

УДК 681.3

А. Г. Додонов, Д. В. Флейтман

Институт проблем регистрации информации НАН Украины  
ул. Н. Шпака, 2, 03113 Киев, Украина

## К вопросу живучести корпоративных информационных систем

*Информационные системы являются основой эффективного управления корпорацией и входящими в нее предприятиями. При возникновении непредвиденных ситуаций, влияющих на ресурсы информационных систем, возникает угроза функционированию корпорации в целом. На основе метода реконфигурации сформулирована задача обеспечения живучести корпоративных информационных систем, где корпоративная информационная система представлена сетевой моделью.*

**Ключевые слова:** информационная система, корпорация, предприятие, управление, живучесть, сетевая модель, метод реконфигурации.

### Введение

Выживаемость предприятия в современных экономических условиях требует с одной стороны унификации технологий и специализации производства, а с другой — комплексной реализации схемы «идея-продукт». Выполнение этих противоречивых требований достигается созданием корпорации — объединения на уровне управления предприятиями с целью построения полной технологической цепочки производства продукции. Создание корпорации может идти разными путями: объединение или разделение существующих предприятий, создание новых, а чаще всего имеет место сочетание вышперечисленного. Таким образом, на первом этапе, корпорация включает разные, с точки зрения уровня организации управления, объекты [2].

В то же время, эффективное функционирование любого предприятия существенно зависит от обработки информации и принятия решений, не говоря уже о тех, которые производят информацию. Поэтому, понятие информационной системы (ИС) в широком смысле слова включает всю инфраструктуру предприятия, задействованную в процессе управления всеми информационно-документальными потоками [1].

© А. Г. Додонов, Д. В. Флейтман

Существенное влияние на функционирование ИС оказывает комплекс технических (аппаратных и общесистемных программных) и прикладных программных средств, автоматизирующих обработку информации.

Для обеспечения эффективного управления и функционирования создается корпоративная ИС (КИС), обеспечивающая подготовку информации для принятия решений (на уровне корпорации в целом и их дальнейшей реализации на уровне объектов корпорации). В состав КИС могут частично включаться существующие до объединения в корпорацию локальные ИС.

По мере повышения уровня автоматизации информационных процессов, управление и принятие стратегических решений все больше попадает в зависимость от функционирования КИС. Поэтому, обеспечение эффективности функционирования КИС становится наиболее актуальной проблемой: КИС должна выполнять основные функции, обеспечивающие жизнедеятельность корпорации в любых условиях, т.е. уметь *адаптироваться к новым изменившимся и, как правило, непредвиденным ситуациям, противостоять неблагоприятным воздействиям, выполняя при этом свою целевую функцию, за счет соответствующего изменения структуры и поведения системы*, т.е. обладать свойствами живучести [3].

В общем случае техническому и программному комплексу КИС присущи [4]:

- параллелизм процессов управления, доступа к данным и обработки;
- сочетание централизованного и децентрализованного управления (выработка управляющих воздействий как глобально, на уровне всей системы, так и локально, на уровне отдельных ее компонентов);
- асинхронность взаимодействия процессоров и модулей;
- открытость (развиваемость за счет подключения дополнительных модулей без изменения принципов функционирования имеющихся);
- модульность технических и программных средств;
- перестраиваемость структуры механизмами адаптации;
- наличие развитых средств контроля, диагностики и восстановления.

В настоящей статье делается попытка формализовать в наиболее общем виде задачу обеспечения живучести КИС, сделав ее доступной для построения алгоритмов решения этой проблемы.

## Математическая модель КИС

Исходя из того, что КИС является взаимосвязанной совокупностью технических, программных комплексов и информационных ресурсов, ее можно описать сетевой моделью, узлы которой — организационно-технические комплексы (включающие программно-методические комплексы, комплексы программно-аппаратных средств и кадровые ресурсы), а дуги — различные каналы связи — проводные, беспроводные, комбинированные (см. рисунок) [3, 6, 7].

