

## АНАЛИЗ ТОПОЛОГИИ СЕТИ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ

Е.А. Скоробогатько, Н.П. Тимченко, В.А. Хорошко, Ю.Е. Хохлячёва

Национальный авиационный университет,  
пр. Космонавта Комарова, 1, Київ, 03058, Україна; e-mail: professor\_va@ukr.net

В работе рассматривается оптимизация структур программно-моделирующего комплекса и системы передачи информации с анализом устойчивости топологии систем передачи информации на основе понятия двойственности, а также оперативность прохождения конфиденциальной информации по этапам обработки. Выработаны рекомендации по пропускной способности этих этапов и систем в целом.

**Ключевые слова:** информационная безопасность, оптимизация, сети передачи информации, программно-моделирующий комплекс, пропускная способность.

### Введение

Актуальной стороной вопроса информационного обеспечения государственных структур является решение проблемы информационной безопасности и технологической независимости рынка информационных технологий Украины от зарубежных поставщиков или максимальное уменьшение этой зависимости. Одновременному решению данной проблемы по всем направлениям препятствуют экономические факторы и общее отставание Украины от зарубежных разработчиков и производителей в области информационных технологий. В подобных условиях цели национальной доктрины информационной безопасности Украины в части развития отечественных информационных технологий должны реализовываться поэтапно, т.е. ориентироваться на стандарты (топологии и архитектуры) и учитывать пути эволюции технологии [1]. Одним из приоритетных направлений информационных технологий в Украине являются отечественные телекоммуникационные средства построения распределенных корпоративных сетей, систем электронного документооборота и сетей передачи информации различных служб. Режим передачи и обработки характеризуется наличием в сети пользователей, потенциально не допущенных к обрабатываемой и передаваемой информации, составляющей государственную и служебную тайну. В виду этого таким сетям и системам свойственны многочисленные функциональные требования, а также ограничения по обработке и передаче информации, которые частично определены нормативными и руководящими документами [1].

Известно, что в этих сетях для повышения надежности, оперативности и достоверности конфиденциальной информации (КИ) применяются специальные средства вычислительной техники, так называемые программно-моделирующие комплексы (ПМК). При этом эффективность применения ПМК зависит от его комплектации входными и выходными модулями, а также количества конечных рабочих станций (ОРС). Обычно при разработке таких сетей комплектация ПМК выбирается интуитивно на основании имеющегося опыта у разработчиков или волевого решения руководителя, вытекающего из экономической целесообразности затрат. Такой подход не всегда оправдан с точки зрения пропускной способности сети, оперативности и достоверности приема КИ. Поэтому научно обоснованный выбор структуры ПМК и сетей передачи информации (СПИ) для различных систем передачи

информации с учетом нагрузки на корпоративную сеть является весьма актуальной задачей.

Кроме того, в ряде математических моделей, описанных в [2,3] и используемых до исследования СПИ, содержится параметр, который представляет интенсивность информационного обмена между ОРС. Изменение величин интенсивностей информационного обмена может приводить к изменениям в топологии сети. Для сетей, в которых осуществляется перекоммутация, разработаны алгоритмы, предусматривающие случаи возможного изменения топологии [4].

Анализ математических модулей, содержащих изменяемый параметр, на устойчивость топологии СПИ является важным на начальном этапе системной интеграции ПКМ сети.

## Цель работы

Решение задачи оптимизации структуры ПКМ, СПИ и анализ устойчивости топологии СПИ на основе использования понятий двойственности.

## Основная часть

В соответствии с целью работы для оптимизации структуры ПКМ достаточно рассмотреть последовательную цепь основных операций, непосредственно участвующих в обработке входящей КИ, для чего ПКМ можно разбить на три уровня иерархии:

1. Подсистема ОРС;
2. Подсистема коммутатор-сервер;
3. Подсистема входных устройств.

Используя системный подход, составляется аналитическая модель автоматизированной обработки входящей КИ в ПКМ.

Подсистема ОРС находится на высшей ступени иерархии, и поэтому обобщенный критерий на этом уровне будет обрабатывать оптимальную комплексную структуры ПКМ в целом. В качестве такого критерия целесообразно выбрать время обработки КИ, не превышающее заданного нормативного значения.

