УДК 654.05

Н.В. Евглевская, Р.С. Пак, А.А. Привалов, Н.А. Хмелляр, С.А. Шинкарев

**АЛГОРИТМ НАХОЖДЕНИЯ КОНДИЦИОННОГО ОСТОВНОГО ДЕРЕВА
ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ СИГНАЛОВ СИНХРОНИЗАЦИИ НА СЕТИ СВЯЗИ**

Евглевская Наталья Валерьевна, кандидат технических наук, окончила электротехнический факультет Петербургского государственного университета путей сообщения (ПГУПС). Преподаватель Военной академии связи (ВАС) им. С.М. Буденного. Имеет статьи в области информационной безопасности. [e-mail: n.evglevskaya@gmail.com].

Пак Роман Сергеевич, курсант ВАС им. С.М. Буденного. Имеет статью в области теории сетей связи. [e-mail: rakroman17@gmail.com].

Привалов Андрей Андреевич, доктор военных наук, профессор, окончил Ставропольское высшее училище связи. Профессор кафедры «Электрическая связь» ПГУПС. Имеет статьи, монографии, изобретения в области информационной безопасности, математического моделирования систем и процессов связи, систем управления телекоммуникациями. [e-mail: aprivalov@inbox.ru].

Хмелляр Николай Александрович, окончил ВАС им. С.М. Буденного. Офицер отдела войсковой части 61535. Имеет статьи в области теории сетей связи. [e-mail: theboyxxx@yandex.ru].

Шинкарев Семен Александрович, кандидат технических наук, окончил адъюнктуру ВАС им.С.М. Буденного. Доцент ВАС им.С.М. Буденного. Имеет статьи, изобретение в области теории сетей связи. [e-mail: se_men82@mail.ru].

Аннотация

На этапах проектирования, строительства и функционирования сетей связи необходимо учитывать требования, предъявляемые к различным подсистемам, а особенно к подсистеме управления. В современных условиях постоянного увеличения объемов передаваемых сообщений на сетях связи возрастают требования к качеству цифровых каналов и сетевых устройств. Подсистема управления как неотъемлемая часть сети связи должна строиться совместно с ней, однако существует ряд самостоятельных задач, решаемых только для подсистемы управления. Одной из важнейших подсистем сети является подсистема тактовой сетевой синхронизации, которая выполняет функции формирования, передачи и распределения сигналов синхронизации, необходимых для поддержания функционирования всех цифровых сетевых устройств и предоставления услуг связи заданного качества. Важнейшим аспектом синтеза подсистемы тактовой сетевой синхронизации является выбор иерархии (схемы) распределения сигналов управления. Авторами статьи разработан алгоритм построения такой подсистемы, представляющий собой кондиционное дерево минимального ранга с наилучшей протяженностью сетки линий, соединяющей все узлы сети. Данный алгоритм позволяет получить оптимальную подсистему тактовой сетевой синхронизации, а также подсистему управления в целом, поскольку алгоритм является универсальным и может использоваться для решения различных задач. Проблематика, рассмотренная в данной работе, является актуальной как в отношении стационарных сетевых структур, так и в условиях динамического изменения топологии сетей связи.

Ключевые слова: кондиционное остовное дерево, подсистема управления, теорема О.Б. Лупанова, алгоритмы Прима, Краскала, STP.

doi: 10.35752/1991-2927-2020-2-60-117-123

ALGORITHM FOR FINDING THE CONDITIONED SPANNING TREE TO TRANSMIT SYNCHRONIZATION SIGNALS TO THE COMMUNICATION NETWORKS

Natalia Valerevna Evglevskaia, Candidate of Sciences in Engineering; graduated from the Faculty of Electrical Engineering of Saint Petersburg State Transport University; a lecturer of the Marshal Budjonny Military Academy of Signal Corps; an author of articles in the field of information security. e-mail: n.evglevskaia@gmail.com.

Roman Sergeevich Pak, Cadet of the Marshal Budjonny Military Academy of Signal Corps; an author of an article in the field of network theory. e-mail: pakroman17@gmail.com.