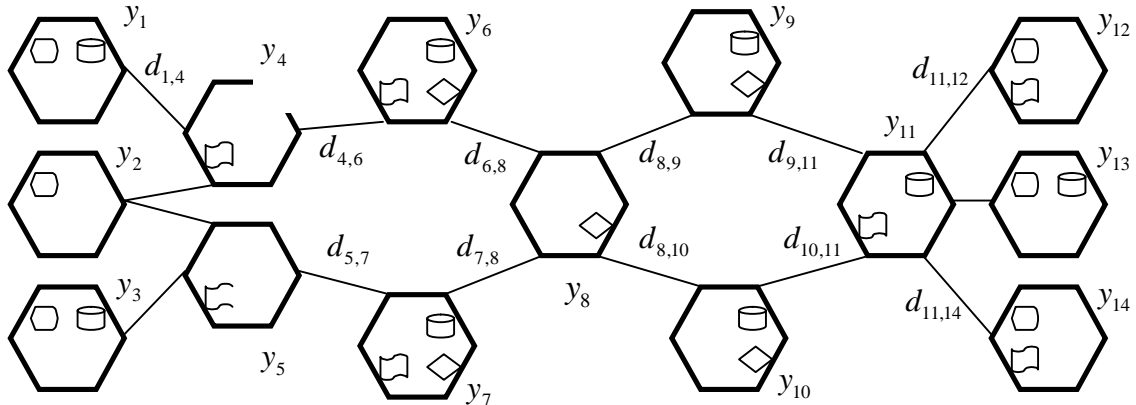
Каждый узел сети  $\square$  обладает определенными ресурсами для выполнения задач различной сложности:

- 1) ввода/вывода информации (на рисунке обозначено символом  $\square$ );
- 2) хранения информации (на рисунке обозначено символом  $\square$ );
- 3) обработки информации (на рисунке обозначено символом  $\square$ );

4) распределения передаваемой информации (на рисунке обозначено символом  $\diamond$ ).

Узел является неделимым с точки зрения модели.

Узлы, в которых информация поступает в КИС (источники) и выходит за ее пределы (стоки) будем называть внешними, остальные — внутренними.



Представление модели КИС

Для описания модели будем использовать следующие понятия.

**Функция системы** — получение средствами КИС логически завершеного результата, представляющего самостоятельный интерес для пользователя. Разбивка на функции субъективна и зависит от целей, для которых она проводится.

**Процесс обработки данных** — набор процедур, реализующих определенную функцию КИС.

**Нештатная ситуация** — непредвиденное изменение ресурсов КИС.

**Критический процесс** — процесс обработки данных, необходимый для выполнения основной функции КИС. Обязателен к выполнению даже при возникновении нештатных ситуаций.

**Задача** — компонента (логический модуль) процесса обработки данных, функционирующая только в одном узле. Процесс обработки данных — последовательное выполнение задач.

**Локальная база данных (ЛБД)** — логически независимый фрагмент БД КИС, хранимый в одном узле.

Все задачи, выполняемые информационной системой, можно разделить на 3 типа:

- 1) сбор (выдача) информации (интерфейс с пользователем) ( $G1$ );
- 2) хранение (поиск) информации ( $G2$ );
- 3) обработка информации ( $G3$ ).

Соответственно будем говорить, что в узле сетевой модели выполняются задачи только 1-го, 2-го или 3-го типов или нескольких типов одновременно. Во внешних узлах обязательно должны выполняться задачи 1-го типа.

Введем обозначения:

$P$  — число процессов обработки данных (далее процессов), выполняемых КИС (число функций ИС);

$K$  — число критических процессов, выполняемых КИС;

$Z_p$  — число задач, обеспечивающих выполнение процесса  $p$ ;

$z_p$  —  $z$ -я задача в последовательности реализации процесса  $p$ ;

$L$  — количество ЛБД КИС;

$VB_l$  — объем  $l$ -й ЛБД;

$N$  — число узлов в сети;

$NV$  — число внешних узлов сети;

$y_i$  —  $i$ -й узел в сети;

$d_{ij}$  — дуга сети, соединяющая узлы  $i$  и  $j$ ;

$u_{ij}$  — пропускная способность  $d_{ij}$ ;

$T_p$  — максимальное время выполнения процесса  $p$ , заданное требованиями к системе;

$T_p^k$  — максимальное время выполнения «критических процессов» при возникновении нештатных ситуаций.

Введем понятие относительной единицы производительности вычислительных средств  $m$  и определим требуемую для обеспечения необходимого времени выполнения производительность вычислительных ресурсов для задачи  $z_p$ , как

$$r_p = a_p \cdot m,$$

а производительность вычислительных ресурсов узла  $i$  определим как

$$R_i = b_i \cdot m.$$

Примечание. Производительность вычислительных ресурсов определяется сочетанием быстродействия процессора, объема оперативной памяти, быстродействия каналов ввода-вывода и т.д. Однако на практике достаточно просто опытным путем определить коэффициенты  $a_p$  и  $b_i$ , сравнив производительность всех задач в каждом узле.

Опишем  $z_p$  вектором

$$z_p = \begin{pmatrix} G \\ r_p \\ IK \end{pmatrix},$$

где  $G$  — тип задачи;  $r_p$  — требуемая производительность вычислительных ресурсов;  $IK$  — индекс критичности (равен 1, если нужно выполнять задачу даже при возникновении нештатных ситуаций, 0 — в противном случае).

Опишем узел сетевой модели  $y_i (i = 1 \dots N)$  вектором

$$y_i = \begin{pmatrix} IG1 \\ IG2 \\ IG3 \\ R_i \\ V_i \end{pmatrix},$$

где

$IG1 = 1$ , если в узле возможно выполнение задач типа  $G1$ ,  $0$  — в противном случае;

$IG2 = 1$ , если в узле возможно выполнение задач типа  $G2$ ,  $0$  — в противном случае;

$IG3 = 1$ , если в узле возможно выполнение задач типа  $G3$ ,  $0$  — в противном случае;

$R_i$  — производительность вычислительных ресурсов узла  $i$ ;

$V_i$  — объем внешней памяти для хранения ЛБД в узле  $i$ .

Для описания сетевой модели, логической и технологической взаимосвязи задач и баз данных, распределения задач и баз данных по узлам сетевой модели введем двумерные массивы:

— матрица топологии

$$MT(i, j) = \begin{cases} 1, & \text{если существует } d_{ij}; \\ 0, & \text{в противном случае,} \end{cases}$$

где  $i, j = \overline{1, N}$ ;

— матрица использования ЛБД задачами процессов КИС  $MV(z_p, l)$ ,  $l = \overline{1, L}$  — максимальный объем порции информации, передаваемый из  $l$ -й ЛБД для задачи  $z_p$ ;

— матрица взаимосвязи задач

$$MZ(z_p, z1_p) = \begin{cases} 1, & z_p \text{ использует информацию } z1_p; \\ 0, & \text{в противном случае,} \end{cases}$$

где  $z_p, z1_p = \overline{1, Z_p}$ ;

— матрица распределения ЛБД по узлам сети

$$MB(l, i) = \begin{cases} 1, & \text{если } l\text{-я ЛБД хранится в узле } i; \\ 0, & \text{в противном случае,} \end{cases}$$

где  $l = \overline{1, L}$ ,  $i = \overline{1, N}$ ;

- матрица нагрузки  $MN$ , определяет интенсивность выполнения задач в различные периоды времени (суток, месяца, квартала, года)  $MN(z_p, t) = S$  (задача за единицу времени), где  $t$  — интересующий период времени;
- матрица функционирования КИС

$$MF(z_p, i) = \begin{cases} 1, & \text{если задача } z_p \text{ выполняется в узле } i; \\ 0, & \text{в противном случае,} \end{cases}$$

где  $z_p = 1, \dots, Z_p$ ;  
 $p = 1, \dots, P, i = 1, \dots, N$ .

Итогом создания КИС является решение задач сбора, обработки, хранения и представления информации специалистам заказчика для принятия решений по обеспечению деятельности корпорации. С точки зрения модели, создание КИС сводится к построению комплекса технических средств (топологии сети и распределения ресурсов по узлам сети), определение  $u_i$  и распределение по узлам сети прикладного программного обеспечения — определение матрицы  $MF$ . Изменение, в случае необходимости,  $MF$  проводится на основе комплекса ограничений — матриц  $MV, MZ, MB, MN$  и ресурсов узлов  $u_i$  (производительности  $R_i$  и объема внешней памяти  $V_i$ ). Матрицы — ограничения  $MV, MZ, MB, MN$  — это концентрированное изложение информации технического проекта КИС.

Одним из важнейших требований к функционированию КИС является требование ко времени получения результатов, интересующих пользователя. Время выдачи результата (в соответствии с терминологией описания модели КИС — время выполнения процесса обработки данных)  $T_p$  является критерием эффективности КИС.

Для расчета времени выполнения процесса  $p$  введем обозначения функций:  $f(z_p)$  — время выполнения задачи  $z$  процесса  $p$   $U(z_p)$  — время передачи информации для задачи  $z$  процесса  $p$ .

Априори можно сказать, что функции  $f(z_p)$  и  $U(z_p)$  всегда определяются таблично на основании анализа функционирующей КИС, однако, не исключено, что для некоторых КИС они могут быть заданы аналитически еще на этапе проектирования системы. Так, например, для КИС, каждые два узла модели которой связаны дугой

$$U(z_p) = \sum_{i,j,z,p,l} \frac{MF(z_p, i) \cdot MV(z_p, l) \cdot MB(l, j)}{u_{ij}}.$$

В случае перераспределения ресурсов ( $R_i, V_i$ ) и задач ( $z_p$ ) по узлам сети, значения функций  $f(z_p)$  и  $U(z_p)$  в условиях, описанных векторами  $u_i$  и матрицей  $MN$ , позволят оценить время выполнения процессов КИС. Критерием перераспределения матрицы  $MF$  является удовлетворение требований заказчика к реакции КИС.

Исходя из вышеизложенного, можно сформулировать постановку задачи функционирования КИС следующим образом: *система спроектирована в соответствии с требованиями заказчика, если определены все процессы и задачи, однозначно определена MF, и выполняется условие*

$$\sum_{z_p=1}^{z_p} (f(z_p) + U(z_p)) \leq T_p, p = 1, \dots, P. \quad (1)$$

### Постановка задачи обеспечения живучести

Обеспечение живучести КИС включает три основных этапа [3–5]:

- 1) обнаружение и локализация нештатной ситуации;
- 2) обеспечение функционирования КИС в критическом режиме;
- 3) полное восстановление КИС и возврат в штатные условия функционирования.

В данной статье рассмотрен второй этап обеспечения живучести, требующий оперативного принятия решения, чтобы как можно раньше предупредить распространение последствий нештатной ситуации в системе.

Рассмотрим КИС, сетевая модель которой представлена на рисунке. Выполняя свои функции, система обеспечивает пользователей необходимой информацией для принятия решений в пределах допустимого времени  $t$ , где

$$t_{\min} \leq t \leq t_{\max} = T_p$$

для каждого процесса  $P$ .

Нормативно-распорядительной документацией определены ряд функций КИС, непрерывная поддержка которых необходима для жизнедеятельности корпорации в целом. Назовем эти функции критическими, как и соответствующие им процессы обработки данных [8, 9].

Обеспечение живучести в критическом режиме — это обеспечение выполнения средствами КИС критических процессов в условиях, когда вследствие уменьшения ресурсов эксплуатация КИС даже в объеме критических функций невозможна. Учитывая требование оперативного перехода КИС в функционирование в критическом режиме, необходимо перераспределить задачи и ЛБД по действующим узлам сети, чтобы обеспечить выполнение минимального набора функций (выполнять все критические процессы). И только в случае отсутствия такого решения (в условиях конкретных ресурсов действующих узлов и дуг) поэтапно наращивать ресурсы системы, минимизируя время и средства [8, 9].

Формулировка описанной проблемы в терминах предложенной выше модели КИС следующая:

- 1) в случае возникновения нештатных ситуаций, приведших к серьезным повреждениям узлов или дуг сети, а именно:

— уменьшению  $R_i$  для некоторых  $i = \overline{1, N}$ ;

— уменьшению  $V_i$  для некоторых  $i = \overline{1, N}$ ;

- уменьшению  $NV$  ;
- увеличению  $U(z_p)$  для некоторых  $p = \overline{1, P}$  и  $z_p = \overline{1, Z_p}$  ,

необходимо переопределить матрицу  $MF$  , обеспечив выполнение, в первую очередь, «критических процессов» в пределах заданного времени  $T_p^K$  , а также, по возможности, всех остальных процессов КИС, что задается следующей функцией цели

$$\sum_{i=1}^K \left( C1_i \cdot \sum_{z_p=1}^{Z_p} (f(z_p) + U(z_p)) \right) + \sum_{i=1}^N C2_i t_i + \sum_{i=1}^N C3_i t_{ij} \rightarrow \min \quad (2)$$

при ограничениях:

$$\sum_{z_p=1}^{Z_p} (f(z_p) + U(z_p)) \leq T_p^K, \quad p = \overline{1, \dots, P^K}; \quad (3)$$

$$\sum_{z_p=1}^{Z_p} MF(z_p, i) \cdot r_p \leq R_i, \quad i = \overline{1, N}; \quad (4)$$

$$\sum_{l=1}^L MB(l, i) \cdot VB_l \leq V_i, \quad i = \overline{1, N}, \quad (5)$$

где  $CI_i$  — весовые коэффициенты,  $I = 1, 2, 3$ ;  $t_i$  — время максимального увеличения ресурса узла  $i$ ;  $t_{ij}$  — время максимального увеличения пропускной способности дуги  $ij$  .

Ограничение (3) — это требование выполнения критических процессов, ограничения (4) и (5) — требования не превышения имеющихся ресурсов узлов по производительности и внешней памяти.

Суть весовых коэффициентов  $CI_i$  , регулирующих область минимума целевой функции, заключается в том, чтобы найти решение функционирования КИС в критическом режиме, не прибегая к восстановлению ресурсов. Промедление в выполнении критических процессов, связанное с восстановлением ресурсов может привести к негативным последствиям в управлении корпорацией, а также к необратимому разрушению информационного обеспечения КИС.

Предполагаемое решение задачи заключается в закреплении вначале критических  $z_p$  за уменьшенными ресурсами КИС, затем, если такое решение найдено, добавляются остальные  $z_p$  . В случае, если невозможно выполнение даже критических  $z_p$  , происходит некоторое увеличение ресурсов, и итерации по закреплению критических  $z_p$  повторяются.

Предлагаемая постановка задачи обеспечивает функциональную живучесть КИС на основе метода реконфигурации. Суть реконфигурации в данном случае



заключается в обеспечении выполнения критических процессов в условиях уменьшения ресурсов КИС.

## Заключение

Описание КИС сетевой моделью позволяет в общем виде сформулировать постановку задачи обеспечения функционирования системы в условиях непредвиденного уменьшения ее технических ресурсов, вследствие которого полноценное выполнение всех функций системы невозможно. Предложенная постановка задачи базируется на методе реконфигурации и позволяет в общем случае строить алгоритмы обеспечения живучести.

Такой подход к моделированию КИС и формализации на основе предложенной модели задачи обеспечения живучести основан на соответствии логической (функциональной) структуры системы структуре ее программного обеспечения. Это требование соответствия логической и, реализующей ее, программной структур является обязательным для построения КИС, претендующих на открытость и адаптируемость. В более общем виде требования к КИС, для которой имеет смысл решать проблему живучести были сформулированы в разделе Введение настоящей статьи.

Возможность решения задачи обеспечения живучести должна закладываться на самых ранних стадиях создания КИС, на основе включения в ее проект методов и средств обеспечения надежности и отказоустойчивости, а также принципов реорганизации, реконфигурации и адаптации системы.

1. Верников Г. Корпоративные информационные системы: не повторяйте пройденных ошибок. — <http://www.cfin.ru/vernikov/kias/errors.shtml>
2. Волков А. Корпоративные? Информационные? Системы? — <http://www.osp.ru/cw/1996/08/45.htm>
3. Додонов А.Г., Горбачик Е.С., Кузнецова М.Г. Живучесть информационно-аналитических систем в аспекте информационной безопасности: Зб. наук. пр. «Інформаційні технології та безпека». — Вип. 4. — К., 2003.
4. Додонов А.Г., Кузнецова М.Г. Проблемы и тенденции создания живучих вычислительных систем: Метод. Разработки. — К.: Наук. думка, 1981.
5. Стекольников Ю.И. Живучесть систем. Теоретические основы. — Санкт-Петербург: Политехника, 2002.
6. Форд Л., Фалкенсон Д. Поток в сетях. — М.: Мир, 1966.
7. Ху Т. Целочисленное программирование и потоки в сетях. — М.: Мир, 1974.
8. Linger R.C., Mead N.R., Lipson H.F. Requirements Definition for Survivable Network Systems. — <http://www.cert.org/archive/pdf/icre.pdf>
9. Robert J. Ellison, David A. Fisher, Richard C. Linger, Howard F. Lipson, Thomas A. Longstaff, Nancy R. Mead. Survivability: Protecting Your Critical Systems. — <http://www.cert.org/archive/html/protect-critical-systems.html>

Поступила в редакцию 08.04.2004