Подсистема коммутатор-сервер находится ниже. Пропускная способность данного уровня существенно влияет на пропускную способность выше стоящей подсистемы ОРС. Следовательно, на этом уровне в качестве обобщенного критерия целесообразно выбирать пропускную способность  $\lambda_2$ .

Самой низшей системой иерархической цепи является подсистема входных устройств. Как и в предыдущем случае, в качестве обобщенного критерия на этом уровне целесообразно выбирать пропускную способность  $\lambda_1$ .

Согласно системному подходу критерии эффективности должны быть связаны функциональными зависимостями, представляющими собой аналитические модели функционирования подсистем и ПКМ в целом, т.е. комплект математических моделей ПКМ должен строиться таким образом, чтобы модели и критерии чередовались между собой: модель-критерий-модель-критерий и так далее.

Подсистемы ПКМ можно описать последовательной  $n$ -фазой системы массового обслуживания [5]. Решая дифференциальные уравнения состояний, можно определить такие внутренние характеристики подсистем, как, например, количество сообщений в очереди  $S_i$ , среднее время ожидания сообщения в очереди  $t_{оч_i}$  ( $i = 0, 1, 2, \dots$ ), позволяющие оценить технические возможности отдельных устройств и подсистемы в целом.

В качестве обобщенного критерия на высшем уровне иерархии ОРС выступает  $\bar{t}_{об}$  – время обработки КИ в ПМК, которое не должно превышать заданное  $\bar{t}_{зад}$  :

$$\bar{t}_{об} \leq \bar{t}_{зад} . \quad (1)$$

Левую часть неравенства (1) можно разложить на следующие интервалы времени:

1. Среднее время обработки КИ в адаптере мультиплексора передачи данных –  $\bar{t}_{ад}$  ;
2. Среднее время обработки КИ в специализированном блоке –  $\bar{t}_p$  ;
3. Среднее время обработки КИ в принтере –  $\bar{t}_{np}$  ;
4. Среднее время устранения общих искажений –  $\bar{t}_{он}$  ;
5. Среднее время считывания и корректировки обработанного текста по экрану дисплея –  $\bar{t}_к$  ;
6. Среднее время ожидания КИ в очереди на передачу по каналу связи –  $\bar{t}_{оч}$  ;
7. Среднее время ожидания КИ в очереди на обработку в специализированном блоке  $\bar{t}_{оч_1}$  ;
8. Среднее время ожидания обработанного текста в очереди на печать –  $\bar{t}_{оч_2}$  .

В результате получаем:

$$\bar{t}_{об} = \bar{t}_{ад} + \bar{t}_p + \bar{t}_{np} + \bar{t}_{он} + \bar{t}_к + \bar{t}_{оч} + \bar{t}_{оч_1} + \bar{t}_{оч_2} . \quad (2)$$

Проанализируем правую часть выражения (2). Параметры  $\bar{t}_{ад}, \bar{t}_p, \bar{t}_{np}$  определяются техническими возможностями соответственно адаптера канала, специализированного блока и принтера, поэтому в каждом конкретном случае они будут заданы и равны

$$\bar{t}_{ад} = \frac{1}{\mu}, \quad \bar{t}_p = \frac{1}{\mu_1}, \quad \bar{t}_{np} = \frac{1}{\mu_2},$$

где  $\mu_i$  – техническая производительность i-го устройства.

Значения параметров  $\bar{t}_{он}$  и  $\bar{t}_к$  зависят от квалификации и опыта работы обслуживающего персонала. В качестве их количественной оценки можно взять показатели «среднего» сотрудника, которые определяются статистическим путем, и их можно считать заданными величинами.

Параметр  $\bar{t}_{оч_i}$  ( $i = 0, 1, 2, \dots$ ) полностью определяется техническими возможностями комплекса, и поэтому может служить переменной величиной, по которой оптимизируется обобщенный показатель  $\bar{t}_{об}$  при заданной производительности устройств ПМК.

Время пребывания КИ в очереди  $\bar{t}_{оч_i}$  можно уменьшить путем повышения производительности соответствующих устройств подсистем либо путем увеличения числа обслуживающих устройств. Очевидно, при оптимизации ПМК по обобщенному критерию (1) необходимо использовать оба эти пути. При этом наиболее эффективным с точки зрения уменьшения  $\bar{t}_{об}$  является первый путь, поскольку, повышая производительность устройств ПМК, тем самым одновременно уменьшаем все слагаемые выражения (2), кроме  $\bar{t}_{он}$  и  $\bar{t}_к$ . А увеличивая число обслуживающих устройств, уменьшаем только непосредственно величины  $\bar{t}_{оч_i}$ .