Andrei Andreevich Privalov, Doctor of Military Sciences, Professor; graduated from the Stavropol Higher Military School of Communications of Communications; Professor of the Department of Telecommunications of Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University; a patent holder, author of articles, monographs in the field of information security, mathematical modeling of systems and communication processes, telecommunications control systems. e-mail: aprivalov@inbox.ru.

Nikolai Aleksandrovich Khmelliari, graduated from the Marshal Budjonny Military Academy of Signal Corps; an officer of a department of the Military Unit No. 61535; an author of articles in the field of network theory. e-mail: theboyxxx@yandex.ru.

Simeon Aleksandrovich Shinkarev, Candidate of Sciences in Engineering; completed the postgraduate studies at the Marshal Budjonny Military Academy of Signal Corps; Associate Professor at the Marshal Budjonny Military Academy of Signal Corps; a patent holder, author of articles in the field of network theory. e-mail: se_men82@mail.ru.

Abstract

In designing, building and operation stages of communication networks, the requirements for different subsystems, and especially for the control subsystem, must be taken into account. In the present environment of constant increase of transmitting messages in communication networks, the requirements for the quality of digital channels and network devices are getting higher. The control subsystem as an integral part of the communication network is to be built in conjunction with it, but there are some independent tasks, that can be solved only for the control subsystem. One of the most important subsystems is the clock network synchronization one, which generates, transmits and distributes synchronization signals, required for keeping functioning of all digital network devices and for providing services of specified quality. The most crucial aspect of the synthesis of the clock network synchronization subsystem is the selection of hierarchy (scheme) of control signal distribution. The authors of the article developed the algorithm of building such a subsystem, which is the minimal rank conditioned tree with the best length of the line grid connecting all network nodes. This algorithm allows obtaining the optimized clock network synchronization subsystem and the control subsystem in general, because the algorithm is multifunctional and can be used for solving different tasks. Problems described in the article are of great importance both for fixed network structures and for the conditions of dynamic change of communication networks topology.

Key words: conditioned spanning tree, control subsystem, theorem of O.B. Lupanov, algorithms of Prim and Kruskal, STP.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время сети связи строятся с использованием перспективного цифрового телекоммуникационного оборудования, но современные скорости передачи информации обуславливают наибольшие задержки именно в сетевом оборудовании. Соответственно от количества переприемов зависит эффективность функционирования системы связи в целом.

Структуру современной сети связи можно представить в виде множества узлов связи в их взаимном расположении на местности и линий, соединяющих эти узлы и предназначенных для переноса сообщений в виде электрических (световых) сигналов от источника к получателю. По функциональному признаку на сетях связи выделяются подсистемы переноса, коммутации, сигнализации, управления и тактовой сетевой синхронизации.

Основной задачей системы управления является уменьшение времени реакции эксплуатационных служб на изменение состояния сети [1–4]. Для этого современные сетевые устройства создают на базе высокопроизводительных аппаратных платформ, включающих новые функциональные возможности для увеличения скорости принятия решения по маршрутизации каждого пакета. Но в современных условиях необходимо обеспечить наименьшее количество переприемов сообщения.

Схему распределения сигналов управления можно представить в виде остовного дерева, которое является подграфом сети, включающим в себя все узлы и не содержащим циклов. Количество остовных деревьев на сети зависит от ее размерности, но не каждое остовное дерево может быть выбрано в качестве схемы распределения сигналов управления.

1 НАХОЖДЕНИЕ КОНДИЦИОННОГО ОСТОВНОГО ДЕРЕВА

Остовное дерево, удовлетворяющее следующим условиям: вершиной иерархии должен являться узел; количество уровней иерархии (ранг остовного дерева) должно быть минимальным; протяженность сетки линий, соединяющих узлы, должна быть минимальной – называется кондиционным.

Существует ряд алгоритмов, позволяющих найти на сети остовное дерево. Наиболее известными являются алгоритмы Прима, Краскала и STP [5, 6], которые позволяют решать задачу нахождения остовного дерева с минимальной протяженностью сетки линий.

В статье предлагается алгоритм, основанный на представлении кондиционного остовного дерева в виде пути минимального ранга, соединяющего все узлы сети.

