

УДК 621.391

А.В. Лемешко¹, В.Л. Стерин²¹ Харьковский национальный университет радиоэлектроники² ЗАО «Киевстар Дж.Эс.Эм»

ОПТИМИЗАЦИЯ СТРУКТУРНОГО И ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СИНТЕЗА ТРАНСПОРТНОЙ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ

Предложена динамическая модель структурного и функционального синтеза транспортной телекоммуникационной сети, представленная в пространстве состояний. Модель описывает процесс согласованного решения задач по выбору топологии (ВТ) и пропускных способностей трактов передачи (ВПС ТП), распределения потоков (РП) и ограничения трафика (ОТ), поступающего в транспортную сеть. В модели заложена возможность решения задачи распределения капиталовложений между этапами проектирования согласованно с задачами ВТ, ВПС ТП, РП и ОТ, что является несомненно достоинством предложенного решения. Обоснован к применению критерий оптимальности проектных решений, который учитывает суммарные затраты на структурный и функциональный синтез транспортной телекоммуникационной сети.

Ключевые слова: динамическая модель, структурный и функциональный синтез, маршрутизация, критерии оптимальности, эффективность.

Введение

Современные мультисервисные телекоммуникационные сети (ТКС) являются важным системообразующим слагаемым глобальной информационной инфраструктуры (ГИИ) как национального, так и международного уровня [1]. Именно на ТКС возлагаются ключевые функции с точки зрения организации информационного взаимодействия между элементами ГИИ путем создания высокоскоростной транспортной среды. Постоянный рост требований к эффективности функционирования ТКС, что во многом сопровождается расширением возможностей по поддержке качества обслуживания (Quality of Service, QoS), накладывает определенный отпечаток и на процессы проектирования подобного рода сетей. Именно на этапе проектирования закладывается необходимый резерв сетевого ресурса, который должен в последствие оптимально распределяться, а при необходимости и наращиваться в процессе функционирования ТКС.

Важно отметить, что процесс проектирования ТКС не должен рассматриваться как событие, связанное с синтезом сети исключительно «с нуля». Как правило, трактовка данного термина значительно шире и охватывает задачи перепланирования, реструктуризации существующих ТКС или создания т.н. оверлейных (наложенных) сетей в интересах отдельных фирм и компаний на базе существующей телекоммуникационной инфраструктуры того или иного оператора связи.

В общем случае при решении задач проектирования ТКС необходимо учитывать множество противоречивых по своему содержанию требований: начиная от максимизации числа пользователей, охваченных услугами связи; поддержки заданного уровня качества обслуживания; и заканчивая минимизацией

суммарной стоимости создаваемой сети. В этой связи, важно задействовать возможности системного подхода как на этапе формализации задач проектирования, так и при обеспечении их эффективного решения. Нередко при решении задач проектирования ТКС на уровнях ее структурного и функционального синтеза нередко находили и находят свое применение эвристические подходы, основанные больше на инженерной интуиции, чем на теоретически обоснованных решениях [2, 3], что хоть и приводило к доступности в применении получаемых инженерных методик, но в целом отрицательно сказывалось эффективности конечных проектных решений.

Важное место в математических средствах формализации и решения задач структурного синтеза ТКС занимают графовые модели и комбинаторные методы расчета [3-5]. Важной особенностью графового подхода являлась ориентация на последовательное решение таких ключевых проектных задач, как выбор топологии (ВТ), выбор пропускных способностей трактов передачи (ВПС) и маршрутизации или распределения потоков (РП). Это определялось тем, что в рамках единой математической модели эти задачи в рамках теории графов не представлялось возможным, что приводило на практике к снижению качества получаемых решений.

Высокий интерес к данной проблематике вызвал появление достаточно новых и неординарных подходов к постановке и решению задач структурного и функционального синтеза ТКС. В этой связи заслуживает внимание подход, основанный на потоковом моделировании процесса функционального синтеза ТКС [6, 7], в рамках которого рассматриваемый процесс описывался линейными алгебраическими уравнениями состояния. Кроме того, совместно с потоковыми хорошо себя зарекомендовали многоуровневые

моделі структурно-функціонального синтеза, представлені накладеними графами і мультиграфами [8]. Подібні рішення дозволяють достатньо повно урахувати ієрархічну структуру проектуємих гетерогенних ТКС і забезпечити в рамках потокового моделювання рішення наряду з задачами функціонального синтеза і задачі структурної оптимізації.