На практике возникает необходимость определения распределения времени обработки КИ по этапам прохождения в ПМК.

Общее время обработки  $\bar{t}_{об}$  представляется по этапам следующим образом:

$$\bar{t}_1 = \bar{t}_{ав} + \bar{t}_{оч}; \bar{t}_2 = \bar{t}_m + \bar{t}_{он} + \bar{t}_{оч1} + \bar{t}_{оч2}; \bar{t}_3 = \bar{t}_к; \bar{t}_4 = \bar{t}_{пр}.$$

При этом среднее время пребывания КИ в очередях на соответствующих этапах обработки легко определяется: очередь перед принтером, очередь за счет печати будет решением динамических уравнений состояний на каждом из этапов и будет иметь вид:

$$\bar{t}_{оч} = \frac{P(m, \alpha) \frac{\tilde{\beta}}{(1-\tilde{\beta})^2}}{\left[ R(m, \alpha) + P(m, \alpha) \frac{\tilde{\beta}}{1-\tilde{\beta}} \right] \lambda}, \quad (3)$$

где  $R(m, \alpha) = \sum_{k=0}^m \frac{\alpha^k}{k!} l^{-\alpha}$ ;  $\tilde{\beta} = \frac{\alpha}{m} = \frac{\alpha}{m\mu}$ ;  $\alpha = \frac{\lambda}{\mu}$ :

$$\bar{t}_{оч1} = \frac{P(n, \alpha_1) \frac{\tilde{\beta}_1}{(1-\tilde{\beta}_1)^2}}{\left[ R(n, \alpha_1) + P(n, \alpha_1) \frac{\tilde{\beta}_1}{1-\tilde{\beta}_1} \right] \lambda_1}, \quad (4)$$

где  $\alpha_1 = \frac{\lambda_1}{\mu_1}$ ;  $\tilde{\beta}_1 = \frac{\lambda_1}{\mu_1 n} = \frac{\lambda_1}{n}$ ;

$$\bar{t}_{оч2} = \frac{P(1, \alpha_2) \frac{\tilde{\beta}_2}{(1-\tilde{\beta}_2)^2}}{\left[ R(1, \alpha_2) + P(1, \alpha_2) \frac{\tilde{\beta}_2}{1-\tilde{\beta}_2} \right] \lambda_2}, \quad (5)$$

где  $R(1, \alpha_2) = \alpha_2 e^{-\alpha_2}$ ;  $\tilde{\beta}_2 = \frac{\alpha_2}{\mu_2}$ ;  $\alpha_2 = \frac{\lambda_2}{\mu_2}$ .

Полученные выражения (1) – (5) легко программируются на ПЭВМ, что позволяет оценить оптимальность выбранной структуры.

Вторая решаемая задача заключается в определении диапазонов изменения величин интенсивностей информационного обмена, в которых топология СПИ рассчитывается с помощью математической модели. Предполагается, что варианты топологии отображаются регулярным графом, где между каждой парой ОРС имеется одинаковое количество маршрутов. Маршруты передачи информации представляются набором значений булевых переменных  $\{\delta_{ijz}^{rq}, i, j, z, q = \overline{1, v}, s = \overline{1, p}\}$ ,  $v$  – число ОРС;  $z$  – число типов сообщений, передаваемых в СПИ;  $\delta_{ijz}^{rq} = 1$  означает наличие линий передачи топологии  $z$ -того типа между ОРС  $i$  и  $j$  в маршруте  $(r, q) \in W$  ( $W$  – множество маршрутов). Для СПИ регулярной топологии характерно свойство достижения минимальных значений среднего времени задержки и вероятности отказа [6].

Рассмотрим математическую модель, описывающую задачу оптимизации топологии СПИ в классе регулярных графов по критерию среднего времени задержки  $\bar{T}$  [2,3].

