

В.К. Белошапкин, И.Э. Горбунов

О приоритетных критериях оценки распределенных корпоративных сетей

Рассмотрена иерархическая организация компьютерных корпоративных сетей. Представлена методика проектирования и оценки их эффективности.

An hierarchical organization of computer corporate networks is considered. The methods of the design and estimation of their efficiency are presented.

Розглянуто ієрархічну організацію комп'ютерних корпоративних мереж. Представлено методику проектування та оцінки їх ефективності.

Введение. Актуальность возрастающей роли корпоративных распределенных сетей в решении сложных комплексных проблем создания и развития информационного общества трудно переоценить.

При разработке архитектуры корпоративной сети (КС) не должно быть ограничений: какими именно приложениями и каким образом осуществляется обработка. Следует обеспечить совместную работу приложений, работающих на различных программных и аппаратных платформах и протоколах и т.д.

КС может состоять из множества взаимодействующих, но достаточно самостоятельных систем с различными подходами к построению, пользовательскими, вычислительными и информационными средами, технологиями обработки информации, а значит и различными требованиями к оценке эффективности систем.

Иерархическая модель построения КС

Корпоративные сети могут рассматриваться как некий сложный объект, построенный по иерархическому принципу и состоящий из N максимально независимых на каждом уровне иерархии модулей. Каждый модуль представляет собой полноценную i -ю составляющую компоненту КС. В силу этого он может независимо от других модулей проектироваться, разрабатываться, внедряться, оцениваться и эксплуатироваться.

Такая архитектура КС имеет ряд преимуществ:

- обеспечивается реализация открытой архитектуры в соответствии со стандартами моделей взаимодействия открытых систем (ВОС) ([1];

- достигается возможность разработки, внедрения, оценки и эксплуатации отдельно каждой i -й составляющей КС, т.е. система становится масштабируемой, обеспечивается простота развития системы, введение в действие новых компонент не влияет на общую политику оценки эффективности КС, обеспечивается возможность поэтапного ввода отдельных компонент без ущерба для работоспособности АС и приостановления ее функционирования;

- обеспечиваются упрощенные процедуры оценки как отдельных модулей, так и сети в целом, при этом введение в состав КС нового модуля не требует повторной экспертизы всей КС, производится лишь оценка взаимодействия вводимого модуля с уже эксплуатируемыми.

Если исходить из предположения, что для каждой составляющей отдельно требования известны (могут быть определены, например нормативными документами), то для корпоративной сети как единой системы остаются такие основные вопросы:

- Что понимать под оценкой эффективности корпоративной сети и каким образом могут быть сформулированы требования к ней?

- Каков порядок выполнения работ и наиболее оптимальный подход к проектированию и вводу ее в действие?

• Каким может быть порядок проведения оценки КС при такой сложной структуре?

Так как корпоративная сеть по своим задачам, составу, архитектуре и другим параметрам является системой неоднородной, такой же должна быть и структура оценки эффективности.

Последнее следует из того, что в каждой независимой составляющей КС могут быть только ей присущие критические информационные ресурсы, программно-аппаратные средства обработки информации, особенности технологии оборудования, а значит и различные методики оценки эффективности КС.

Эффективность КС определяется по оценкам эффективности отдельных ее составляющих, взаимодействующих по единым принципам и правилам.

Изложенный подход целесообразен в случаях, когда корпоративная система имеет значительное количество составляющих, которые можно реализовать по типовым проектам. При минимизации числа типовых модулей эффект возрастает.

Разработка структурной иерархической модели критериев эффективности КС

Рассмотрим процедуру разработки структурной иерархической модели критериев эффективности КС. Даже беглый анализ показывает невозможность их описания на каком-либо одном уровне структуризации. Критерии могут быть идентифицированы только при рассмотрении КС в целом, некоторые при рассмотрении отдельных подсистем, функций и информационных ресурсов. Таким образом, необходима разработка многоуровневой модели критериев, определяющей необходимость построения многоуровневой модели КС.

