

УДК 681.324

В.В. Тулупов

*Харьковский национальный университет внутренних дел*

## ОЦЕНИВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ КОРПОРАТИВНЫХ СИСТЕМ

*Предложена методология структуризации распределенной корпоративной информационной системы (КИС). Создано математическое описание распределенной базы данных КИС. Усовершенствованы методы повышения эффективности функционирования распределенной КИС в классе моделей математического программирования.*

*структура распределенной корпоративной системы, декомпозиция, критерии эффективности*

### Введение

В данной работе исследованы процедуры оценивания эффективности функционирования распределенных корпоративных систем. Особенность данного класса корпоративных информационных систем (КИС) состоит в их территориальной рассредоточенности и слабой структурированности. Распределенной корпоративной информационной системой будем называть территориально рассредоточенное организационно-производственное объединение, подразделения которого взаимодействуют с помощью телекоммуникационных ресурсов.

Корпоративные сетевые среды объединяют большие региональные сети организаций с локальными сетями, в которых пользователи подразделений организованы в отдельные рабочие группы. Примерами распределенных КИС могут служить системы управления летательными аппаратами, системы резервирования авиабилетов, банковские системы и системы электронной коммерции.

**Целью настоящих исследований является** разработка методов и моделей структуризации распределенной корпоративной информационной системы, построение математического описания распределенной базы данных КИС, оптимизация структуры и состава распределенной КИС, выбор технико-экономических показателей для оценивания эффективности функционирования распределенных КИС.

**Постановка проблемы исследования.** Задача формирования интегрированной функциональной структуры распределенной КИС в общем случае принадлежит к классу слабо формализованных задач математического программирования. Задача синтеза рациональной структуры распределенной КИС состоит в том, чтобы одним из возможных способов выбрать структуру гетерогенной корпоративной телекоммуникационной вычислительной сети, состав оборудования узлов сети и информационных пунктов, определить пропускную способность каналов связи при минимизации затрат с учетом возможностей, предоставляемых сервисами средствами передачи и обработки информации, и требований, предъяв-

ляемых пользователями к сетевым средам, которые должны быть согласованы между собой.

Корпоративные информационные системы создаются с целью совместного выполнения вычислений в рамках всей организации, чтобы сотрудники организации могли взаимодействовать друг с другом, обращаясь к данным, средствам обработки и приложениям независимо от их местоположения.

Задача проектирования рациональной КИС состоит в том, чтобы найти наиболее эффективный и согласованный по совокупности технико-экономических показателей способ функционирования подразделений корпорации. При этом пользователь, работающий с набором прикладных программ на одной машине некоторой сети, должен иметь возможность взаимодействовать с любой машиной, расположенной в другой сети организации. Качество работы КИС принято характеризовать обобщенным показателем эффективности, который отражает различные организационно-технологические аспекты функционирования КИС с учетом ее структуры, состава и используемых технологий доступа и обмена данными.

### Результаты выполненных исследований

Структуризация распределенной корпоративной системы. Предположим, что в состав распределенной КИС входят четыре основных компонента: корпоративная телекоммуникационная вычислительная сеть (КТВС), корпоративная информационно-управляющая система (КИУС), распределенная база данных (РБД) и распределенная сервисная система (РСС), роль которой, в частности, может выполнять система управления распределенной базой данных (СУРБД). Структуру распределенной корпоративной информационной системы  $S_{РКИС}$  с учетом особенностей функционирования, архитектуры и компонентного состава можно представить кортежем вида [1, 2]:

$$S_{РКИС} = \langle S_{КТВС}, S_{КИУС}, S_{РБД}, S_{СУРБД} \rangle,$$

где  $S_{РКВС}$  – структура КТВС;  $S_{КГИС}$  – структура КГИС;  $S_{РБД}$  – структура РБД;  $S_{СУРБД}$  – структура СУРБД.

