

УДК 004.5

Князева Н.А., д.т.н.; Грищенко И.В., асп. (Одесская нац. академия пищевых технологий)

## ПОВЫШЕНИЕ ЖИВУЧЕСТИ ИНФОКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ ПУТЕМ СТРУКТУРНОГО РЕЗЕРВИРОВАНИЯ

**Князева Н.О., Грищенко И.В. Підвищення живучості інфокомунікаційної мережі шляхом структурного резервування.** Розглядається задача підвищення структурної живучості інфокомунікаційної мережі шляхом оптимального структурного резервування, яке здійснюється на підставі попередньої оцінки значимості чи пріоритетності потоків, які використовують відповідну множину шляхів, а також «ваги» гілок мережі, які формуються на підставі використання гілок у шляхах.

**Ключові слова:** ИНФОКОМУНИКАЦИОННАЯ МЕРЕЖА, ЖИВУЧЕСТЬ, СТРУКТУРНЕ РЕЗЕРВУВАННЯ

**Князева Н.А., Грищенко И.В. Повышение живучести инфокоммуникационной сети путем структурного резервирования.** Рассматривается задача повышения структурной живучести инфокоммуникационной сети путем оптимального структурного резервирования, осуществляемого на основе предварительной оценки значимости или приоритетности потоков, использующих соответствующее множество путей, а также «весов» ветвей сети, формируемых на основе их использования в путях.

**Ключевые слова:** ИНФОКОММУНИКАЦИОННАЯ СЕТЬ, ЖИВУЧЕСТЬ, СТРУКТУРНОЕ РЕЗЕРВИРОВАНИЕ

**Kniazieva N.O., Hryshchenko I.V. Increasing the survivability of infocommunication network by structural reservation.** The problem of increasing of structural survivability of the infocommunications network by means of optimal structural reservation, carried out on the basis of the provisional assessment of importance or priority of the flows that use the lots of routes, as well as the «weights» of the branches network, formed on the basis of their use in routes is consider.

**Keywords:** INFOCOMMUNICATIONS NETWORK, SURVIVABILITY, STRUCTURE RESERVATION

Стремительное развитие телекоммуникационных технологий играет ключевую роль в формировании информационного общества, определяя темпы и качество его построения. С середины XX века телекоммуникационные сети совершили колоссальный скачок к интегральным инфокоммуникационным цифровым сетям передачи всех видов информации – речь, данные, видео.

Эффективность функционирования инфокоммуникационных сетей (ИКС) зависит от многих характеристик и свойств ИКС, среди которых одним из важных свойств является живучесть сети. Под живучестью понимают способность ИКС сохранять и восстанавливать выполнение основных функций в заданном объеме и на протяжении заданного времени в случае изменения структуры сети и условий ее функционирования вследствие некоторых внешних неблагоприятных воздействий (ВНВ).

Живучестью следует считать возможность функционирования сети без определенных участков, а в качестве количественного определения живучести наиболее естественным можно считать среднюю долю сохранившихся связей между уцелевшими узлами после поражения сети по сравнению со всеми возможными связями. При неблагоприятных или негативных воздействиях на ИКС важной и актуальной задачей является возможность реконструкции, реорганизации или реконфигурации сети, обеспечивающая выполнение критического подмножества функций для достижения цели функционирования [1, 2].

Основными свойствами сети связи являются ее связность, структурная живучесть, пропускная способность, надежность и др. От связности зависит такая характеристика сети связи, как структурная живучесть. Под структурной живучестью понимается свойство сети сохранять связность при разрушениях элементов или отдельных частей.

Структурная живучесть учитывает топологию сети межкомпонентной связи и надежность характеристики компонент. Задачи, связанные с анализом структурной живучести, можно свести к задачам надежности, связности топологических структур, в зависимости от введения понятия “разрушение”.

Анализ структурной живучести требует определения [1]: *структуры* для выполнения цели функционирования системы в некоторый момент времени, когда возникают нежелательные влияния на систему; *требований* к отдельным видам ресурсов системы и их взаимосвязи; *требований* к функциональным возможностям компонент системы; *особенностей* характера нежелательных влияний или их последствий.

Задача анализа структурной живучести может формулироваться как задача оценки величины максимального потока, который может передаваться в сети в случае отказов ее элементов и понижения до допустимого уровня качества функционирования. Количественным показателем структурной живучести является вероятность наличия хотя бы одного пути установления соединения для передачи по нему сообщений после воздействия на сеть поражающих факторов.

В процессе проектирования сетей необходимо учитывать ряд показателей живучести. Это позволит выявить “узкие места” сети, прогнозировать возможный ущерб до “разрушений” и в дальнейшем при необходимости осуществить реконструкцию, реорганизацию или реконфигурацию сети. В последнее десятилетие стало увеличиваться количество исследований и методов в области повышения живучести телекоммуникационных и информационных сетей. Живучесть анализируют и оценивают на различных уровнях проектирования, моделирования и функционирования сетей, используя теоретико-игровые, вероятностные, графовые, матричные модели [1...4].

Существенной особенностью исследований живучести различных систем является моделирование.

При моделировании все системы могут быть разделены на три типа [2]: *ассоциативные*, или *A-системы*; *ассоциативно-структурные*, или *AS-системы*; *структурные*, или *S-системы*.

ИКС относятся к *S-системам*, элементы которых находятся в четких структурных отношениях. Отличительной особенностью *S-систем* является наличие входных элементов, имеющих входные связи со средой функционирования (пункты-источники информации), промежуточных внутренних элементов, обеспечивающих функционирование системы (транзитные пункты) и выходных элементов, имеющих выходные связи со средой функционирования (пункты-приемники информации).

Для *S-систем* задаются признаки: *C* – признак соответствия и *D* – признак достаточности.

При моделировании структурной живучести ИКС состояния способности системы могут быть представлены в виде матрицы состояний способности (МСС) либо в виде логической функции состояний способности (ФСС).

Признак соответствия *C*-признак удовлетворяется при  $\min[z_k] \leq [z_k]_0$ , (1) где  $k = 1, 2, \dots, K_n$ ;  $K_n$  – число видов элементов ИКС, обеспечивающих функционирование системы;  $\min[z_k]$  – минимум для элементов ИКС, потребный для функционирования системы;  $[z_k]_0$  – состав элементов назначения – ресурсов ИКС, обеспечивающих функционирование системы.

Признак достаточности *D* – удовлетворяется при  $m_{0k} \geq m_k$ ,  $k = 1, 2, \dots, K_n$ , (2) где  $m_{0k}$  – число элементов остаточного ресурса ИКС;  $m_k$  – наименьший ресурс, необходимый для функционирования ИКС с потребной производительностью.

Под состоянием способности ИКС будем понимать способность сети по передаче информации из пункта *i* в пункт *j* ( $(i, j = 1, n, i \neq j, n$  – количество пунктов сети). Наиболее целесообразной формой предоставления ФСС при этом является представление множества путей  $m_{ij}$  из пункта *i* в пункт *j* в дизъюнктивной нормальной форме (ДНФ).

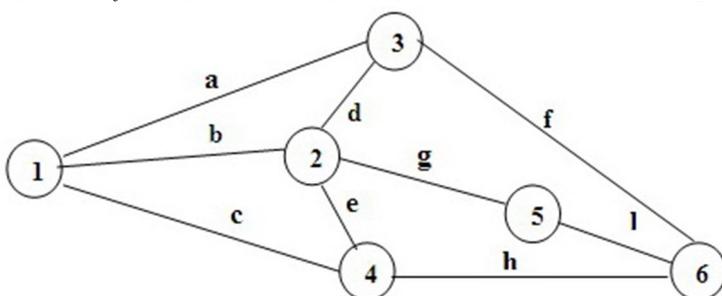


Рис. 1. Граф сети

Например, для сети, представленной на рис.1, ФСС в ДНФ для пары пунктов (1, 6) имеет следующий вид:

$$\text{ФСС: } m_{16} = af + ch + bgl + beh + bdf + adeh + adgl + cedf + cegl. \quad (3)$$

Здесь в качестве символа дизъюнкции используется «+». Аналогичные ФСС могут быть записаны для всех пар  $(i, j)$ .

Методы формирования множества путей  $m_{ij}$ , представляющих ФСС для ИКС, хорошо разработаны, например [5].

Моделирование свойства живучести ИКС сети может быть представлено процессом оценки сохранения хотя бы одного пути  $\mu_{ij}$  множества путей  $m_{ij}$  ( $\mu_{ij} \in m_{ij}$ ) после ВНВ, выражающегося в выходе из строя некоторой ветви  $b_{xy}$  (нескольких ветвей).