Предположим, что построение структурной модели возможно в древовидном виде. Хотя это – математическая абстракция, подобная идеализированная декомпозиция оправдана, с одной стороны, большой сложностью формализации системы в целом, а с другой, – возможностью провести более детальный анализ составляющих.

Структурно вся КС S и каждая из ее подсистем могут быть в следующем виде:

$$S = J\{S_i\}, \quad i=0,1,\dots,n, \quad (1)$$

где функция J – множество информации, описывающей КС как целостную систему, состоящую из S_i ; S_i – множество подсистем системы.

Любая подсистема S_i снова может быть представлена в виде:

$$S_i = J_i\{S_{ij}\}, \quad i=0,1,\dots,n; \quad j=0,1,\dots,b, \quad (2)$$

где функция J_i – множество информации, которая описывает подсистему S_i как целостную систему, состоящую из S_{ij} ; S_{ij} – множество подсистем системы S_i .

Этот процесс структуризации должен продолжаться до тех пор, пока на некотором шаге множество подсистем $S_{ij\dots k}$ не станет пустым.

Используя эту схему, рассмотрим КС как некую технологическую среду (ТС), т.е. совокупность программно-аппаратных средств обработки информации, выполняющих функции создания, отображения, сохранения и передачи информации.

В соответствии с (1) и (2) имеем:

$$TC = J^T\{MT\} = J^T\{T_i\}, \quad i \in I^T, \quad (3)$$

где J^T – множество информации, описывающей технологическую среду как целостную систему; MT – множество составляющих технологической среды, которое может быть представлено в виде совокупности территориально-локализованных составляющих технологической среды T_i , I^T – множество индексов составляющих технологической среды.

Множество T_i может быть представлено в следующем виде:

$$T_i = J_i^T\{A_i, P_i\}, \quad (4)$$

где J_i^T – множество информации, описывающее i -ю технологическую среду как целостную систему; A_i – множество аппаратных средств i -й ТС; P_i – множество программных средств i -й ТС. Множество A_i может быть описано в виде:

$$A_i = J_i^A\{O_i, P_i, C_i, tr_i, D_i\}, \quad (5)$$

где J_i^A – множество информации, которая описывает аппаратные средства i -й ТС как единое целое; O_i – множество средств обработки информации; Π_i – множество средств представления и отображения информации; C_i – множество средств управления функционированием ТС; tr_i – множество средств передачи информации; D_i – множество средств хранения информации.

Множество программных средств i -й ТС может быть представлено в виде:

$$P_i = J_i^P \{F_i, S_i, N_i\}, \quad (6)$$

где J_i^P – множество информации, описывающей программные средства i -й ТС как целостной системы; F_i – множество функциональных программ; S_i – системное программное обеспечение; N_i – сетевое программное обеспечение.

Дальнейшая детализация возможна только в виде обширных каталогов.

Таким образом, специализированная структурная модель КС может быть представлена в виде многоуровневой иерархической системы:

$$\begin{aligned} TC &= J^T \{T_i\} = J^T \left\{ J_i^T \left\{ A_i, P_i \right\} \right\} = \\ &= J^T \left\{ J_i^T \left\{ J_i^A \left\{ O_i, P_i, C_i, tr_i, D_i \right\}, \right. \right. \\ &\quad \left. \left. J_i^P \left\{ F_i, S_i, N_i \right\} \right\} \right\}. \end{aligned} \quad (7)$$

Многоуровневая иерархическая модель критериев оценки эффективности КС, использующей запись модели (7) будет иметь вид:

$$\begin{aligned} TC^q &= J^{Tq} \{T_i^q\} = J^{Tq} \left\{ J_i^{Tq} \left\{ A_i^q, P_i^q \right\} \right\} = \\ &= J^{Tq} \left\{ J_i^{Tq} \left\{ J_i^{Aq} \left\{ O_i^q, P_i^q, C_i^q, tr_i^q, D_i^q \right\}, \right. \right. \\ &\quad \left. \left. J_i^{Pq} \left\{ F_i^q, S_i^q, N_i^q \right\} \right\} \right\}, \end{aligned} \quad (8)$$

где каждая составляющая вида $(*)^q$ означает критерий оценки эффективности данной составляющей $(*)$.