Математическая модель имеет следующий вид:

$$[PIN]\bar{T} = \frac{1}{y} \sum_{i=1}^v \sum_{j=1}^v \sum_{z=1}^{\rho} \frac{f_{ijz}}{d_{ij} - f_{ijz}} \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^v \sum_{j=1}^v \sum_{z=1}^{\rho} C_{ijz} (f_{ijz}) \leq C_{don} \quad (7)$$

$$\sum_{j=1}^v \delta_{ijz}^{sq} = \sigma, i, q = \overline{1, k}, i \neq q, s = \overline{1, \rho} \quad (8)$$

$$\delta_{iz}^{rd} = \{0,1\}, \sigma \geq 2, i, j, \sigma, q = \overline{1, k}, z = \overline{1, \rho}. \quad (9)$$

Здесь  $f_{ijz}, d_{ij}$  – трафик в линии передачи информационного сообщения  $z$ -типа между  $i$ -м и  $j$ -м ОРС и пропускная способность соответственно;  $\gamma$  – суммарный трафик сообщений, передаваемых в СПИ;  $C_{ijz}$  – стоимость передачи сообщения  $z$ -го типа между  $i$ -м и  $j$ -м ОРС;  $h_{rqz}$  – интенсивность информационного обмена между  $z$ -м и  $q$ -м ОРС;  $\sigma$  – число линий передачи в ОРС;  $C_{don}$  – допустимое значение стоимости передачи информации в СПИ.

В связи с наличием нелинейности в математической модели (6)-(10) исследование устойчивости топологии сети предлагается проводить на основе необходимых и достаточных условий Куна-Таккера оптимальности задачи нелинейного программирования [7]. Для этого случая справедлива следующая теорема.

*Теорема 1.* Пусть  $\delta_{ijz}^{rq}$  – оптимальное значение переменных, определяющих сообщение  $z$ -го типа между  $i$ -м и  $j$ -м ОРС в маршруте СПИ  $(r, q) \in W$  ( $W$  – множество маршрутов). Оптимальная топология, представляемая множеством  $W$ , устойчива, если выполняются условия вида

$$0 \leq h_{rqz} \leq \frac{\sigma}{C^0 \delta_{ijz}^{rq}} \left[ C_{don} - \sum_{\substack{i_1=1 \\ i_1 \neq i}}^v \sum_{\substack{j_1=1 \\ j_1 \neq j}}^v C_{i_1 j_1 z} (f_{i_1 j_1 z}) \right] - \sum_{\substack{r_1=1 \\ r_1 \neq r}}^v \sum_{\substack{q_1=1 \\ q_1 \neq q}}^v h_{r_1 q_1 z} \delta_{ijz}^{r_1 q_1}, \quad (10)$$

$$i, j, r, q = \overline{1, v}, z = \overline{1, \rho}.$$

*Доказательство теоремы 1.* Необходимые условия оптимальности решения задачи, описываемой математической моделью (6)-(10), записывается в следующем виде:

$$\frac{h_{rqz} d_{ij}}{\gamma \sigma \left( d_{ij} - \sum_{r_1 q_1} \frac{h_{r_1 q_1 z} \delta_{ijz}^{r_1 q_1}}{\sigma} \right)^2} - \lambda_1 C^0 \frac{h_{rqz}}{\sigma} = 0; \quad (11)$$

$$i, j, r, q = \overline{1, v}; i \neq r;$$

$$\lambda_1 \left[ \sum_{i=1}^{\nu} \sum_{j=1}^{\nu} \sum_{z=1}^{\rho} C_{ijz} (f_{ijz}) - C_{don} \right] = 0;$$

$$\lambda_2 i q z \left( \sum_{j=1}^{\nu} \delta_{ijz}^{iq} - \sigma \right) = 0, \quad i, q = \overline{1, \nu}, \quad i \neq q, \quad z = \overline{1, \rho};$$

$$\sum_{i=1}^{\nu} \sum_{j=1}^{\nu} \sum_{z=1}^{\rho} C_{ijz} (f_{ijz}) \leq C_{don},$$

$$\sum_{j=1}^{\nu} \delta_{ijz}^{iq} = \sigma, \quad i, q = \overline{1, \nu}, \quad i \neq q, \quad z = \overline{1, \rho};$$

$$f_{ijz} = \sum_{r=1}^{\nu} \sum_{q=1}^{\nu} \frac{h_{rqz} \delta_{ijz}^{rq}}{\sigma}, \quad i, j, q = \overline{1, \nu}, \quad z = \overline{1, \rho};$$

$$\delta_{ijz}^{sq} = \{0, 1\}, \quad \sigma \geq 2, \quad i, j, r, q = \overline{1, \nu}, \quad z = \overline{1, \rho};$$

$$\lambda_1 \geq 0, \lambda_2 \geq 0, \quad i, q = \overline{1, \nu}, \quad z = \overline{1, \rho}.$$