Однако в рамках описаних підходів залишився без уваги той факт, що створення такої складної в організаційному і технічному плані системи як ТКС не являється миттєвим подією. Важливо урахувати, що процес проектування ТКС з точки зору рішення задач структурного і функціонального синтеза являється динамічним процесом, т.е. протікаючим во часі, і не повинен описуватися статичними моделями. По тому в рамках даної роботи розвивається парадигма, запропонована в роботі [9] і заснована на описанні розглядаємого процесу динамічними моделями, представленими в просторі станів різноманітними рівняннями. Подібні рішення дозволяють урахувати багатоступовість процесу проектування і послідовного введення в експлуатацію окремих мережевих потужностей, що більше відповідає реаліям практики, ніж використання статичних моделей.

В рамках даної статті ставиться задача розширити функціональність раніше відомих рішень, заснованих на динамічному моделюванні процесів структурно-функціонального синтеза ТКС, шляхом забезпечення більш повного урахування особливостей розподілу капіталовкладень по етапах проектування і обмеженості можливостей по введенню в експлуатацію мережевих потужностей на кожному конкретному етапі. Крім того, актуальною представляється задача по вибору можливих форм критеріїв оптимальності при розв'язанні задач структурно-функціонального синтеза ТКС. В рамках даної статті обмежимося розглядом фрагменту транспортної телекомунікаційної мережі (ТТКС), від ефективності роботи якої во багато і залежать численні значення ключових показників QoS.

Динамічна модель структурного і функціонального синтеза ТТКС

При розробці динамічної моделі структурно-функціонального синтеза транспортної телекомунікаційної мережі приймемо ряд важливих і прийнятних з точки зору практики допущень, стосуються того, що вважаються відомими наступні вихідні дані:

- фіксоване місцезнаходження вузлів (маршрутизаторів) транспортної ТКС;
- можливості по фізичній комутації вузлів ТТКС;
- можливості по підключенню абонентів (мереж доступу) до цих вузлів ТТКС.

Тоді ймовірною (в загальному випадку надлишкову по своєму вмісту) структуру ТКС можна охарактеризувати графом $G(R,L)$, множество вершин якого $R = R^* \cup R^{**}$ моделює множество вузлів проектуємої мережі $R^* = \{R_i^*, i = \overline{1, N}\}$, де R_i^* – i -й вузол проектуємої транспортної мережі, N – їх загальне число); а також множество абонентів (мереж доступу) $R^{**} = \{R_j^{**}, j = \overline{1, M}\}$, де R_j^{**} – j -й абонент (мережа доступу) проектуємої ТКС, M – їх загальне число). Множество дуг $L = L^* \cup L^{**}$ графа описує множество можливих трактів передачі між вузлами ТТКС $L^* = \{L_{i,j}^*; i, j = \overline{1, N}; i \neq j\}$ і ліній доступу $L^{**} = \{L_{m,s}^{**}; m = \overline{1, M}; s = \overline{1, N}\}$ між окремими абонентами (мережами доступу) і сусідніми вузлами ТТКС, можливість створення яких закладена в ході проектування, т.е. $L_{i,j}^*$ – створюваний тракт передачі (ТП) між i -м і j -м вузлами транспортної мережі, а $L_{m,s}^{**}$ – можлива лінія доступу (ЛД) від m -го абонента до s -го вузла транспортної мережі. В загальному випадку граф $G(R,L)$ являється багатозв'язним, але не повним (рис. 1).

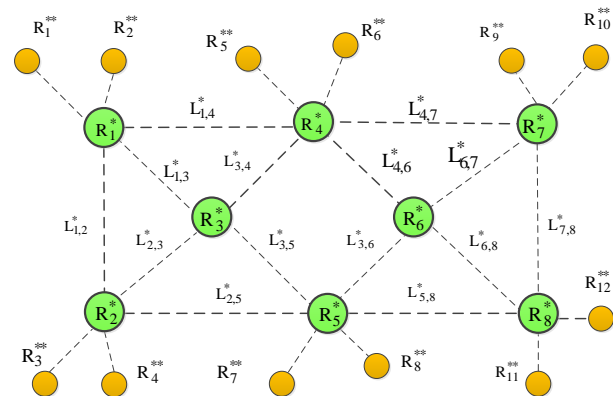


Рис. 1. Варіант графа G(R,L)