Корпоративную гетерогенную телекоммуникационную вычислительную сеть (КГТВС) можно представить объединением совокупности однородных локальных телекоммуникационных вычислительных сетей (ОЛТВС)

$$S_{КГТВС} = \sum_{\alpha \in A} S_{ОЛТВС\alpha}$$

Математическое описание однородной локальной телекоммуникационной вычислительной сети (ОЛТВС) можно определить количеством узлов сети (КУТС), к которым подключены терминальные устройства; топологией телекоммуникационной вычислительной сети (ТТВС), отражающей взаимное территориальное расположение узлов сети с привязкой к близлежащим терминальным устройствам; количеством коммутаторов и концентраторов сообщений (ККС); скоростями системы передачи данных (СПД) и выделенными частотами; возможными трафиками и допустимыми задержками в передаче сообщений (ТДЗ); наличием менеджмента конфигурации вычислительной сети и приоритетов обслуживания (МКПО); средствами защиты информации и переспроса при неправильно принятом сообщении (СЗИП) [1, 2].

Структуру однородной локальной телекоммуникационной вычислительной сети  $S_{ОЛТВС\alpha}$  можно определить кортежем вида:

$$S_{ОЛТВС\alpha} = \langle \text{КУТС, ТТВС, ККС, СПД, ТДЗ, МКПО, СЗИП} \rangle,$$

где КУТС – количество узлов телекоммуникационной сети; ТТВС – топология телекоммуникационной вычислительной сети; ККС – количество коммутаторов и концентраторов сообщений; СПД – характеристики системы передачи данных; ТДЗ – характеристики трафика и допустимых задержек передачи; МКПО – наличие менеджмента конфигурации вычислительной сети и приоритетов обслуживания (МКПО); СЗИП – наличие средств защиты информации и переспроса данных.

Математическое описание распределенной базы данных КИС можно определить количеством хранилищ данных (КХД); количеством рабочих станций (КРС); топологией телекоммуникационной сети (ТТС), отражающей взаимное территориальное расположение узлов сети с привязкой к близлежащим терминальным устройствам; системой доступа к данным (СДД) – двухуровневая с сервером базы данных, трехуровневая с сервером приложений, многоуровневая с Web-серверами, системой обработки данных (СОД) – интеллектуальный терминал или тонкий клиент, моделями распределенных услуг, распределенной функциональной логики, распределенной транзакции [3, 4]. Структуру такой распределенной базы данных  $S_{РБД}$  можно определить кортежем вида:

$$S_{РБД} = \langle \text{КХД, КРС, ТТС, СДД, СОД} \rangle,$$

где КХД – количество хранилищ данных; КРС – количество рабочих станций; ТТС – топология ТТС; СДД – система доступа к данным; СОД – система

обработки данных. Структуру корпоративной информационно-управляющей системы можно представить кортежем вида:

$$S_{КИУС} = \langle S_{пр}, S_{ор}, S_{ит}, S_{ал} \rangle,$$

где  $S_{пр}$  – производственная структура, отражающая состав и взаимосвязи участков, блоков, агрегатов и других подразделений в замкнутом цикле производства;  $S_{ор}$  – организационная структура, устанавливающая связь между различными функциями управления и видами деятельности в рамках данной системы;  $S_{ит}$  – информационно-техническая структура, которая отражает размещение и порядок работы средств сбора, передачи и переработки информации;  $S_{ал}$  – алгоритмическая структура, отражающая математическое описание задач и пути их решения.

Производственная структура  $S_{пр}$  строится по технологическому принципу, отражая последовательность преобразования материальных ресурсов в готовую продукцию. Один из вариантов  $S_{пр}$  имеет вид

$$S_{пр} = \langle S_{мтс}, S_{оп}, S_{сб} \rangle,$$

где  $S_{мтс}$ ,  $S_{оп}$ ,  $S_{сб}$  – структура соответственно материально-технического снабжения, основного производства и сбыта продукции. Организационная структура  $S_{ор}$ , отражая состав и соподчиненность между руководящими органами КИС и ее подразделениями, может быть представлена соотношением

$$S_{ор} = \langle S_{пл}, S_{ок}, S_{оу} \rangle,$$

где  $S_{пл}$ ,  $S_{ок}$ ,  $S_{оу}$  – структуры соответственно производственного планирования, оперативного контроля и оперативного управления.