Пусть задана топологическая структура сети связи в виде графа $G(A, B)$, где $A = \{a_i\}$, $\{x_i, y_i\}$, $i = \overline{1, N}$ – множество узлов сети, $B = \{b_{ij}\}$, $i \neq j$, $i, j = \overline{1, n}$ – множество соединяющих линий, которое можно задать функцией, где каждому ребру соответствуют две вершины. Функцию можно представить в следующем виде:

$$f\{\beta_{ij}\}: A \rightarrow B, i \neq j, i, j = \overline{1, N}, \quad (1)$$

где N – множество узлов, а $\{\beta_{ij}\}$ – множество ребер графа, которые могут принимать значения:

$$\beta_{ij} = \begin{cases} b_{ij}, \forall b_{ij} \in B, i \neq j, \\ 0, \forall b_{ij} \notin B \vee i = j. \end{cases} \quad (2)$$

Наиболее простым способом представления функции (1) является матричный. Исходную функцию можно представить в виде матрицы $C = \|\beta_{ij}\|$, в которой ее элементами являются пути первого ранга между всеми вершинами i и j :

$$c_{ij} = \begin{cases} b_{ij}, \exists \pi_{ij}^1, \\ 0, \exists \pi_{ij}^1. \end{cases} \quad (3)$$

Принцип алгоритма основан на теореме О.Б. Лупанова о разложении функции алгебры логики по k переменным [7].

Теорема гласит: пусть функция $F(\omega_0, \omega_1, \dots, \omega_{n-1})$, где $n = 2^k$, существенно зависит от всех своих n аргументов. Тогда существуют такие функции $\psi_i(x_1, x_2, \dots, x_k, y)$, где $0 \leq i \leq 2^k$, что любая функция алгебры логики $f(x_1, x_2, \dots, x_k, y_1, y_2, \dots, y_l)$ может быть представлена в виде:

$$\begin{aligned} f(x_1, x_2, \dots, x_k, y_1, y_2, \dots, y_l) = \\ = F\{\psi_0[x_1, x_2, \dots, x_k, f(0, 0, \dots, 0, 0, y_1, y_2, \dots, y_l)], \\ \psi_1[x_1, x_2, \dots, x_k, f(0, 0, \dots, 0, 0, y_1, y_2, \dots, y_l)], \\ \psi_2[x_1, x_2, \dots, x_k, f(0, 0, \dots, 0, 0, y_1, y_2, \dots, y_l)], \\ \dots \\ \psi_{2^k-1}[x_1, x_2, \dots, x_k, f(0, 0, \dots, 0, 0, y_1, y_2, \dots, y_l)]\}, \end{aligned} \quad (4)$$

где $F(\omega_0, \omega_1, \dots, \omega_{n-1})$ – внешняя функция разложения, а $\psi_i(x_1, x_2, \dots, x_k, y)$ – сопряженная функция.

Согласно этой теореме, функцию (1) можно представить в виде:

$$\begin{aligned} f\{\beta_{ij}\} = \bigcup_{\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_n} b_{s1}^{\sigma_1} b_{lk}^{\sigma_2} \dots b_{cd}^{\sigma_{n-1}} \times \\ \times b_{dz}^{\sigma_n} f(\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_n, \{\beta_{1j}\}, \{\beta_{2j}\}, \dots, \\ \beta_{s1}, \beta_{s2}, \beta_{s(l-1)}, \beta_{s(l+1)}, \dots, \beta_{sN}, \dots, \\ \beta_{c1}, \beta_{c2}, \dots, \beta_{c(d-1)}, \beta_{c(d+1)}, \dots, \beta_{cN}, \dots, \\ \beta_{l1}, \dots, \beta_{l(k-1)}, \beta_{l(k+1)}, \dots, \beta_{lN}, \dots, \\ \beta_{d1}, \dots, \beta_{d(z-1)}, \beta_{d(z+1)}, \dots, \beta_{dN}, \dots, \{\beta_{Nj}\}), \end{aligned} \quad (5)$$

где символ $\bigcup_{\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_n}$ означает логическую сумму по всем $\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_n$ ($\sigma_i = 1$ или 0), n – ранг (число) разложения.