Доповнюючи перелік вводимих позначень, припустимо, що в якості відомих також виступають наступні вихідні дані:

Q – загальний обсяг капіталовкладень в створювану ТТКС, вимірюваний, наприклад, в гривнях;

$Z = \{Z_{h,m}; h = \overline{1, N}; m = \overline{1, M}\}$ – множество трафіків, поступаючих в ТТКС від окремих абонентів або мереж доступу, причому $Z_{h,m}$ – h -й трафік, поступаючий від m -го абонента (мережі доступу) до вузла транспортної мережі;

K – число часових інтервалів (етапів, стадій) в загальному процесі структурно-функціонального синтеза ТТКС;

$\Delta t = t_{k+1} - t_k$ – средняя длительность одного этапа структурно-функционального синтеза ТТКС, t_k и t_{k+1} – времена начала и окончания k -го временного интервала;

$b_{i,j}(k)$ – удельная стоимость ввода в строй единицы пропускной способности ТП $L_{i,j}^*$ сети на k -м временном интервале, измеряемая в грн/(бит/с); $k = \overline{1, K}$;

$a_{i,j}(k)$ – коэффициент потерь (снижения) пропускной способности ТП $L_{i,j}^*$ за k -й временной интервал;

$r_{h,m}(k)$ – средняя интенсивность входного трафика $Z_{h,m}$ на k -м временном интервале (бит/с).

Кроме того, введем следующие обозначения для рассчитываемых в ходе структурно-функционального синтеза ТТКС величин:

$c_{i,j}(k)$ – пропускная способность создаваемого ТП $L_{i,j}^*$ на k -м временном интервале (бит/с);

$q_{i,j}(k)$ – объем капиталовложений, направленный на наращивание ПС тракта передачи $L_{i,j}^*$ на k -м временном интервале (грн);

$u_{i,j}(k)$ – доля капиталовложений, выделенная на k -м временном интервале на наращивание ПС ТП $L_{i,j}^*$.

Тогда динамику изменения структурных и функциональных параметров проектируемой ТТКС в ходе решения задач ВТ и ВПС можно описать следующей системой разностных уравнений:

$$c_{i,j}(k+1) = a_{i,j}(k)c_{i,j}(k) + \underbrace{Qu_{i,j}(k)g_{i,j}(k)}_{\Delta c_{i,j}(k)}, \quad (1)$$

где $i, j = \overline{1, N}; i \neq j$; $g_{i,j}(k) = 1/b_{i,j}(k)$, $\Delta c_{i,j}(k) = Qu_{i,j}(k)g_{i,j}(k)$ – приращение ПС ТП $L_{i,j}^*$ за k -й временной интервал.

В ходе решения задачи структурно-функционального синтеза ТТКС необходимо обеспечить выполнение следующих важных условий-неравенств:

$$0 \leq \Delta c_{i,j}(k) \leq \Delta c_{i,j}^{\max}(k), \quad (2)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{L_{i,j}} u_{i,j}(k) \leq 1. \quad (3)$$

В условии (2) параметр $\Delta c_{i,j}^{\max}(k)$ численно характеризует максимально возможную величину приращения ПС тракта передачи $L_{i,j}^*$ за k -й временной интервал. Величина порога $\Delta c_{i,j}^{\max}(k)$ зависит от организационно-технических возможностей проектной организации, используемой телекомму-

никационной технологии и доступного ресурса по времени ($\Delta t = t_{k+1} - t_k$). Выполнение условия (3) обусловлено ограниченностью финансирования (Q) на создание ТТКС. Это условие можно представить и в более расширенной форме:

$$\sum_{k=1}^K q(k) \leq Q; \quad q(k) = Q \sum_{(i,j)} u_{i,j}(k); \quad q_{i,j}(k) = Qu_{i,j}(k),$$

где параметр $q(k)$ характеризует величину выделяемых капиталовложений на проектирование ТТКС в ходе k -го временного интервала (этапа проектирования).

В ряде случаев может возникнуть необходимость во введении ограничения

$$0 \leq q(k) \leq q^{\max}(k), \quad (4)$$

когда максимальный объем финансирования k -го временного этапа проектирования лимитирован.