Информационно-техническая структура  $S_{ит}$  предназначена для своевременного, полного и качественного обеспечения информацией должностных лиц может быть представлена соотношением

$$S_{ит} = \langle S_{спд}, S_{ивс}, S_{тсу} \rangle,$$

где  $S_{спд}$ ,  $S_{ивс}$ ,  $S_{тсу}$  – структуры соответственно системы сбора, передачи и переработки данных, информационно-вычислительной сети и технических средств управления. Алгоритмическую структуру  $S_{ал}$ , отражающую математическое описание задачи и пути ее решения, представим соотношением

$$S_{ал} = \langle S_{кр}, S_{мд}, S_{мо}, S_{ао}, S_{по} \rangle,$$

где  $S_{кр}$ ,  $S_{мд}$ ,  $S_{мо}$ ,  $S_{ао}$ ,  $S_{по}$  – структуры соответственно критериев эффективности решаемых задач, математических моделей, математического, алгоритмического и программного обеспечения.

Синтез функциональной структуры КИУС включает следующие этапы:

1) декомпозиция общего критерия эффективности по производственным подразделениям

$$Q_1(x) = \langle Q_{мтс}(x), Q_{оп}(x), Q_{сб}(x) \rangle = \langle Q_p(x) \rangle_{p=1}^p$$

и основным функциям управления

$$Q_2(x) = \langle Q_{пл}(x), Q_{ок}(x), Q_{оу}(x) \rangle = \langle Q_r(x) \rangle_{r=1}^R,$$

в результате которой образуется матрица критериев

$$Q_{12}(x) = \left\langle \begin{matrix} Q_{МТСГЛ}(x), Q_{МТСОК}(x), Q_{МТСОУ}(x) \\ Q_{ОПЛ}(x), Q_{ОПК}(x), Q_{ОПУ}(x) \\ Q_{СВП}(x), Q_{СВК}(x), Q_{СВУ}(x) \end{matrix} \right\rangle = \\ = Q_{pr}(x)_{p,r=1}^{p,R} >$$

где  $Q_{МТС}(x)$ ,  $Q_{ОП}(x)$ ,  $Q_{СБ}(x)$  – критерии эффективности функционирования подразделений материально-технического снабжения, основного производства и сбыта продукции;  $Q_{ПЛ}(x)$ ,  $Q_{ОК}(x)$ ,  $Q_{ОУ}(x)$  – критерии эффективности функции управления – планирования, оперативного контроля и оперативного управления;  $Q_{МТСПЛ}(x)$ , ...,  $Q_{СБОУ}(x)$  – критерии эффективности выполнения функций управления конкретными производственными подразделениями;

2) формирование задач организационного управления по локальным критериям эффективности  $Q_{pr}(x)$  в выбранном классе математических моделей;

3) решение локальных оптимизационных задач в условиях неопределенности с координацией получаемых результатов и агрегированием информации.

В результате горизонтальной декомпозиции обобщенного критерия эффективности работы производства формируется дерево критериев эффективности функционирования производственно-технологических подразделений. Аналогично выполнив вертикальную декомпозицию обобщенного критерия эффективности основных функций управления, получим дерево критериев эффективности относительно качества принимаемых плановых и управленческих решений. Воспользовавшись сформированной матрицей критериев эффективности, можно построить функциональную структуру распределенной КИУС. Основная трудность при этом состоит в решении сформулированных задач и согласовании получаемых результатов.

**Оптимизация структуры и состава распределенной КИС [3 –5].** Задача построения эффективной интегрированной функциональной структуры распределенной КИС в общем случае принадлежит к классу задач нелинейного стохастического программирования

$$S^* = \arg \text{extr}_{S \in S_D} E \left\{ \sum_{i=1}^k \lambda_i [Q_i(S) - Q_i^*] / Q_i^* \right\}, \quad (1)$$

где  $S_D$  – область допустимых решений, удовлетворяющая уравнениям материального баланса и последовательности преобразования информации;  $Q_1$ ,  $Q_2$ ,  $Q_3$ , – показатели качества выполняемых функций; полноты, достоверности и своевременности получения информации для целей управления; суммарных затрат на создание и эксплуатацию конкретного типа структуры;  $\lambda_i$  – веса критериев, причем  $\sum \lambda_i = 1$ ;  $E(\bullet)$  – оператор математического ожидания.