Ввиду разнородности конкретных реализаций необходимо иметь несколько типовых структурных моделей, которые при различных исходных данных могут использоваться неоднократно.

Еще одна структурная иерархическая модель критериев базируется на следующем делении ТС на уровни:

- ТС как целостная система. На этом уровне рассматриваются критерии, связанные с выполнением требований стандартов к архитектуре системы;

- ТС как множество функциональных подсистем. На этом уровне могут рассматриваться критерии, связанные с требованиями к общим подсистемам, например, использовать только сертифицированные программно-аппаратные средства;

- ТС как множество территориально-распределенных локальных сред, где под локальной средой понимается локально в физическом (географическом) смысле расположенная часть функционально взаимодействующих программно-аппаратных средств ТС. На этом уровне могут рассматриваться критерии, связанные с общей топологической структурой корпоративной сети;

- ТС как множество локальных программно-аппаратных средств, которые используются в i -й ТС. На этом уровне могут рассматриваться критерии, связанные с объемами различных видов памяти, быстродействием и загруженностью центрального процессора, стоимостью локального модуля и т.д.;

- ТС как множество исполняемых ею функций. На этом уровне могут рассматриваться критерии, связанные со сложностью функциональных алгоритмов, устойчивостью к различного рода внешним возмущениям, потерей эффективности функционирования из-за задержек и потери сообщений вследствие ограниченных ресурсов ЭВМ, отказов и сбоев программ;

- ТС как множество составляющих ее информационных объектов, где под информационным объектом понимается любая часть информационных ресурсов, входящих в ТС. На этом уровне могут рассматриваться критерии, связанные с минимизацией времени доступа к информационному объекту, обеспечением его целостности, защитой от несанкционированного доступа, возможностью актуализации и др.

Таким образом, структурная модель ТС, соответствующая этому делению и использующая вышеприведенную иерархическую схему, может быть представлена в виде:

$$\begin{aligned}
 TC &= J^T \{ \Phi, G, ПА, f, И \} = \\
 &= J^T \left\{ J^\Phi, \left\{ {}^U_{i\Phi} \Phi_{i\Phi} \right\}, J^G \left\{ K_{H_{iG}}, \text{int}_{iG} \right\}, \right. \\
 &\left. j^{ПА} \left\{ {}^U_{iПА} ПА_{iПА} \right\}, j^f \left\{ {}^U_{if} f_{if} \right\}, J^И \left\{ {}^U_{iИ} И_{iИ} \right\} \right\}, \quad (9)
 \end{aligned}$$

где Φ – множество функциональных подсистем, J – множество территориально-распределенных локальных сред, ПА – множество локальных программно-аппаратных средств, использующихся в i -й локальной среде, f – множество функций, выполняемых в технологической среде, $И$ – множество информационных объектов ТС, J^* – множество информации, характеризующее ТС и ее составляющие как целостную систему, индексы i^* определяют число составляющих.

Соответственно, иерархическая модель критериев, использующая представление КС в виде (9), будет иметь вид:

$$\begin{aligned}
 TC^q &= J^{Tq} \{ \Phi^q, G^q, ПА^{qm}, f^q, И^q \} = \\
 &= J^{Tq} \left\{ J^{\Phi q}, \left\{ {}^U_{i\Phi} q \Phi_{i\Phi}^q \right\}, J^{Gq} \left\{ K_{H_{iG}^q}, \text{int}_{iG}^q \right\}, \right. \\
 &\left. j^{ПАq} \left\{ {}^U_{iПА} ПА_{iПАq} \right\}, j^{fq} \left\{ {}^U_{if} f_{ifq} \right\}, J^{Иq} \left\{ {}^U_{iИ} И_{iИ}^q \right\} \right\}, \quad (10)
 \end{aligned}$$

где каждая составляющая вида $(*)^q$ означает критерий оценки эффективности данной составляющей $(*)$.