В системе уравнений (1) пропускные способности $c_{i,j}(k)$ трактов передачи трактуются как переменные состояния процесса структурно-функционального синтеза ТТКС. Переменные $u_{i,j}(k)$ являются управляющими и регламентируют процесс перераспределения капиталовложений на создание отдельных ТП и наращивание их пропускной способности на различных временных этапах проектирования. При проектировании новой ТТКС в рамках предлагаемых решений считается, что начальные значения ПС всех вероятных ТП равны нулю, т.е. $c_{i,j}(0) = 0$. При перепланировании ТТКС или ее реструктуризации принимается допущение, что $c_{i,j}(0) \geq 0$.

С точки зрения формализации задач РП на уровнях доступа и транспортной сети в дополнение к вышеизложенному с каждым трафиком кроме его средней интенсивности ($r_{h,m}(k)$) будет ассоциироваться еще ряд ключевых параметров: $s_{h,m}$ и $d_{h,m}$ – узел-источник и узел-получатель трафика $Z_{h,m} \in Z$ соответственно. С точки зрения решения данных задач в рамках общей проблемы структурно-функционального синтеза ТТКС дополнительной управляющей (маршрутной) переменной будет служить величина $x_{i,j}^{h,m}(k)$, которая характеризует долю интенсивности трафика $Z_{h,m} \in Z$, который протекает в тракте $L_{i,j}^*$ на k -м временном интервале.

Пусть также переменная $\alpha_{h,m}$ моделирует долю интенсивности трафика $Z_{h,m} \in Z$, получившей отказ в обслуживании ТТКС на k -м временном интервале. Для предотвращения возможных потерь пакетов на сетевых узлах ТТКС в ходе расчета маршрутных переменных $x_{i,j}^{h,m}(k)$ важно выполнить условия сохранения потока [10]:

$$\left\{ \begin{aligned} \sum_{j:L_{i,j}^* \in L^*} x_{i,j}^{h,m}(k) - \sum_{j:L_{j,i}^* \in L^*} x_{j,i}^{h,m}(k) &= \\ = 0 \text{ при } Z_{h,m} \in Z, i \neq s_{h,m}, d_{h,m}; \\ \sum_{j:L_{i,j}^* \in L^*} x_{i,j}^{h,m}(k) - \sum_{j:L_{j,i}^* \in L^*} x_{j,i}^{h,m}(k) &= \\ = 1 - \alpha_{h,m}(k) \text{ при } Z_{h,m} \in Z, i = s_{h,m}; \\ \sum_{j:L_{i,j}^* \in L^*} x_{i,j}^{h,m}(k) - \sum_{j:L_{j,i}^* \in L^*} x_{j,i}^{h,m}(k) &= \\ = \alpha_{h,m}(k) - 1 \text{ при } Z_{h,m} \in Z, i = d_{h,m}, \end{aligned} \right. \quad (5)$$

а также условий недопущения перегрузки трактов передачи ТТКС в ходе маршрутизации трафика (РП):

$$\sum_{Z_{h,m} \in Z} r_{h,m}(k) x_{i,j}^{h,m}(k) \leq c_{i,j}(k); L_{i,j}^* \in L^*. \quad (6)$$

В соответствии с физикой решаемой задачи (5), (6) на маршрутные переменные $x_{i,j}^{h,m}(k)$ накладываются такие ограничения:

$$x_{i,j}^{h,m}(k) \in \{0,1\} \quad (7)$$

или

$$0 \leq x_{i,j}^{h,m}(k) \leq 1, \quad (8)$$

которые вводятся при моделировании процессов одно- (7) или многопутевой (8) маршрутизации в ходе решения задачи РП.

В свою очередь переменные отказов $\alpha_{h,m}(k)$ также ограничены в своих численных значениях:

$$0 \leq \alpha_{h,m}(k) \leq 1 \quad (9)$$

или

$$\alpha_{h,m}(k) \in \{0,1\}, \quad (10)$$

если на основе договора об уровне сервиса (SLA) допускается (9) или не допускается (10) частичное ограничение скорости доступа в сеть.

Выражения (1)-(10) в целом описывают процесс структурно-функционального синтеза ТТКС в динамике на уровне согласованного решения задач выбора топологии и пропускных способностей трактов передачи сети. Необходимую согласованность в решение задач ВТ, ВПС ТП, РП и ограничения трафика (ОТ), поступающего в ТТКС, обеспечивает введение условий (1), (5) и (6).