Здесь  $\lambda_1, \lambda_2$  ( $i, q = \overline{1, \nu}, z = \overline{1, \rho}$ ) определяют переменные задачи, двойственной к (6)-(10), характеризуют удельный информационный поток сообщений и число линий передачи  $i$ -го ОРС  $i, j$ ;  $C^0$  – стоимость единицы пропускной способности линии передачи сообщений.

Из равенства (12) получаем  $h_{rqz}^{\min} = 0$ , а из неравенства (7) выражение для  $h_{rqz}^{\min}$  принимает вид

$$h_{rqz}^{\max} = \frac{\sigma}{C^0 \delta_{ijz}^{rq}} \left[ C_{don} - \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq i}}^{\nu} \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq j}}^{\nu} \sum_{z=1}^{\rho} C_{ijz} (f_{ijz}) \right] - \sum_{\substack{r=1 \\ r \neq r}}^{\nu} \sum_{\substack{q=1 \\ q \neq q}}^{\nu} h_{r1q1z} \delta_{ijz}^{rq}, \quad i, j, r, q = \overline{1, \nu}, \quad z = \overline{1, \rho}.$$

Соотношения, определяющие диапазоны  $\left[ h_{rqz}^{\min}, h_{rqz}^{\max} \mid r, q = \overline{1, \nu}, z = \overline{1, \rho} \right]$  изменения величин интенсивностей информационного обмена между ОРС, представляют собой необходимые условия устойчивости регулярной топологии СПИ. Покажем, что данные соотношения определяют достаточные условия устойчивости топологии. Для этого исследуем угловые детерминанты  $H_t^{(1)}, H_t^{(2)}, \dots$  матрицы  $\nabla^2 H_t$  вторых производных функции (1). В результате преобразований и расчетов получено  $H_t^{(1)} > 0, H_t^{(2)} > 0, \dots$ , что обеспечивает положительную определенность матрицы  $\nabla^2 H_t$  и выпуклость функции (6). Ограничения (7) - (9) определяют выпуклое множество. Таким образом, соотношения, определяющие диапазоны  $\left[ h_{rqz}^{\min}, h_{rqz}^{\max} \mid r, q = \overline{1, \nu}, z = \overline{1, \rho} \right]$ , представляют собой также достаточные условия устойчивости топологии. Теорема доказана.

Теперь необходимо оценить оптимальность трафиков передачи информационных сообщений. Представим СПИ в виде неориентированного взвешенного графа  $G = (V, C, F)$ , где  $V$  – множество вершин (ОРС),  $|V| = H, C$  – множество ребер (стоимость каналов или линий связи) [8,9].

Пусть на графе  $G$  в некоторый момент времени уже решена задача канала поиска оптимальных маршрутов к всем ОРС множества  $V_s = V \setminus \{v_s\}$  из начальной ОРС  $v_s$ , т.е.

построено дерево оптимальных маршрутов с корнем в ОРС  $v_s$ . Обозначим это дерево как ОРС  $T_o$ .

Для каждого канала связи  $e_{ij} \in E$  на шкале значений весов определены точки вхождения в дерево  $f_{i,j}^t$  и точки вхождения во множество замены  $f_{i,j}^s$ , причем  $f_{i,j}^t \leq f_{i,j}^s$ , под которыми понимается максимально возможный вес канала  $e_{i,j}$  при его вхождении в множество каналов дерева  $E_T \in T_o$  в множество каналов замены для дерева  $E_S \in T_o$  соответственно.

Обозначим  $f_{i,j}$  – вес канала, содержащего ОРС  $v_i$  и  $v_j$ . ОРС  $v_i$  располагается шире по иерархии в дереве оптимальных маршрутов относительно  $v_j$ . Множество  $E_T$  – множества каналов, каждый элемент которого входит, по крайней мере, в один оптимальный маршрут связи из начального ОРС,  $E_R$  – множество остальных каналов.  $E_R \cup E_T = E, E_R \cap E_T = \emptyset$ . Обозначим  $V_T$  – множество ОРС, к которым найден оптимальный маршрут связи из начального ОРС,  $V_R$  – множество остальных ОРС,  $V_R \cup V_T = V, V_R \cap V_T = \emptyset$ .

Исходя из этого, можно сформулировать задачу динамического управления трафиком СПИ следующим образом. Для каждого класса трафика ( $s = \overline{1, \eta}$ ) необходимо установить определенный маршрут  $\omega$ , и построить для него закон управления  $u^s(t)$  на интервале  $[t_1; t_2]$ , где модель динамики трафика имеет вид динамической системы:

$$x^s(k+1) = A^s x^s(k) + B^s u^s(k) + L[x^s(k)],$$

$$d^s = D^s L[x^s(k)],$$

при заданных критериях:

$$\sum_{k=t_1}^{t_2} [\hat{d}^s(k) - d^s(k)]^2 \rightarrow \min$$

$$n_1 \leq d^s(k) \leq n_2,$$

где  $x^s \in R^n$  –  $n$ -мерный вектор состояний системы;  $u^s \in U^s \subset R$  – управление;  $k$  – дискретное время;  $A^s$  и  $B^s$  – матрицы;  $L[x^s(k)]$  – нелинейная функция;  $\hat{d}^s(k)$  – необходимая пропускная способность маршрута;  $d^s(k)$  – необходимая пропускная способность маршрута в условиях ограничений;  $n_1, n_2$  – заданные ограничения на маршруте. Следовательно, для этого случая справедливы следующие теоремы.

*Теорема 2.* Если  $nf_{i,j} > f_{i,j}$  и  $e_{ij} \in E_T$ , то изменению могут подвергнуться оптимальные маршруты и оценки их длины для ОРС  $V_T^{(v_i)}$ .

*Доказательство теоремы 2.* Пусть увеличится вес канала связи  $e_{ij} \in E_T$ , который входит, по крайней мере, в один оптимальный маршрут  $\psi_k$ , допустим в  $\psi_{k,p}$ . ОРС  $v_k$ , оптимальные маршруты, в которые канал связи  $e_{ij}$  не входит, будут составлять множество  $V_T$  ОРС. Пусть существует оптимальный маршрут  $\psi_k = \psi_{k,p}$  к ОРС  $v_k$  и известно, что канал связи  $e_{ij}$  не входит в этот маршрут. Тогда увеличение стоимости этого канала со значениями  $f_{i,j}$  до  $nf_{i,j}$  не изменит маршрута этого пути и не повлияет

на величину длины маршрута  $y_{k,p}$ . Еще до увеличения стоимости рассматриваемого канала включение этого канала в оптимальный маршрут приводило к увеличению длины маршрута. Все ОРС, не вошедшие в множество  $V_T$ , будут составлять множество  $V_R$ . Оптимальные маршруты к ОРС множества  $v \in V_R$  станут «недействительными», т.е. невозможно будет без дополнительного расчета сказать, останутся они такими же или оптимальный маршрут к ним не будет включать изменившийся канал связи. Теорема доказана.

*Теорема 3.* Если  $nf_{i,j} < f_{i,j}$  и  $e_{i,j} \in E_T$ , то без изменения останутся оптимальные маршруты для ОРС множества  $v \in \bar{V}_T^{(v_j)} \cup V^{(v_i)}$ , а для ОРС множества  $V^{(v_i)}$  неизменными останутся и оценки длин оптимальных маршрутов.

*Доказательство теоремы 3.* Пусть уменьшилась стоимость канала связи  $e_{i,j} \in E_T$ , входящего в оптимальный маршрут  $\psi_k = \psi_{k,p}$  к ОРС  $v_k \in V$ . Канал связи  $e_{i,j}$  после изменения также будет входить в оптимальный маршрут  $\psi_k$  к ОРС  $v_k$ . Поскольку стоимость канала связи  $f_{i,j}$  изменилась, то измениться должны длины всех маршрутов  $\psi_{t,r}$ , в которые входит этот канал связи. Действительно, если канал связи  $e_{i,j}$  входит в какой-либо оптимальный маршрут, и стоимость этого канала уменьшится, то это изменение не потребует изменения оптимального маршрута  $\psi_{k,p}$  (последовательности каналов) и длина маршрута  $y_{k,p}$  изменится на величину изменения стоимости канала. Маршруты  $\psi_s, v_s \notin V_T^{(v_j)} \cup V^{(v_i)}$  станут «недействительными», т.е. невозможно будет без дополнительного расчета сказать, останутся они такими же, или оптимальный маршрут к ним будет включать изменившейся канал связи. Следовательно, теорема доказана.

## Выводы

Полученные соотношения позволяют оценить оптимальность выбранной структуры программно-моделирующего комплекса и системы передачи информации, а также оперативность прохождения конфиденциальной информации по этапам обработки и выработать рекомендации по оптимизации пропускной способности самих этапов и системы в целом. Кроме того, соотношения, которые получены в результате параметрического исследования системы математических моделей оптимизации регулярной топологии сети передачи информации, позволяют получить обоснованные решения на начальном этапе системной интеграции информационных ресурсов.

## Список литературы

1. Хорошко, В.А. Кибертерроризм и информационная безопасность / В.А. Хорошко, М.Е. Шелест // Правове, нормативне та метрологічне забезпечення систем захисту інформації в Україні. – 2014. – Вип. 1(27). – С. 9–14.
2. Шарейко, Л.А. Комплексный анализ сетей передачи данных / Л.А. Шарейко – Винница: УНІВЕРСУМ, 1998. – 183 с.
3. Дудикевич, В.Б. Інформаційна модель безпеки технологій зв'язку / В.Б. Дудикевич, Т.В. Микитин, Р.І. Банах, А.І. Ребець, В.О. Хорошко // Інформатика та математичні методи в моделюванні. – 2014. – Т. 4, №2. – С.137–149.
4. Abu-Amara, H. Self-stabilizing topology maintenance protocols for high-speed networks / H. Abu-Amara, V.A. Coan, A. Kanevsky, J.I. Welch // IEEE/ACM Trans.Networking. – 2006. – Volume 4, №6. – PP. 902–912.
5. Анисимов, В.В. Элементы теории массового обслуживания и асимптотического анализа систем / В.В. Анисимов, О.К. Закусило, В.С. Донченко. – К: Вища школа, 1987. – 248 с.



6. Егоров, Ф.И. Математическое моделирование процессов передачи и обработки информации в телекоммуникационных сетях / Ф.И. Егоров, Е.А. Скоробогатько, В.И. Степаненко, В.А. Хорошко // Информатика та математичні методи в моделюванні. – 2012. – Т.2, №3. – С. 210–221.
7. Штойер, Р. Многокритериальная оптимизация. Теория, вычисления и приложения / Р. Штойер. – М: Радио и связь, 1992. – 504 с.
8. Хорари, Ф. Теория графов / Ф. Хорари. – М: Мир, 1973. – 300 с.
9. Оре, О. Теория графов / О. Оре. – М: Наука, 1980. – 336 с.

### АНАЛІЗ ТОПОЛОГІЇ МЕРЕЖІ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ

Скоробогатько Е.А., Тимченко Н.П., Хорошко В.О., Хохлячєва Ю.Є.

Національний авіаційний університет,  
пр. Космонавта Комарова, 1, Київ, 03058, Україна; e-mail: professor\_va@ukr.net

У роботі розглядається оптимізація структур програмно-моделюючого комплексу та системи передачі інформації з аналізом стійкості топології систем передачі інформації на основі поняття подвійності, а також оперативність проходження конфіденційної інформації по етапах обробки та вироблені рекомендації щодо пропускнуєї спроможності цих етапів і систем в цілому.

**Ключові слова:** інформаційна безпека, оптимізація, мережі передачі інформації, програмно-моделюючий комплекс, пропускуна здатність.

### ANALYSIS OF NETWORK TOPOLOGY INFORMATION

Skorobogatko E.A, Timchenko N.P, Khoroshko V.A, Hohlachëva Y.E

National Aviation University,  
pr. Komarova, 1, Kiev, 03058, Ukraine; e-mail: professor\_va@ukr.net

The paper deals with the optimization of structures and software modeling complex systems and information transfer with the analysis of the stability of the topology information transmission systems based on the concept of duality, as well as the efficiency of transmission of confidential information processing steps and recommendations on the capacity of these steps and systems in general.

**Keywords:** information security, optimization, network information, software and modeling complex, bandwidth.