Признак  $C$  соответствия (1) при этом для каждой связи  $(i, j)$  имеет следующее содержание:  $\min[z_k]$  – минимальное количество ветвей ИКС, необходимое для организации связи  $(i, j)$  после ВНВ, выражающегося в выходе из строя некоторой ветви  $b_{xy}$ ;  $[z_k]_{\text{ВНВ}}$  ( $[z_k]_0$ ) – состав элементов сети после ВНВ.

Признак  $D$  достаточности (2) после ВНВ трактуется так:  $m_{k\text{ВНВ}}$  ( $m_{0k}$ ) – число элементов (ветвей сети) остающихся после ВНВ;  $m_k$  – наименьшее число ветвей, необходимых для организации связи  $(i, j)$ . Условия (1) и (2) должны выполняться для всех пар  $(i, j)$ , каждой паре  $(i, j)$  ставится в соответствии номер:  $k = 1, 2, \dots, K_{\text{н}}$ .

Для повышения структурной живучести ИКС в данной работе на основе использования ФСС предложен метод, состоящий в следующем.

Для ИКС, находящейся в состоянии нормального функционирования, формируется матрица  $M=[m_{ij}]$  (представляющая МСС), каждый элемент которой  $m_{ij}=[\mu_{ij}]$  – множество путей из пункта  $i$  в пункт  $j$ , представленное в ДНФ ( $i, j = 1, n, i \neq j, n$  – количество пунктов сети). Осуществляется проверка признака  $C$  (1) соответствия – существования хотя бы одного пути  $\mu_{ij}$  из пункта  $i$  в пункт  $j$  по условию:  $m_{ij} \neq 0$ .

В результате ВНВ – выхода из строя некоторой ветви  $b_{xy}$  (или нескольких ветвей) – для каждой пары  $(i, j)$  ИКС определяется сохранение связи  $m_{ij}$  – проверка условия (2), т.е. признака достаточности  $D$ .

Если условие (2) не выполняется, то осуществляется формирование весовой характеристики ветви  $b_{xy}$  (с коррекцией на последующих этапах). Например, это может быть осуществлено организацией подсчета числа нарушенных связей  $(i, j)$  при выходе из строя ветви  $b_{xy}$  с учетом значимости, или приоритетности, соответствующих связей  $(i, j)$ .

После моделирования процессов выхода из строя ветвей  $b_{xy}$  сети ( $x, y = 1, n, x \neq y, n$  – количество пунктов сети) каждой ветви присвоена весовая характеристика  $W_{xy}$ , соответствующая значимости ветви, определяемой исходя из количества нарушаемых связей  $k_{ij}$  при выходе ветви  $b_{xy}$  из строя.

$$W_{xy} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n k_{ij} \quad (4)$$

С учетом приоритетности  $r_{ij}$  потоков, использующих пути  $\mu_{ij} \in m_{ij}$ , выражение (4) может быть представлено в виде (5):

$$W_{xy} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (k_{ij} \cdot r_{ij}) \quad (5)$$

Здесь  $r_{ij}$  – коэффициент, учитывающий важность или приоритет потоков  $\phi_{ij}$ . Отметим, что  $r_{ij} \geq 1$ . Минимальное значение  $r_{ij} = 1$  – для потоков  $\phi_{ij}$  минимального приоритета.

В соответствии с (5) весовые оценки получают все ветви ИКС. Эти оценки характеризуют степень влияния выхода из строя ветвей на структурную живучесть ИКС.

Для повышения живучести, устойчивости ИКС к ВНВ, предложено использовать структурное резервирование участков сети (ветвей) с учетом полученных весовых характеристик ветвей  $W_{xy}$ . На основе полученных значений  $W_{xy}$  осуществляется ранжирование ветвей, в соответствии с которым каждой ветви  $b_{xy}$  присваивается номер, или ранг,  $r = 1, R$ , где  $R$  – количество присваиваемых рангов, определяемое количеством ветвей. Ветвь с максимальным значением  $W_{xy}$  получает номер (ранг), равный 1, затем номер 2 получает ветвь, у которой следующее по величине значение  $W_{xy}$  и т. д. Отметим, что в случае равенства значений  $W_{xy}$  для различных ветвей данные ветви получают связанные ранги [6].

Предложено структурное резервирование проводить на основе решения прямой задачи оптимального резервирования: минимизировать суммарные затраты на все резервные элементы сети  $C_{\text{сети}}$ :

$$C_{\text{сети}} = \sum_{r=1}^R c_r m_r \rightarrow \min \quad (6) \quad \text{при ограничениях} \quad P_{ij} \geq P_{ij\text{тп}}, \quad (7)$$

где  $r$  – номер ветви  $b_{xy}$ , присваиваемый в соответствии с процедурой ранжирования ветвей;  $c_r$  – стоимость  $r$ -го резервного элемента (соответствует стоимости основного элемента – оборудования соответствующей ветви  $b_{xy}$ , которое резервируется);  $m_r$  – кратность резервирования  $r$ -й ветви;  $R$  – количество ветвей ИКС, для которых  $W_{xy} > 0$ ;  $P_{ij}$  – вероятность безотказной работы связи  $m_{ij}$ , включающей  $r$ -ю ветвь, которая в результате резервирования  $r$ -й ветви с кратностью  $m_r$  должна быть обеспечена в соответствии с условием (7);  $P_{ij\text{тр}}$  – требуемый показатель надежности связи  $m_{ij}$  (может задаваться для каждой связи или единым для всех связей).

Расчет  $P_{ij}$  вероятности безотказной работы связи  $m_{ij}$  как вероятности безотказной работы хотя бы одного пути  $\mu_{ij} \square m_{ij}$  осуществляется в соответствии с выражением:

$$P_{ij} = (1 - \prod_{\mu_{ij}^k \in m_{ij}} (1 - \prod_{b_{st} \in \mu_{ij}^k} p_{st})) \quad (8)$$

Здесь  $p_{st}$  – вероятность безотказной работы ветвей  $b_{st} \in \mu_{ij}^k$ , где  $k$  – номер очередного пути  $\mu_{ij}$  множества  $m_{ij}$ . В соответствии с выражением (8) расчет  $P_{ij}$  осуществляется при условии независимости путей, т.е. формируется верхняя оценка надежности связи ( $i, j$ ). С учетом зависимости путей, т.е. ситуации, когда некоторая ветвь  $b_{st}$  может входить в различные пути  $\mu_{ij}^k$ , расчет действительного показателя надежности связи осуществляется таким образом. В выражении (8) раскрываются скобки, после чего все показатели степени при  $p_{st}$ , большие единицы (что происходит, когда ветвь  $p_{st}$  входит в различные пути), заменяются на единицу [5].

Резервирование осуществляется в последовательности шагов, определяемой значимостью, или приоритетностью  $r_{ij}$  потоков  $\varphi_{ij}$ , использующих пути  $\mu_{ij} \in m_{ij}$ , в порядке, определяемом номером ветвей  $r$ . На каждом следующем  $r$ -м шаге резервирования значения  $P_{ij}$  для очередных связей, включающих очередную резервируемую  $r$ -ю ветвь, определяются с учетом показателей надежности ветвей, достигнутых в результате их резервирования на предыдущих шагах резервирования.

В результате решения прямой задачи оптимального резервирования формируется минимально возможное значение функции цели (6) при выполнении всех ограничений (7). Минимизация затрат (6) на резервирование обеспечивается за счет предложенной последовательности выбора потоков  $\varphi_{ij}$  в соответствии с их приоритетностью, а также резервирования ветвей сети в последовательности, определяемой их рангами.

Задача оптимального резервирования может решаться в форме обратной задачи (при ограниченных ресурсах): максимизировать показатель структурной надежности сети  $P$ :

$$P_{\text{сети}} \rightarrow \max \quad \text{при ограничениях} \quad C_{ij} \leq C_{ij\text{тр}},$$

где  $P_{\text{сети}}$  рассчитывается как средневзвешенное значение вероятности безотказной работы всех связей ( $i, j$ ) на основе выражения [7]:

$$P_{\text{сети}} = \frac{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n r_{ij} P_{ij}}{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n r_{ij}};$$

$C_{ij}$  – затраты на резервирование  $r$ -х ветвей, входящих в пути  $\mu_{ij} \in m_{ij}$ ;

$C_{ij\text{тр}}$  – затраты, которые возможно осуществлять для резервирования оборудования  $r$ -х ветвей, входящих в пути  $\mu_{ij} \in m_{ij}$ .

При решении обратной задачи, как и при решении прямой задачи, на каждом следующем шаге резервирования расчет значений  $P_{ij}$  (8) осуществляется с учетом показателей надежности ветвей, достигнутых в результате их резервирования на предыдущих шагах.

Таким образом, решение прямой или обратной задачи оптимального резервирования дает возможность получить структуру резерва  $M = (m_1, m_2, \dots, m_r, \dots, m_R)$  ветвей сети, обеспечивающее устойчивое функционирование сети в соответствии с требуемыми характеристиками структурной живучести сети.

## Литература

1. Додонов А.Г., Ландэ Д.В. Живучесть информационных систем / А.Г. Додонов, Д.В. Ландэ. – К.: Наук. думка, 2011. – 256 с.
2. Стекольников Ю.И. Живучесть систем / Ю.И. Стекольников. – СПб.: Политехника, 2002. – 155с.
3. Зайченко Ю.П. Анализ показателей живучести компьютерной сети с технологией MPLS / Ю.П. Зайченко, Мохаммадреза Моссавари // Вісник національного технічного університету «КПІ». Інформатика, управління та обчислювальна техніка. – Вип. 43. – 2005. – С. 73-80.
4. Князева Н.А. Метод оценки и повышения структурной живучести телекоммуникационной сети / Н.А. Князева // Новые технологии в телекоммуникациях. VI Междунар. научн.- техн. симпозиум.: Сборник тезисов. – К.: ГУИКТ, 2013 г. – С. 35-37.
5. Князева Н.О. Теорія проектування комп'ютерних систем і мереж. Ч.2. Методи аналізу і синтезу комп'ютерних систем і мереж / Н.О. Князева. – Одеса: СПД, 2012. – 240 с.
6. Князева Н.О. Теорія проектування комп'ютерних систем і мереж. Ч.1. Основи системного підходу до проектування / Н.О. Князева, О.А. Князева. – Одеса: ВМВ, 2012. – 212 с.
7. Князева Н.О. Оцінка структурної надійності телекомунікаційної мережі / Н.О. Князева, О.Л. Ненов // Комп'ютерні системи та мережі, №688. – Львів: Львів. політ., 2010 р. – С. 129-137.

УДК 004.725.5

**Гайворонская Г.С.**, д.т.н.; **Бондаренко А.А.**, асп.

*(Одесская национальная академия пищевых технологий)*

## МЕТОД ФРАГМЕНТАЦИИ ТЕРРИТОРИИ, ОБСЛУЖИВАЕМОЙ СЕТЬЮ ДОСТУПА

**Гайворонська Г.С., Бондаренко А.А. Метод фрагментації території, обслуговуваної мережею доступу.** Виділені та описані ключові етапи процесу проектування мереж доступу та запропоновано метод визначення меж фрагментів території, на яких розміщені користувачі з однаковим набором інфокомунікаційних послуг.

**Ключові слова:** ІНФОКОМУНІКАЦІЇ, МЕРЕЖА ДОСТУПУ, ФРАГМЕНТАЦІЯ ТЕРИТОРІЇ

**Гайворонская Г.С., Бондаренко А.А. Метод фрагментации территории, обслуживаемой сетью доступа.** Выделены и описаны ключевые этапы процесса проектирования сетей доступа и предложен метод определения границ фрагментов территории, на которых размещены пользователи с одинаковым набором инфокоммуникационных услуг.

**Ключевые слова:** ИНФОКОММУНИКАЦИИ, СЕТЬ ДОСТУПА, ФРАГМЕНТАЦИЯ ТЕРРИТОРИИ

**Haivoronska H.S., Bondarenko A.A. Method of territory fragmentation served access network.** The key stages of the design process of access networks are identified and described. The method of determining the boundaries of the territory's fragments with users of the same set of information and communication services is considered.

**Keywords:** INFOCOMMUNICATION, ACCESS NETWORK, TERRITORY FRAGMENTATION

**Введение.** Правильный выбор сценария модернизации сетей доступа (СД) важен при переходе к сетям следующего поколения (Next Generation Network, NGN). Ее актуальность подтверждена тем, что МСЭ назвал создание сетей доступа важнейшей задачей 21 века в сфере инфокоммуникаций. В условиях постоянного развития и увеличения количества инфокоммуникационных услуг (ИКУ), предоставление которых требует существенных изменений в структуре существующих сетей, появляется необходимость в создании полноценной информационной инфраструктуры, позволяющей обеспечить пользователю необходимый ему перечень ИКУ с учетом нормируемых показателей качества их предоставления. Сейчас доступ к ИКУ предоставляется различными вторичными сетями, однако, перспективная концепция доступа к базовым сетям, сформулированная в рекомендации МСЭ G.902, предполагает создание единой СД ко всем сетям и услугам.