Новизна модели (1)-(10) по сравнению с решением, предложенным в работе [9], состоит в том, что в данной работе величина $q_{i,j}(k)$ является управляемой, а не задается заранее. Другими словами, если в ранее известной модели [9] требовалось предварительное решение задачи распределения капиталовложений между этапами проектирования, то в рамках вновь предложенной модели (1)-(10) заложена возможность решения данной задачи согласованно с задачами ВТ, ВПС ТП, РП и ОТ, что является несомненно достоинством предложенного решения.

Обоснование выбора критерия оптимальности решений относительно структурной и функциональной оптимизации ТТКС

Важная роль при решении задач структурного и функционального синтеза ТТКС отводится критериям оптимальности искомых решений. Именно от их формы и содержания во многом зависит эффективность конечных результатов с точки зрения их экономичности и производительности.

В работе [9] предлагается использовать критерий, напрямую связанный с максимизацией прибыли от обслуживания поступившего в ТТКС трафика. Подобный критерий достаточно прост в вычислениях и обеспечивает учет результатов решения хоть и ключевой, но единственной задачи – повышение производительности ТТКС. В данной работе предлагается к использованию критерий, связанный с минимизацией следующего стоимостного функционала:

$$J = \sum_{k=1}^K \sum_{Z_{h,m} \in Z} \sum_{L_{i,j}^* \in L^*} f_{i,j}^{h,m}(k) x_{i,j}^{h,m}(k) + \sum_{k=1}^K \sum_{L_{i,j}^* \in L^*} a_{i,j}(k) c_{i,j}(k) + \sum_{k=1}^K \sum_{Z_{h,m} \in Z} w_{h,m}(k) r_{h,m}(k) \alpha_{h,m}(k), \quad (11)$$

в котором $f_{i,j}^{h,m}(k)$ – маршрутная метрика ТП $L_{i,j}^*$ при передаче трафика $Z_{h,m}$ на k -м временном интервале; $a_{i,j}(k)$ – относительная стоимость использования единицы пропускной способности тракта передачи $L_{i,j}^*$ на k -м временном интервале; $w_{h,m}(k)$ – удельная прибыль от обслуживания трафика $Z_{h,m}$ на k -м временном интервале, измеряемая в грн/(бит/с). Тогда в функционале (11)

слагаемое $\sum_{k=1}^K \sum_{Z_{h,m} \in Z} \sum_{L_{i,j}^* \in L^*} f_{i,j}^{h,m}(k) x_{i,j}^{h,m}(k)$ отража-

ет относительную стоимость реализации функций РП (маршрутизации) в ходе проектирования ТТКС;

слагаемое $\sum_{k=1}^K \sum_{L_{i,j}^* \in L^*} a_{i,j}(k) c_{i,j}(k)$ количественно оце-

нивает затраты на использование канального ресурса проектируемой транспортной сети, а выражение

$\sum_{k=1}^K \sum_{Z_{h,m} \in Z} w_{h,m}(k) r_{h,m}(k) \alpha_{h,m}(k)$ численно характе-

ризует потери в прибыли ввиду отказов в обслуживании поступающего в сеть трафика.

Таким образом, в функционале (11) учитываются суммарные затраты на взаимосвязанное реше-

ние задач ВТ, ВПС ТП, РП и ограничения трафика, поступающего в ТТКС. При этом, отказы в обслуживании в рамках модели (1)-(11) обусловлены лишь нехваткой сетевых ресурсов на к-м временном интервале при проектировании ТТКС.

Минимизация функционала (11) должна осуществляться при соблюдении системы функциональных ограничений, представленных в рамках модели (1)-(10). Форма критерия (11) и наличие динамического ограничения (1) позволяет классифицировать сформулированную оптимизационную задачу как задачу оптимального управления, что подразумевает использование для ее решения соответствующих методов [11]: принципа максимума Понтрягина, динамического программирования Беллмана, численных методов и др.

Выводы

В статье предложено усовершенствование ранее известной [9] модели структурного и функционального синтеза транспортной ТКС. Важно отметить, что в рамках предлагаемой модели (1)-(11) уже не требуется предварительное решение задачи распределения капиталовложений между этапами проектирования. Т.е. в самой модели заложена возможность решения проблемы структурно-функционального синтеза ТТКС на основе согласования решений отдельных проектных задач: выбора топологии, выбора пропускных способностей трактов передачи, распределения потоков (маршрутизации) и ограничения поступающего от сетей доступа в транспортную сеть трафика. Кроме того, модификация также коснулась пересмотра критерия оптимальности, в рамках которого теперь производится учет условных затрат на решения перечисленных задач: ВТ, ВПС ТП, РП и ограничения трафика, поступающего в ТТКС.