Итак, представленная модель критериев в виде (8), (10) определяет иерархическую структуру, проиллюстрированную на рисунке в виде графа Q .

На верхнем уровне иерархии находится цель принятия решения. При такой иерархии необходимо сформировать глобальные критерии верхнего уровня и ранжировать их по приоритетам исходя из максимальных значений (критерии перенумерованы по приоритетам):

$$\max_x Q_1^k(x) > \max_x Q_2^k(x) > \dots > \max_x Q_n^k(x), \quad (11)$$

где i -й – глобальный критерий K -го уровня.

$$Q_i^K = f(Q_j^t) \quad j=1\dots n_t, \quad t=1\dots(K-1), \quad (12)$$

это функция частных критериев более низкого уровня, x – факторы рассматриваемого процесса.

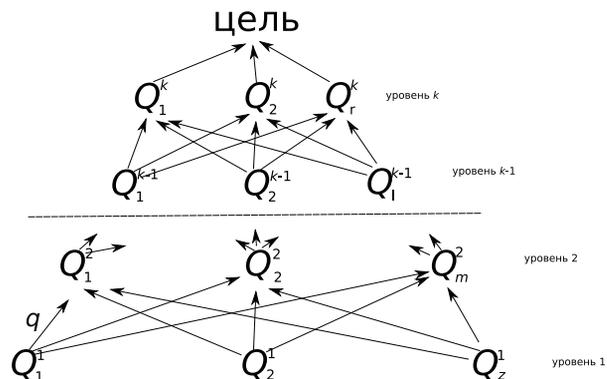


Рис. 1. Иерархическая структура критериев

Ввиду многокритериальности задачи постановку проблемы оптимизации следует уточнить. Уточнение делается на основе правила, указывающего в каком смысле понимается оптимизация, правило называется принципом выбора. Определяющие элементами его – понятия нормализации, свертки и приоритета [2].

Выбор конкретного принципа – непростая задача. Один их подходов заключается в сравнении отношений порядков для принципа выбора.

Определение 1. Будем говорить, что отношение порядка R_1 для множества $X \subset F$, где F – пространство целевых критериев, мощнее отношения порядка R_2 на том же множестве ($R_1 \triangleright R_2$), если выполнены следующие условия:

$$\begin{aligned}
 X_1 &= \{ Q_0 \in X : Q_0 R_1 Q, \forall Q \in X \}, \\
 X_2 &= \{ Q_0 \in X : Q_0 R_2 Q, \forall Q \in X \}, \\
 X_1 &\in X_2 \\
 X_1 \cap X_2 &\neq \emptyset,
 \end{aligned}$$

т.е.

$$R_1 \triangleright R_2 \rightarrow \{ (X_1 \cap X_2 \neq \emptyset) \cap (X_1 \subset X_2) \}.$$

Таким образом, чем более узкое множество определяет отношение порядка R для оптимальных элементов, тем оно мощнее. В идеале отношение порядка должно определять единственный оптимальный элемент, т.е. такое отношение порядка – самое мощное среди возможных.

Понятие мощности отношений порядка R позволяет проводить сравнение принципов выбора, т.е. выяснить существуют ли для заданного принципа выбора другие принципы, для которых соответствующее отношение порядка R мощнее.

Для формирования глобальных приоритетов критериев верхнего уровня необходимо выбрать способ нормализации, свертку с учетом задания приоритета.

В качестве нормализации выберем естественную нормализацию [3], позволяющую отобразить все множество значений критериев Q_i^j на $[0,1]$.