Реальные задачи распределения ресурсов и сервисов в распределенных КИС сводятся к тому, чтобы

найти такое значение вектора переменных  $x^* \in \Omega_x \subseteq R^n$ , которое доставляет экстремум (для определенности максимум) одному или нескольким частным критериям  $y_i = \varphi_i(x)$ ,  $i = \overline{1, k}$ , удерживая остальные  $y_i$ ,  $i = \overline{k+1, m}$  на некотором уровне  $B_i$ ,  $i = \overline{k+1, m}$

$$Q(x) = \{\varphi_1(x), \dots, \varphi_k(x)\} \rightarrow \max_{x \in R^n}; \quad (2)$$

$$R_i(x) = \varphi_i(x) \geq B_i, \quad i = \overline{k+1, m}; \quad (3)$$

$$a_j(x_\ell) \leq x_j \leq b_j(x_\ell), \quad x_j \geq 0, \quad j = \overline{1, n}. \quad (4)$$

Решение задачи (2) – (4) производится с учетом совокупности ограничений. Функциональные ограничения (3) отражают аналитические зависимости типа балансовых уравнений и статистические зависимости типа производственных функций. Часть функциональных ограничений играет роль критериальных ограничений:

$$\varphi_j(x) \geq B_j; \quad \varphi_\ell \leq B_\ell, \quad (5)$$

при выполнении которых определяется квазиоптимальное решение задачи (1).

Задача поиска рациональной интегрированной структуры распределенной КИС в условиях неопределенности может быть представлена моделью [5, 6]:

$$Q(x; \gamma_1) = \{\varphi_1(x), \dots, \varphi_k(x); \gamma_1\} \rightarrow \max_{x \in D}; \quad (6)$$

$$D(x; \gamma_2, \gamma_3) = \{x \in R^n \mid R_i = \varphi_i(x, a; \gamma_2) \geq B_i; \quad (7)$$

$$a_j(x^\ell, \gamma_3) \leq x_j \leq b_j(x^\ell, \gamma_3), \quad x_j \geq 0, \quad j = \overline{1, n},$$

где  $\gamma_1$  – компонента, отражающая неопределенность процедуры свертки критериев;  $\gamma_2$  – случайная компонента, отражающая варьирование ограничений;  $\gamma_3$  – детерминированная компонента, отражающая изменения исходных данных.

Модель распределения ресурсов (6) – (7) принадлежит к классу задач стохастического программирования. Функционалы модели не заданы в явном виде и требуют своего усреднения по  $\gamma$ , что по вычислительным затратам эквивалентно решению совокупности детерминированных задач линейного и нелинейного программирования. Поэтому решение таких задач более предпочтительно выполнять с помощью процедуры, предусматривающей редуцирование задачи стохастического программирования совокупностью детерминированных задач линейного и нелинейного программирования при фиксированных значениях случайного вектора  $\gamma = \{\gamma^\ell\}$ , где  $\ell = 1, 2, \dots$ .

В результате редуцирования задачи (6) – (7) получается совокупность детерминированных задач:

$$Q(x, \gamma_1^\ell) = \{\varphi_1(x), \dots, \varphi_k(x); \gamma_1^\ell\} \rightarrow \max_{x \in D_\ell}; \quad (8)$$

$$D(x; \gamma_2^\ell, \gamma_3^\ell) = \{x \in R^n \mid \varphi_i(x, a; \gamma_2^\ell) \geq B_i; \quad (9)$$

$$a_j(x^\ell, \gamma_3^\ell) \leq x_j \leq b_j(x^\ell, \gamma_3^\ell), \quad x_j \geq 0, \quad j = \overline{1, n},$$

решения которых образуют совокупность  $\{x^\ell\}$ . Вы-

бор предпочтительного решения из совокупности квазиоптимальных осуществляется лицом, принимающим решение. При варьировании параметров модели в некотором диапазоне задача распределения ресурсов в классе линейного программирования

$$\min_{x \in X} \{c, x\}, Ax \geq b, x \in E_+^n \quad (10)$$

заменяется некоторой задачей параметрического программирования, близкой к исходной,

$$\min_{x \in X} \{c_\delta, x\}, A_\delta x \geq b_\delta, x \in E_+^n, \quad (11)$$

где  $c_\delta, A_\delta, b_\delta$  – возмущенные значения параметров, близкие к истинным  $c, A, b$  в некоторой метрике, например, в евклидовой

$$\|c_\delta - c\| < \delta, \|A_\delta - A\| < \delta, \|b_\delta - b\| < \delta \quad (12)$$

(величина погрешности  $\delta$  может быть принята одинаковой для всех параметров, что не влияет на общность получаемых результатов).

Решать задачи (2) – (4), (6) – (7), (8) – (9) и (10) – (12) можно с использованием многоэтапных процедур. На первом этапе процедуры на основе учета приоритетов обслуживания, вида передаваемой информации (преимущественный диалог или перекачка массивов данных), требуемой достоверности, трафика и других характеристик проводится многокритериальное ранжирование телекоммуникационных соединений узлов вычислительной сети. На основе выполненного анализа результатов ранжирования для наиболее важных линий связи директивно назначаются высокоскоростные телефонные каналы, а для менее важных – более дешевые выделенные или коммутируемые телефонные каналы. Для остальных линий связи решаются однокритериальные задачи при различных значениях исходных данных. Получаемые локально оптимальные решения оцениваются по всему набору критериев и из этого множества решений выделяются оптимальные по Парето. После этого проводится ранжирование полученных результатов решений.

**Анализ показателей эффективности функционирования КИС.** Первоочередным показателем эффективности функционирования КИС принято считать критерий общих стоимостных затрат, состоящий из суммы амортизационных отчислений от стоимости оборудования и арендной платы за используемый канал и предоставляемые услуги оператора связи. Величина арендной платы зависит от вида подключения канала (некоммутируемый или коммутируемый) и определяется как произведение текущей поминутной стоимости оплаты на время подключения канала связи.

Главным техническим показателем телекоммуникационных сетей с пакетной коммутацией является задержка передачи данных. Анализ задержек в сетях, описываемых моделью многофазовой системы массового обслуживания, возможен только тогда, когда время обслуживания имеет показательное распределение. Однако в действительности время

обслуживания почти постоянно, так как сообщение делится на пакеты фиксированного формата.

При проектировании КИС в качестве пользовательских требований часто используются различные количественные и качественные показатели сетевого трафика. Трафик применительно к сетям отражает рабочую нагрузку линии связи. Единицей данных может выступать бит, байт, сообщение или блок, которые упаковываются в файлы, пакеты, кадры или ячейки. Один из способов измерения трафика состоит в определении количества сообщений, которые передаются через сеть в данный момент либо на протяжении определенного временного интервала. Трафик может измеряться количеством байт за секунду, пакетов за секунду, ячеек за минуту, количеством реализованных транзакции за минуту или суммарным объемом.

Важным техническим показателем функционирования КИС принято считать скорость передачи информации (терминала, рабочей станции, концентратора). Скорость поступления информации в канал связи определяется способом кодирования и сжатия данных и, следовательно, зависит от умения осуществлять обработку сигналов, достигнутого уровня технологии и стоимости обработки. С помощью кодирования всегда можно преобразовать скорость передачи, генерируемую источником с изменяющейся скоростью передачи, в скорость с фиксированным значением за счет снижения качества обслуживания при ограниченной пиковой скорости или за счет снижения эффективности пропускной способности телекоммуникационного канала.

## Выводы по выполненным исследованиям

Выбор рациональной структуры и состава распределенной КИС сводится к решению задачи линейного программирования по совокупности технико-экономических показателей. основополагающими считаются технические показатели, накладываемые на стандартные номиналы скоростей передачи данных от информационных пунктов к узлам концентрации, и условий соблюдения заданного трафика. Стоимостные показатели считаются производными от технических, хотя именно с них начинается проектирование КИС. Для решения задачи линейного целочисленного программирования разработано несколько алгоритмов. Задача размещения типов оборудования по узлам сети КИС принадлежит к комбинаторным задачам о покрытиях, для решения которых используются алгоритмы дискретной оптимизации.

## Список литературы

1. Антонов В.М. *Сучасні комп'ютерні мережі*. – К.: МК-Прес, 2005. – 480 с.
2. Антонов В.М., Пермяков О.Ю. *Комп'ютерні мережі військового призначення*. – К.: МК-Прес, 2005. – 320 с.
3. Кульгин М. *Технологии корпоративных сетей*. – С.-Пб.: Питер, 2000. – 704 с.

4. Стоян Ю.Г., Яковлев С.В. *Математические модели и оптимизационные методы геометрического программирования.* – К.: Наук. думка, 1986. – 268 с.

5. Петренко П.А., Теслер Г.С. *Обработка данных в вычислительных системах и сетях.* – К.: Техника, 1980. – 231 с.

*Поступила в редколлегию 1.03.2007*

**Рецензент:** д-р техн. наук, доцент И.П. Захаров, Харьковский национальный университет внутренних дел, Харьков.