ОПТИМІЗАЦІЯ СТРУКТУРНОГО І ФУНКЦІОНАЛЬНОГО СИНТЕЗУ ТРАНСПОРТНОЇ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ

О.В. Лемешко, В.Л. Стерін

Запропонована динамічна модель структурного і функціонального синтезу транспортної телекомунікаційної мережі, представлена в просторі станів. Модель описує процес погодженого рішення задач по вибору топології (ВТ) і пропускних здатностей трактів передачі (ВПС ТП), розподілу потоків (РП) та обмеження трафіку (ОТ), що надходить у транспортну мережу. У моделі закладена можливість вирішення задачі розподілу капіталовкладень між етапами проектування узгоджено із завданнями ВТ, ВПС ТП, РП та ОТ, що є перевагою запропонованого рішення. Обґрунтовано до застосування критерії оптимальності проектних рішень, який враховує сумарні витрати на структурний і функціональний синтез транспортної телекомунікаційної мережі.

Ключові слова: динамічна модель, структурний і функціональний синтез, маршрутизація, критерії оптимальності, ефективність.

OPTIMIZATION OF STRUCTURAL AND FUNCTIONAL SYNTHESIS TRANSPORT TELECOMMUNICATION NETWORK

O.V. Lemeshko, V.L. Sterin

Proposed a dynamic model of the structural and functional synthesis telecommunications transport network at the state space. The model describes the process of coordinated tasks by choice of topology (CT) and channel bandwidth (CCB), flow distribution (FD) and limit traffic (LT) entering the transport network. The model is the possibility of solving the problem of distribution of investment between the stages of design in concert with the objectives of CT, CCB, FD and LT, which is an advantage of the proposed solution. Justified the use of the criterion of optimal design solution that takes into account the total cost of the structural and functional synthesis transport telecommunication network.

Keywords: dynamic model, the structural and functional synthesis, routing, optimization criteria, efficiency.

Список литературы

1. Закон України «Про телекомунікації» // Верховна Рада України; Закон від 18.11.2003 № 1280-IV [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=1280-15>.
2. Семенов Ю.В. Проектирование сетей связи следующего поколения / Ю.В. Семенов. – С.Пб.: Наука и техника, 2005. – 240 с.
3. Клейнрок Л. Вычислительные системы с очередями / Л. Клейнрок. – М.: Мир, 1979. – 600 с.
4. Математичні основи теорії телекомунікаційних систем / За заг. ред. В.В. Поповського. – Х.: ТОВ «Компанія СМІТ», 2006. – 564 с.
5. Зайченко Ю.П. Структурная оптимизация сетей ЭВМ / Ю.П. Зайченко, Ю.В. Гонга. – К.: Техника, 1986. – 168 с.
6. Pióro M., Medhi D. Routing, Flow, and Capacity Design in Communication and Computer Networks. – Morgan Kaufmann, 2004. – 765 p.
7. Minoux M. Networks synthesis and optimum network design problems: Models, solution methods and applications // Networks. – Vol. 19, Issue 3. – 1989. – P. 313–360.
8. Агеев Д.В. Структурный и параметрический синтез наложенной сети IP/MPLS поверх сети WDM с применением модели, представленной в виде многослойного графа [Електронний ресурс] / Д.В. Агеев // Проблеми телекомунікацій. – 2012. – № 3 (8). – С. 3–23. – Режим доступу до журн.: http://pt.journal.kh.ua/2012/3/1/123_ageyev_mpls.pdf.
9. Лемешко А.В. Динамическая модель структурно-функционального синтеза транспортной ТКС [Електронний ресурс] / А.В. Лемешко, В.Л. Стерин // Проблеми телекомунікацій. – 2011. – № 3 (5). – С. 8–17. – Режим доступу до журн.: http://pt.journal.kh.ua/2011/3/1/113_lemeshko_synthesis.pdf.
10. Справочник по теории автоматического управления / Под ред. А.А. Красовского. – М.: Наука, 1987. – 712 с.

Поступила в редколлегию 2.10.2012

Рецензент: д-р техн. наук, доц. О.Ю. Евсеева, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков.