ограничений (14 – 17) при которых ЦФ (18) принимает минимальное значение.

В качестве результирующего критерия управления в двухуровневой модели может быть принята аддитивная целевая функция на основе (13) и (18).

$$F = F_{\text{СОД}} + F_{\text{СПД}}$$

(19)

Пример работы одно- и двухуровневой модели управления обработкой данных в СДК. Рассмотрим работу модели на следующем примере: система дистанционного контроля и диагностики состоит из трех подсистем: подсистемы оперативной обработки данных (нижнего уровня), подсистемы передачи данных и подсистемы обработки и хранения данных верхнего уровня. Подсистема оперативной обработки данных состоит из четырех вычислительных комплексов обработки технологической информации ($M = 4$), генерирующих потоки данных о состоянии объекта управления, четырех типов. Данные от ВК передаются через подсистему передачи данных, включающую два коммуникационных узла ($K = 2$) и каналы связи двух типов ($L = 2$), в подсистему обработки данных верхнего уровня, содержащую три узла обработки ($N = 3$), имеющих разные технические характеристики. Структурная схема системы приведена на рисунке 1 а, стрелками указаны возможные направления передачи данных ИВР.



Расчет характеристик одно и двухуровневой модели управления проводился в среде MS Excel с использованием стандартной функции «Поиск решения».

Использование одно и двухуровневой стратегии управления распределением информационно-вычислительных задач обработки данных поступающих от вычислительных комплексов в узлы обработки подсистем СОД верхнего уровня, с учетом возможной перестройки компонентов СПД за счет использования резервов канального и коммуникационного оборудования для данной СДК дало идентичные результаты, величина эксплуатационных затрат на обработку и передачу данных $F = 2893$. Окончательная схема распределения информационных потоков приведена на рисунке 1, б.

Результаты параметрического анализа одно и двухуровневой модели управления в среде MS Excel приведены на рисунках 2 – 3, где $F1$ – эффективность управления для одноуровневой модели, $F2$ – эффективность управления для двухуровневой модели. Из проведенных исследований можно сделать вывод о целесообразности использования двухуровневой стратегии управления, позволяющей получить субоптимальный результат при значительно меньшем числе итераций. Для решения задачи с использованием одноуровневой стратегии методом полного перебора необходимо выполнить $2^{K(M \cdot L + N \cdot L + c + M \cdot N)}$ итераций, для решения задачи с использованием двухуровневой стратегии необходимо выполнить $2^{(N \cdot M + M \cdot L \cdot K + N \cdot L \cdot K + K \cdot C)}$ итераций.

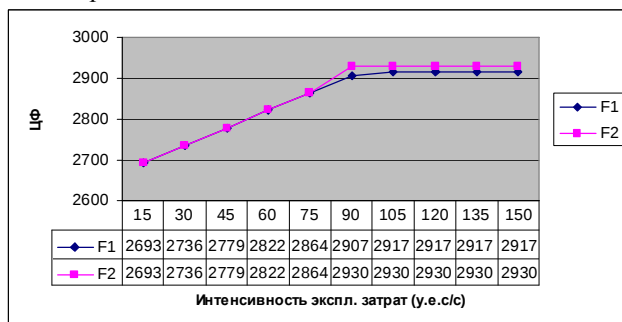
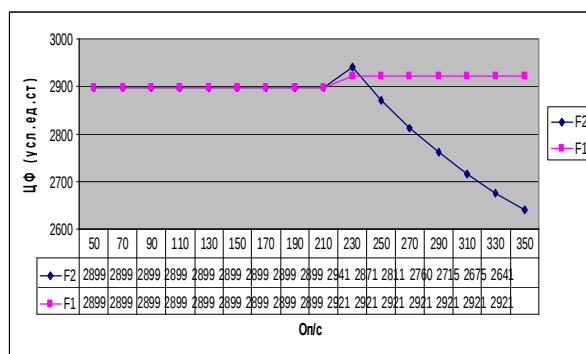
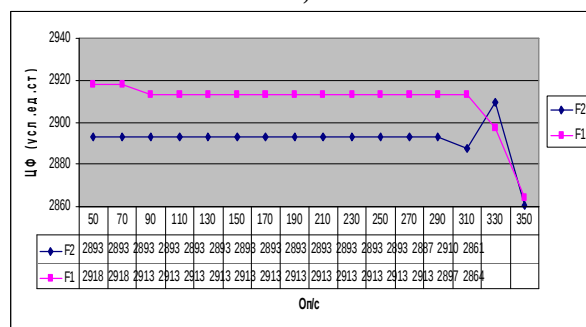


Рисунок 2 – Влияние интенсивности эксплуатационных затрат на обработку в СОД₃ на величину целевой функции



а)



б)

Рисунок 3 – Влияние производительности подсистем обработки верхнего уровня СОД₄ на величину целевой функции: а) для СОД₄; б) для СОД₅

Рассмотренные модели управления обработкой данных в многоуровневых распределенных системах контроля и диагностики позволяют выбрать наиболее эффективную стратегию управления с учетом ограниченных эксплуатационных ресурсов. Перспективой дальнейших исследований является разработка программной среды моделирования, позволяющей существенно расширить возможности предложенных моделей за счет изменения не только качественных, но и количественных параметров, что трудно реализуемо в среде MS Excel, так как требует значительной структурной перестройки среды моделирования.

Библиографический список

1. Безкоровайный М. М. Инструментально-моделирующий комплекс для оценки качества функционирования информационных систем / М. М. Безкоровайный, А. И. Костогрызov, В. М. Львов. — М.: Изд-во: «ВПК», 2001. — 303 с.
2. Столлинс В. Компьютерные системы передачи данных / В. Столлинс. — М.: Изд-во «Вильямс», 2002. — 928 с.
3. Шевченко В. И. Управление распределением ресурсов для корпоративных информационных систем многоуровневой верной структуры / В. И. Шевченко // Оптимизация производственных процессов: Сб. науч. тр. — Севастополь, 2005. — Вип. 8. — С. 25 – 31.

Поступила в редакцию 23.05.2006 г.