Каждый шаг разложения функции (1) будет соответствовать преобразованию исходного графа G_n в граф G_{n+1} и в суграф H_{n+1} . G_{n+1} – граф, в котором узел a_s , связанный с узлами $a_z, a_l, a_d, \dots, a_q$ ребрами $b_{sl}, b_{lk}, b_{cd}, \dots, b_{dz}$, совмещен с узлами a_z, a_l, a_d . Суграф H_{n+1} образуется из исходного G_n , в котором узел a_s совмещен с узлами a_z, a_l, a_d путем удаления ребер b_{dz}, b_{sl}, b_{lk} . Таким образом, исходную функцию (1) можно представить в следующем виде:

$$f\{\beta_{ij}\} = f_n\{\beta_{ij}\} + \sum_{e=1}^n f'_e\{\beta_{ij}\}, \quad (6)$$

где $f_n\{\beta_{ij}\}$ – основная функция, $f'_e\{\beta_{ij}\}$ – вспомогательная функция, а n – число шагов.

В свою очередь вспомогательную функцию можно представить также в виде рабочей и вспомогательной функций:

$$f'_n\{\beta_{ij}\} = f'_{en}\{\beta_{ij}\} + \sum_{e'=1}^n f''_{e'}\{\beta_{ij}\}. \quad (7)$$

В результате пошагового разложения исходной функции на ряд рабочих и вспомогательных происходит совмещение вершины a_i с остальными вершинами графа G_n , при этом ребра, позволяющие совместить узлы, и будут соответствовать пути, соединяющему все вершины сети минимального ранга.

2 ПРИМЕР НАХОЖДЕНИЯ КОНДИЦИОННОГО ОСТОВНОГО ДЕРЕВА

Пусть задан граф сети связи $G(A, B)$ (рис. 1). Необходимо найти кондиционное остовное дерево от вершины 12.

На первом шаге задается первоначальная функция в виде матрицы $C = \|c_{ij}\|$, где отображаются отношения между вершинами графа, представленного на рисунке 1.

Рис. 1. Исходный граф сети связи

$$C = \begin{vmatrix} - & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & - & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 10 & 0 \\ 0 & 1 & - & 8 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 8 & - & 9 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 7 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 9 & - & 11 & 0 & 0 & 12 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 11 & - & 16 & 0 & 0 & 0 & 0 & 15 \\ 3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 16 & - & 4 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 4 & - & 0 & 0 & 5 & 17 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 12 & 0 & 0 & 0 & - & 13 & 0 & 14 \\ 0 & 0 & 0 & 7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 13 & - & 6 & 0 \\ 0 & 10 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 5 & 0 & 6 & - & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 15 & 0 & 17 & 14 & 0 & 0 & - \end{vmatrix}. \quad (8)$$

Элементы 12-й строки, не равные 0, заносятся в таблицу 1, они соответствуют ребрам, инцидентным вершине 12. Далее следует обнулить 12-ю строку и столбец матрицы (8), получается рабочая матрица, которая при разбиении соответствует основной функции.

Таблица 1
Массив, полученный после выполнения первого шага

1-я иерархия	2-я иерархия	3-я иерархия	4-я иерархия
15			
17			
14			

$$B_{f_1} = \begin{pmatrix} - & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & - & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 10 & 0 \\ 0 & 1 & - & 8 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 8 & - & 9 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 7 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 9 & - & 11 & 0 & 0 & 12 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 11 & - & 16 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 16 & - & 4 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 4 & - & 0 & 0 & 5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 12 & 0 & 0 & 0 & - & 13 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 13 & - & 6 & 0 \\ 0 & 10 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 5 & 0 & 6 & - & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & - \end{pmatrix}. \quad (9)$$

Далее из матрицы (9) следует удалить 6-ю, 8-ю и 9-ю строки и столбцы соответственно, а элементы этих строк записать в 12-ю строку, в результате получается вспомогательная матрица (10).

$$B_{f_{i+1}} = \begin{pmatrix} - & 2 & 0 & 0 & 0 & 3 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & - & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 10 & 0 \\ 0 & 1 & - & 8 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 8 & - & 9 & 0 & 0 & 7 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 9 & - & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 3 & 0 & 0 & 0 & 0 & - & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 7 & 0 & 0 & - & 6 & 0 \\ 0 & 10 & 0 & 0 & 0 & 0 & 6 & - & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 11 & 16 & 13 & 5 & - \end{pmatrix}. \quad (10)$$

При записи элементов требуется выбрать, какой элемент записать в 12-ю строку $b_{65} = 11$ или $b_{95} = 12$, и $b_{67} = 16$ или $b_{87} = 4$ матрицы (9). Это необходимо для исключения появления циклов при нахождении остовного дерева.

Далее необходимо обнулить 9-ю строку матрицы (10), а значения записать в таблицу 2, в результате чего получается новая рабочая матрица (11).

Таблица 2

Массив, полученный после выполнения второго шага

1-я иерархия	2-я иерархия	3-я иерархия	4-я иерархия
15	11		
17	4		
14	13		
	5		

$$B_{f_2} = \begin{pmatrix} - & 2 & 0 & 0 & 0 & 3 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & - & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 10 & 0 \\ 0 & 1 & - & 8 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 8 & - & 9 & 0 & 0 & 7 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 9 & - & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 3 & 0 & 0 & 0 & 0 & - & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 7 & 0 & 0 & - & 6 & 0 \\ 0 & 10 & 0 & 0 & 0 & 0 & 6 & - & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & - \end{pmatrix}. \quad (11)$$

Теперь из матрицы (11) необходимо удалить 5-ю, 7-ю, 10-ю и 11-ю строки и столбцы соответственно, а элементы этих строк записать в 12-ю строку, в результате чего получается вспомогательная матрица (12):

$$B_{f_2+1} = \begin{vmatrix} - & 2 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & - & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & - & 8 & 0 \\ 0 & 0 & 8 & - & 0 \\ 3 & 10 & 0 & 7 & - \end{vmatrix}. \quad (12)$$

После обнуления последней строки матрицы (12) нужно записать значения в таблицу 3, в результате чего получается новая рабочая матрица (13).

Таблица 3

Массив, полученный после выполнения третьего шага

1-я иерархия	2-я иерархия	3-я иерархия	4-я иерархия
15	11	3	
17	4	10	
14	13	7	
	5		

$$B_{f_3} = \begin{vmatrix} - & 2 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & - & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & - & 8 & 0 \\ 0 & 0 & 8 & - & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & - \end{vmatrix}. \quad (13)$$

Теперь необходимо удалить из матрицы (13) 1-ю, 2-ю и 4-ю строки и столбцы соответственно, а элементы этих строк записать в 12-ю строку, в результате чего получится вспомогательная матрица (14):

$$B_{f_3+1} = \begin{vmatrix} - & 0 \\ 1 & - \end{vmatrix}. \quad (14)$$

Далее следует обнулить последнюю строку и значение записать в таблицу 4. Получается конечная нулевая рабочая матрица (15).

Таблица 4

Массив, полученный после выполнения четвертого шага

1-я иерархия	2-я иерархия	3-я иерархия	4-я иерархия
15	11	3	1
17	4	10	
14	13	7	
	5

Рис. 2. Кондиционное остовное дерево

$$B_{f_4} = \begin{vmatrix} - & 0 \\ 0 & - \end{vmatrix}. \quad (15)$$

3 ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

В результате проделанной работы получается кондиционное остовное дерево минимального ранга с наилучшей протяженностью сетки линий, соединяющей все узлы сети (рис. 2).

Ниже представлены результаты сравнения параметров (уровней иерархии и общей протяженности сетки линий) полученного дерева с известными алгоритмами (Прима, Краскала, STP) (таблица 5, рис. 3, 4). Из таблицы 5 видно, что применение алгоритма нахождения кондиционного остовного дерева, в отличие от других алгоритмов, позволяет учитывать меньшее количество уровней иерархии при наибольшей протяженности сетки линий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанный алгоритм нахождения кондиционного остовного дерева предложен впервые. В отличие от известных алгоритмов нахождения минимальных остовных деревьев, данный алгоритм позволяет определить кондиционное остовное дерево, что является важным шагом в эффективной работе системы управления. Данный алгоритм основан на использовании разложения булевой функции по переменным, что позволяет находить кондиционное остовное дерево на топологических структурах любой размерности.

Таблица 5

Результаты сравнения параметров кондиционного остовного дерева

Параметры	Алгоритм нахождения кондиционного остовного дерева	Алгоритмы Прима/Краскала	Алгоритм STP
Количество уровней иерархии	4	8	5
Протяженность сетки линий	100	74	94

Рис. 3. Дерево, построенное на основе алгоритмов Прима/Краскала

Рис. 4. Дерево, построенное на основе алгоритма STP

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Егунев М.М., Шерстнева О.Г., Абзапарова Е.А. Системы управления сетями связи : учеб. пособие. Екатеринбург : УрТИСИ ГОУ ВПО «СибГУТИ», 2009. 67 с.

2. Ageev S.A., Kotenko I.V, Saenko I.B. Monitoring the State of Elements of Multi-Service Communication Networks on the Basis of Fuzzy Logical Inference // The Sixth International Conference on Communications, Computation, Networks and Technologies. Greece, 2017. pp. 34–40.

3. Method of operational monitoring of technical condition of multiservice communication network on the basis of hierarchical fuzzy inference / S.A. Ageev, A.A. Gladkikh, D.V. Mishin, A.A. Privalov // Fuzzy Technologies in the Industry – FTI 2018. Ulyanovsk, 2018. pp. 211–221.

4. Метод обнаружения аномалий трафика в высокоскоростных мультисервисных сетях связи / С.А. Агеев, А.А. Гладких, Д.В. Мишин, А.А. Привалов, А.К. Волков // Сб. тр. семнадцатой нац. конф. по искусственному интеллекту с междунар. Участием КИИ-2019. В 2 т. Ульяновск, 2019. Т. 1. С. 120–134.

5. Олифер В.Г, Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы : учеб. для вузов. 5-е изд. СПб. : Питер, 2016. 992 с.

6. Thomas H. Cormen, Charles E. Leiserson, Ronald L. Rivest, Clifford Stein. Introducing to Algorithms. London, MIT Press, 2009. 984 p.

7. Кобринский Н.Е., Трахтенброт Б.А. Введение в теорию конечных автоматов. М. : Физматгиз, 1962. 405 с.

REFERENCES

1. Egunov M.M., Sherstneva O.G., Abzaparova E.A. *Sistemy upravleniia setiami svyazi*. Ucheb. posobie

[Communication Network Control Systems. Textbook]. Ekaterinburg, UrTISI GOU VPO ‘SibGUTI’ Publ., 2009. 67 p.

2. Ageev S.A., Kotenko I.V, Saenko I.B. Monitoring the State of Elements of Multi-Service Communication Networks on the Basis of Fuzzy Logical Inference. *Proc. of the 6th International Conference on Communications, Computation, Networks and Technologies*. Greece, 2017, pp. 34–40.

3. Ageev S.A., Gladkikh A.A., Mishin D.V., Privalov A.A. Method of Operational Monitoring of Technical Condition of Multiservice Communication Network on the Basis of Hierarchical Fuzzy Inference. *Proc. on Fuzzy Technologies in the Industry – FTI 2018*. Ulyanovsk, 2018, pp. 211–221.

4. Ageev S.A., Gladkikh A.A., Mishin D.V., Privalov A.A., Volkov A.K. Metod obnaruzheniia anomalii trafika v vysokoskorostnykh multiservisnykh setiakh svyazi [Method for Detecting Traffic Anomalies in High-Bandwidth Multi-Service Communication Networks]. *Sb. tr. semnadtsatoi nats. konf. po iskusstvennomu intellektu s mezhdunar. uchastiem KII-2019. V 2 t.* [Proc. of 17th National Conf. on Artificial Intelligence with Int. Participation KII-2019. Two volumes]. Ulyanovsk, 2019, vol. 1, pp. 120–134.

5. Olifer V.G, Olifer N.A. *Kompiuternye seti. Printsipy, tekhnologii, protokoly*. Ucheb. dlia vuzov 5-e izd. [Computer Networks. Principles, Technologies, Protocols. Textbook for Universities. The 5th Edition]. St. Petersburg, Piter Publ., 2016. 992 p.

6. Thomas H. Cormen, Charles E. Leiserson, Ronald L. Rivest, Clifford Stein. *Introducing to Algorithms*. London, MIT Press, 2009. 984 p.

7. Kobrinskii N.E., Trakhtenbrot B.A. *Vvedenie v teoriiu konechnykh avtomatov* [Introduction to the Finite Automata Theory]. Moscow, Fizmatgiz Publ., 1962. 405 p.