Рассмотрим выбор свертки. Будем формировать глобальные приоритеты верхнего уровня следующим образом: для каждого t -го критерия $(i+1)$ -го уровня ($i = n, \dots, 1$) оценивается его зависимость от каждого r -го критерия (i) -го уровня и дуге $q_{ir}^{i(i+1)}$, соединяющей данные критерии, приписывается вес, равный силе этой зависимости. Простейшим типом влияния критериев друг на друга является такой, когда усиление (положительное приращение) одного критерия Q_i приводит к усилению другого критерия Q_{ji} , что можно изобразить как:

$$\Delta Q_r^i \pm \Delta Q_i^{i+1}. \quad (13)$$

С другой стороны, усиление Q_i может вызвать ослабление Q_j (отрицательное приращение)

$$\Delta Q_r^i = \Delta Q_i^{i+1}. \quad (14)$$

При таком способе формирования критериев верхнего уровня естественной выглядит свертка в форме суммирования с весовыми коэффициентами и в форме последовательного достижения частных целей. С учетом этого и требования авторов добиться выполнения условия (11) выберем свертку в виде:

$$g_i^j(Q(x)) = Q_i^j + \sum_{i=0}^{j-1} \sum_{r=q}^{r_i} \sum_{S=1}^{S_i} \sup_x q_{Sr}^{q(i+1)}(x) Q_r^i(x). \quad (15)$$

После выбора нормализации и свертки необходимо выбрать отношение приоритета и определить принцип выбора. Остановимся на условии (11). Если удастся так построить гло-

бальные критерии, что это условие будет выполняться, то будет осуществлен принцип доминантности одного критерия над другими, а это определяет самое мощное отношение порядка на множестве возможных состояний процесса. Отметим, что оптимизация по одному критерию всегда дает более узкое множество оптимальных значений, чем оптимизация по нескольким критериям. В самом деле, пусть X_1 – множество оптимальных значений по критерию Q_1 . Если проводится оптимизация того же процесса еще и по критериям Q_i со множеством оптимальных значений X_i , то совокупное множество оптимальных значений X_0 определяется так:

$$X_0 = X_1 \cup X_2 \cup \dots \cup X_n,$$

что следует, например, из принципа оптимальности Парето. Но

$$X_1 \subset X_1 \cup X_2 \cup \dots \cup X_n,$$

что доказывает наше утверждение.

Рассмотрим условие (11).

Значения Q_i^k получаются вследствие применения формулы (15). Оценки могут быть качественными и количественными, они определяются либо непосредственными измерениями, либо экспериментами. Значения Q_i^k вследствие нормализации попадают в сегмент $[0,1]$. Если оценки основаны на точных измерениях, то для различных q_{ir} , Q_r^i вероятность выполнения равенства $\max_x Q_i^k(x) = \max_x Q_j^k(x)$ для любых i, j, k мала.

Поэтому мы сможем ранжировать Q_i^k в соответствии с (11). Если значения основаны на качественных экспертных оценках с некой лингвистической шкалой, то сегмент $[0,1]$ делится на интервалы соответственно выбранной шкале. Если два значения $\max_x Q_i^k(x)$ и $\max_x Q_j^k(x)$ попадают в один интервал, то за счет дробления шкалы можно сделать так, что они попадут в разные интервалы и возможно ранжирование в соответствии с (11).

Рассмотрим теперь конкретный алгоритм формирования глобальных приоритетов верхнего уровня.

Графу Q можно поставить в соответствие матрицы смежности A и достижимости R . Как известно [4], матрицей смежности называется квадратная матрица размерности $N \times N$, где N – число вершин графа Q , с элементами

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } (Q_i, Q_j) \in q_{ij}, \\ 0, & \text{если } (Q_i, Q_j) \notin q_{ij}, \end{cases}$$

где q_{ij} – дуга, соединяющая вершины Q_i, Q_j .

Напомним, что вершина Q_j называется достижимой из вершины Q_i , если существует направленный путь из Q_i к Q_j . Тогда матрица достижимости $R = \|r_{ij}\|$ определяется следующим образом:

$$r_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если вершина } Q_j \text{ достижима из } Q_i, \\ 0 & \text{– в противном случае.} \end{cases}$$

Построим матрицу достижимости, используя матрицу A .

Введем обозначения:

ΓQ_i – множество вершин, достижимых из Q_i при использовании путей длины 1;

$\Gamma(\Gamma Q_i) = \Gamma^2 Q_i$ – множество вершин, достижимых из Q_i при использовании путей длины 2;

.....

$\Gamma(\Gamma^{K-1} Q_i) = \Gamma^K Q_i$ – множество вершин, достижимых из q_i при использовании путей длины K .

Для решения задачи определения множества всех вершин графа, которые достигаются из данной вершины, необходимо найти объединение множеств

$$\bar{\Gamma} Q_i = \{Q_i\} \cup \Gamma Q_i \cup \Gamma^2 Q_i \cup \dots \cup \Gamma^K Q_i,$$

называемое транзитивным замыканием $\bar{\Gamma}$ вершины Q_i .

С другой стороны, единичную матрицу E можно рассматривать как матрицу достижимости с использованием путей длины 0; матрицу смежности A – как матрицу достижимости с использованием путей длины 1. Но матрица смежности A выражает отношение Γ на мно-

жестве вершин $\{Q_i\}$. Тогда матрица A^2 , выражающая отношение Γ^2 , представляет собой матрицу достижимости с использованием путей длины 2. Матрица A^K , которая выражает отношение Γ^K , представляет матрицу достижимости с использованием путей длины K . Тогда матрица \bar{A}

$$\bar{A} = A + A^2 + A^3 + \dots + A^K$$

представляет собой матрицу достижимости с использованием путей длины $1, \dots, K$, кроме длины $K = 0$. Суммируя с E получаем матрицу достижимости R :

$$R = E + \bar{A} = E + A + A^2 + A^3 + \dots + A^K.$$

Процесс суммирования матриц прерывается, когда результат перестает изменяться.

Алгоритм формирования глобальных критериев верхнего уровня

Шаг 1. Строим матрицу смежности графа Q .

Шаг 2. Строим матрицу достижимости графа Q .

Шаг 3. Определяем максимальную степень K матрицы в матрице достижимости (число K определяет число уровней иерархии, так как отсутствует горизонтальная связь между вершинами графа, то путь максимальной длины K определяет число уровней иерархии, а матрица A^K определяет вершины верхнего K -го уровня иерархии).

Шаг 4. Определяем вершины $(K-1)$ -го уровня иерархии.

Отметим, что путем длины $(K-1)$, с одной стороны, можно достичь вершины $(K-1)$ -го уровня иерархии, а с другой, – с первого уровня иерархии путем такой же длины можно достичь вершины K -го уровня иерархии. Таким образом, чтобы определить вершины $(K-1)$ -го уровня, из рассмотрения необходимо исключить вершины K -го уровня иерархии.

Шаг 5. Вычеркиваем в матрице достижимости строки и столбцы, определяющие вершины K -го уровня.

Шаг 6. Для графа Q^{K-1} , полученного из графа Q удалением вершин K -го уровня, вновь

строим матрицу достижимости R_Q^{K-1} и находим матрицу A_Q^{K-1} , определяющую вершины $(K-1)$ -го уровня иерархии.

Шаг 7. В матрице достижимости R_Q^{K-1} вычеркиваем строки и столбцы, определяющие вершины $(K-1)$ -го уровня иерархии, и для графа Q^{K-2} , который получается из графа Q^{K-1} удалением вершин $(K-1)$ -го уровня, строим матрицу достижимости.

Шаг 8. Этот процесс продолжается, пока не будет достигнут нулевой уровень.

Шаг 9. Перенумеровываем вершины по уровням иерархии, начиная с нулевого.

Шаг 10. Для новой нумерации вершин строим матрицу смежности, которая будет иметь следующий блочно-диагональный вид (т.к. смежными являются только соседние уровни):

$$A = \begin{pmatrix} Q_0^0 & \dots & Q_0^1 & \dots & Q_0^2 & \dots & \dots & Q_0^k & \dots & Q_0^k \\ \vdots & & \vdots & & \vdots & & & \vdots & & \vdots \\ Q_1^0 & \dots & Q_1^1 & \dots & Q_1^2 & \dots & \dots & Q_1^k & \dots & Q_1^k \\ \vdots & & \vdots & & \vdots & & & \vdots & & \vdots \\ Q_2^0 & \dots & Q_2^1 & \dots & Q_2^2 & \dots & \dots & Q_2^k & \dots & Q_2^k \\ \vdots & & \vdots & & \vdots & & & \vdots & & \vdots \\ Q_{r_1}^0 & \dots & Q_{r_1}^1 & \dots & Q_{r_1}^2 & \dots & \dots & Q_{r_1}^k & \dots & Q_{r_1}^k \\ \vdots & & \vdots & & \vdots & & & \vdots & & \vdots \\ Q_{r_2}^0 & \dots & Q_{r_2}^1 & \dots & Q_{r_2}^2 & \dots & \dots & Q_{r_2}^k & \dots & Q_{r_2}^k \\ \vdots & & \vdots & & \vdots & & & \vdots & & \vdots \\ Q_1^k & \dots & Q_1^k & \dots & Q_1^k & \dots & \dots & Q_1^k & \dots & Q_1^k \\ \vdots & & \vdots & & \vdots & & & \vdots & & \vdots \\ Q_{r_k}^k & \dots & Q_{r_k}^k & \dots & Q_{r_k}^k & \dots & \dots & Q_{r_k}^k & \dots & Q_{r_k}^k \end{pmatrix}, \quad (16)$$

где \vee – знак дизъюнкции.

Шаг 11. На основе матрицы (16) строим весовую матрицу W , которая получается при замене всех единиц весами дуг, соединяющих смежные вершины, и замене нулей главной диагонали весами соответствующих вершин (17).

$$W = \begin{pmatrix} Q_0^0 & \dots & Q_0^1 & \dots & Q_0^2 & \dots & \dots & Q_0^k & \dots & Q_0^k \\ \vdots & & \vdots & & \vdots & & & \vdots & & \vdots \\ Q_1^0 & \dots & Q_1^1 & \dots & Q_1^2 & \dots & \dots & Q_1^k & \dots & Q_1^k \\ \vdots & & \vdots & & \vdots & & & \vdots & & \vdots \\ Q_2^0 & \dots & Q_2^1 & \dots & Q_2^2 & \dots & \dots & Q_2^k & \dots & Q_2^k \\ \vdots & & \vdots & & \vdots & & & \vdots & & \vdots \\ Q_{r_1}^0 & \dots & Q_{r_1}^1 & \dots & Q_{r_1}^2 & \dots & \dots & Q_{r_1}^k & \dots & Q_{r_1}^k \\ \vdots & & \vdots & & \vdots & & & \vdots & & \vdots \\ Q_{r_2}^0 & \dots & Q_{r_2}^1 & \dots & Q_{r_2}^2 & \dots & \dots & Q_{r_2}^k & \dots & Q_{r_2}^k \\ \vdots & & \vdots & & \vdots & & & \vdots & & \vdots \\ Q_1^k & \dots & Q_1^k & \dots & Q_1^k & \dots & \dots & Q_1^k & \dots & Q_1^k \\ \vdots & & \vdots & & \vdots & & & \vdots & & \vdots \\ Q_{r_k}^k & \dots & Q_{r_k}^k & \dots & Q_{r_k}^k & \dots & \dots & Q_{r_k}^k & \dots & Q_{r_k}^k \end{pmatrix}. \quad (17)$$

Шаг 12. Формируем глобальные критерии верхнего уровня в виде свертки критериев более низких уровней. С учетом изложенного свертку выбираем в виде (15). Для определения Q_j^k получаем ряд рекуррентных соотношений:

$$\left. \begin{aligned} Q_1^1 &= Q_1^0 q_{11}^{01} + Q_2^0 q_{21}^{01} + \dots + Q_{r_0}^0 q_{r_0 1}^{01} \\ Q_2^1 &= Q_1^0 q_{12}^{01} + Q_2^0 q_{22}^{01} + \dots + Q_{r_0}^0 q_{r_0 2}^{01} \\ &\dots \\ Q_{r_j}^1 &= Q_1^0 q_{1 r_j}^{01} + Q_2^0 q_{2 r_j}^{01} + \dots + Q_{r_0}^0 q_{r_0 r_j}^{01} \end{aligned} \right\} \quad (18)$$

$$\left. \begin{aligned} Q_1^2 &= Q_1^1 q_{11}^{12} + Q_2^1 q_{21}^{12} + \dots + Q_{r_1}^1 q_{r_1 1}^{12} \\ Q_2^2 &= Q_1^1 q_{12}^{12} + Q_2^1 q_{22}^{12} + \dots + Q_{r_1}^1 q_{r_1 2}^{12} \\ &\dots \\ Q_{r_j}^2 &= Q_1^1 q_{1 r_j}^{12} + Q_2^1 q_{2 r_j}^{12} + \dots + Q_{r_1}^1 q_{r_1 r_j}^{12} \end{aligned} \right\} \quad (19)$$

$$\left. \begin{aligned} \dots &\dots \\ Q_1^K &= Q_1^{K-1} q_{11}^{(K-1)K} + Q_2^{K-1} q_{21}^{(K-1)K} + \dots + Q_{r_{K-1}}^{K-1} q_{r_{K-1} 1}^{(K-1)K} \\ Q_2^K &= Q_1^{K-1} q_{1r}^{(K-1)K} + Q_2^{K-1} q_{22}^{(K-1)K} + \dots + Q_{r_{K-1}}^{K-1} q_{r_{K-1} 2}^{(K-1)K} \\ &\dots \\ Q_{r_k}^K &= Q_1^{K-1} q_{1 r_{K-1}}^{(K-1)K} + Q_2^{K-1} q_{2 r_{K-1}}^{(K-1)K} + \dots + Q_{r_{K-1}}^{K-1} q_{r_{K-1} r_k}^{(K-1)K} \end{aligned} \right\} \quad (20)$$

Заключение. Итак, предложенная методика показывает, что в многокритериальных задачах проектирования и оценки эффективности распределенных корпоративных ресурсов возможно формирование единственного главного критерия. Это достигается благодаря тому, что в основу методики положена иерархическая модель построения КС. Остальные критерии могут выступать либо в форме ограничений, либо быть использованы для последовательной оптимизации системы.

В дальнейшем планируется разработка программного обеспечения для проектирования и оптимизации архитектуры КС, основанного на предложенной методике формирования критериев оценки эффективности.

1. Бертсекас Д., Галлагер Р. Сети передачи данных. – М.: Мир, 1989. – 544 с.
2. Гермейер Ю.Б. Введение в теорию исследования операций. – М.: Наука, 1971. – 383 с.
3. Трахтенгерц Э.А. Генерация, оценка и выбор сценария в системах поддержки принятия решений // Автоматика и телемеханика. – 1997. – № 3. – С. 167–178.
4. Основы дискретной математики / Ю.В. Капітонова, С.Л. Кривий, О.А. Летичевський та ін. – К.: Наук. думка, 2002. – 579 с.

Поступила 28.04.2009

Тел. для справок: (044) 529-0746 (Киев)

E-mail: igormbox@gmail.com

© В.К. Белошапкин, И.Э. Горбунов, 2009