

# МЕТОДИКА ОЦЕНКИ СТРУКТУРЫ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ ЧИСЛЕННЫМИ МЕТОДАМИ

## METHOD OF ESTIMATION OF TELECOMMUNICATION NETWORK STRUCTURE BY NUMERICAL METHODS

**L. Orlova**  
**S. Krivtsov**  
**M. Hamdan**  
**G. Baiseitov**  
**A. Abd**

*Summary.* in this paper we consider a universal technique that allows us to evaluate the preferred set of planned to use the structures of the telecommunication network in order to select the optimal in specific conditions of its operation. The evaluation of structures is carried out using the Monte Carlo method by the connectivity parameter of the network graph and the conditioning parameter of routes. The technique allows to take into account the influence of random factors and features of the telecommunication technology used on the network.

*Keywords:* network graph, the parameter of connectivity, the number of spanning trees, the setting of konditsionnost routes, Monte-Carlo, the Floyd algorithm.

**Орлова Людмила Ивановна**

*К.т.н., ФГКВОУ ВО «Военная академия связи  
им. Маршала Советского Союза С. М. Будённого» (г. Санкт  
Петербург)  
akacia25@rambler.ru*

**Кривцов Станислав Петрович**

*Старший преподаватель, ФГКВОУ ВО «Военная  
академия связи им. Маршала Советского  
Союза С. М. Будённого» (г. Санкт Петербург)  
staskriv@mail.ru*

**Хамдан Мохамед Рибхи Ас'ад**

*Адъюнкт, ФГКВОУ ВО «Военная академия связи  
им. Маршала Советского Союза С. М. Будённого» (г. Санкт  
Петербург)  
hamdan.mohamed@yandex.ru*

**Байсаитов Гани Нуралиевич**

*К.т.н., ФГКВОУ ВО «Военная академия связи  
им. Маршала Советского Союза С. М. Будённого» (г. Санкт  
Петербург)  
bayyseitov.ganinurgalievich@rambler.ru*

**Абд Аль Кадар Ахмед Ясин**

*К.т.н., Хатайский университет имени Мустафы  
Кемаля. Турция, г. Хатай  
dahmedaboyassin2018@gmail.com*

*Аннотация.* В работе рассматривается универсальная методика, позволяющая оценивать предпочтительное множество планируемых к использованию структур телекоммуникационной сети с целью выбора оптимальной в конкретных условиях ее эксплуатации. Оценка структур проводится с использованием метода Монте-Карло по параметру связности графа сети и параметру кондиционности маршрутов. Методика позволяет учитывать влияние случайных факторов и особенности применяемой на сети телекоммуникационной технологии.

*Ключевые слова:* граф сети, параметр связности, количество остовных деревьев, параметр кондиционности маршрутов, метод Монте-Карло, алгоритм Флойда.

## Введение

**П**отребность в оценке структур телекоммуникационных сетей, а соответственно, и в наличии самой методики оценки, связаны с необходимостью выбора оптимальных структур сети еще на стадии их разработки (проектирования).

Наиболее удобным способом описания структуры сети связи является ее задание в виде графа [3]. Если структуры сравниваемых сетей не ориентированы на некоторую базовую структуру, то наиболее полная их оценка может быть получена с использованием чис-

ленных методов. Это определяется тем, что в условиях дестабилизирующих факторов параметры структур телекоммуникационных сетей могут существенно отличаться от параметров, полученных в их исходных состояниях. Поэтому в данном случае наиболее удобным способом оценки структур сетей связи в виде графов являются статистические методы, к которым относится метод Монте-Карло [2, 5].

## Основная часть

Оценку структур телекоммуникационных сетей часто проводили по критерию связности графа сети.

На наш взгляд параметр связности сети достаточно информативно определяется показателем количества остовных деревьев  $K_{\text{ост.дер}}$ , соответствующих графу сети, предлагаемому к рассмотрению, поскольку в телекоммуникационной сети прежде всего важна полная взаимная доступность всех взаимодействующих центров коммутации между собой. Наличие хотя бы одного остовного дерева обеспечивает такую взаимную достижимость, характеризуя самый критический вариант организации связи.

При выборе той или другой структуры телекоммуникационной сети важно прогнозировать их поведение в условиях различных деструктивных воздействий, поэтому оценивать эти структуры предлагается более информативным показателем — суммарным количеством остовных деревьев  $K_{\text{ост.дер}}$ , определяемыми с помощью метода Монте-Карло. В одном испытании  $K_{\text{ост.дер}}$  вычисляется как минор последнего элемента главной диагонали  $M_{nn}$  матрицы связности исследуемой сети  $K=[k_{ij}]$  после воздействия ( $K_{\text{ост.дер}} = M_{nn}$ ).

При оценке телекоммуникационной сети с коммутацией пакетов (КП) параметра связности ее графа оказалось недостаточно. В таких сетях возникает дефицит времени на передачу пакетов трафика реального времени. Так в сетях с КП даже в исходном их состоянии не все маршруты пригодны для передачи трафика реального времени, где время задержки сигналов не должно превышать 250мс [1, 4]. С учетом данного обстоятельства для сетей с КП следует ввести дополнительный параметр, характеризующий структуры сетей.

Вторым параметром, который характеризует структуру телекоммуникационной сети, является кондиционность маршрутов для взаимодействующих узлов коммутации. Под кондиционностью маршрута будем понимать время, затрачиваемое на установление телефонной связи (технология с коммутацией каналов (КК)) и время на пересылку пакета той же телефонной связи (технология с КП) по данному маршруту.

Для технологии с КК кондиционный маршрут должен иметь не более 5 транзитных станций в своем составе (таковы требования сети «Памир»).

Как, оказалось, найти однозначные оценки параметра кондиционности маршрутов при использовании на сети технологии с КП достаточно сложно. В первую очередь это связано с наличием некоторого множества самих технологий с КП и большого числа производителей оборудования, при использовании которого эти оценки могут существенно отличаться друг от друга. Если предположить, что речевую информацию требуется передать с Дальнего Востока и на Запад России

( $L=10000$  км), то согласно расчетной формуле (1) [1], общее время задержки не превысит требуемое при 3, 4 узлах коммутации.

$$T_{\text{зад}} = T_p + T_{\text{пк}} + T_{\text{пр}} + T_{\text{б}} \quad (1)$$

где:  $T_p$  — задержка, определяемая временем распространения электрического сигнала по кабелю связи проложенному между отправителем и получателем. Оно зависит от типа кабеля и для оптических кабелей равно 5 мкс/км;

$T_{\text{пк}}$  — задержка, определяемая временем необходимым на выполнение операции преобразования речевого сигнала в цифровой вид и его пакетизацию. Данное время зависит от типа используемого алгоритма преобразования речевого сигнала. Так, например [1], при использовании стандарта *G.711* это время равно 30мс. При использовании других алгоритмов время может увеличиваться;

$T_{\text{пр}}$  — задержка, определяемая временем прохождения пакетов по узлам коммутации транспортной сети. Время задержки зависит от числа различных сетевых устройств, включенных в маршрут прохождения пакетов, а также от времени работы устройств при обработке пересылаемых пакетов. Данный тип задержки в наибольшей степени зависит от используемых технологий, типа сетевого оборудования и возможности его стыковки [1, 4], а также от величины буфера сетевого оборудования в транзитных узлах коммутации. Причем при расчетах необходимо ориентироваться на максимальную величину этой задержки, соответствующую наихудшим условиям функционирования сети при перегрузках (резких всплесках, свойство самоподобия трафика). В среднем данную величину задержки можно оценить в 30мс., которая, однако, должна уточняться по реальным сведениям о технологии и возможностям используемых сетевых средств связи;

$T_{\text{б}}$  — задержка, определяемая временем работы устройств на узле получателя. Как и задержка  $T_{\text{пк}}$  она определяется алгоритмами обработки пакетов приемного пункта, а также временем буфера джиттера. Величина задержки данного типа [1] может быть оценена в 40мс.

Предлагаемая методика оценки является универсальной и позволяет анализировать рассматриваемые структуры, как в исходном состоянии, так и при воздействиях различного рода, задаваемых в виде вероятности повреждения ее ребер и узлов. Кроме того, методика позволяет прогнозировать состояние структур сетей и производить их сравнение с учетом возможностей используемых на ТСС телекоммуникационных технологий.

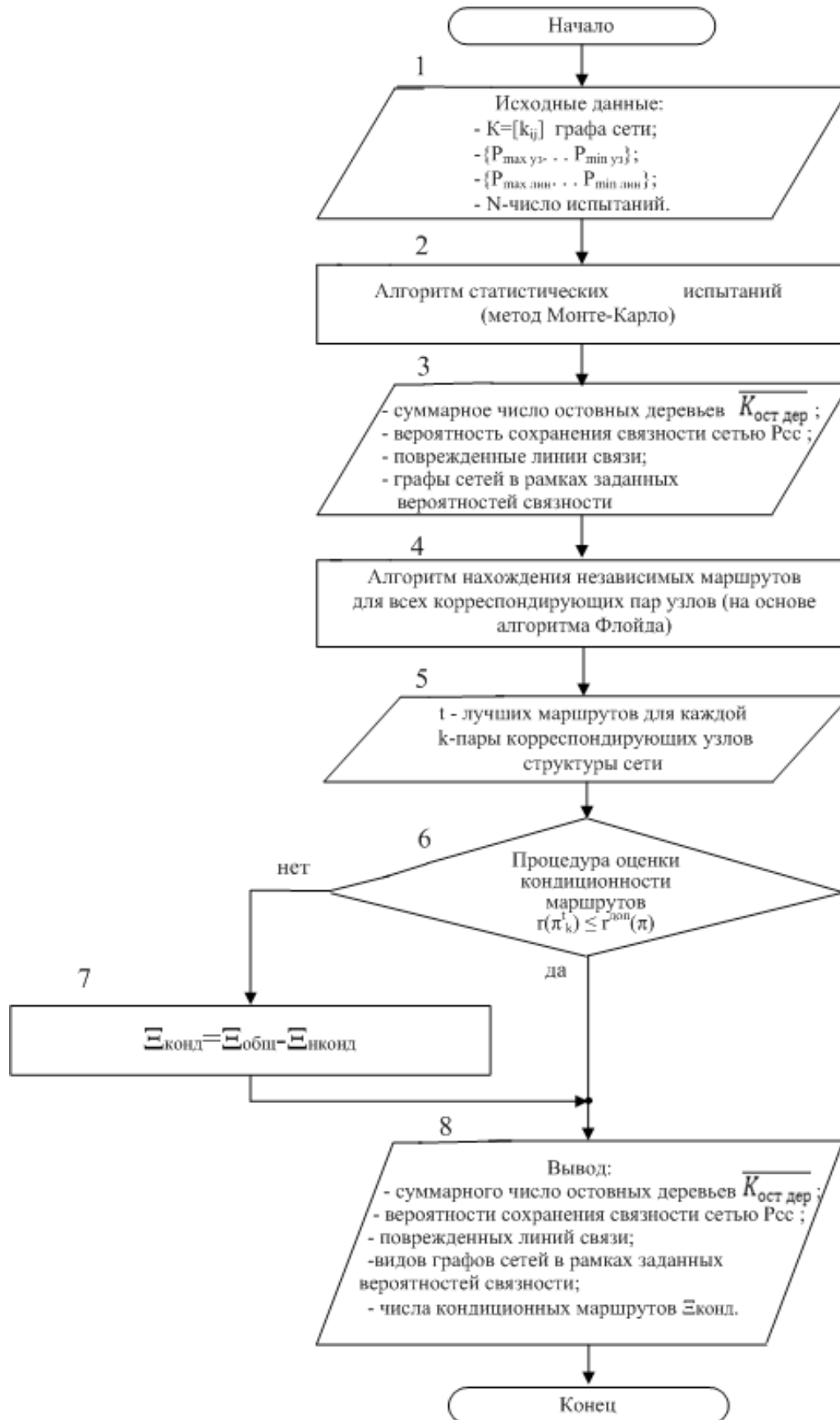


Рис. 1. Блок-схема алгоритма оценки структуры ТСС

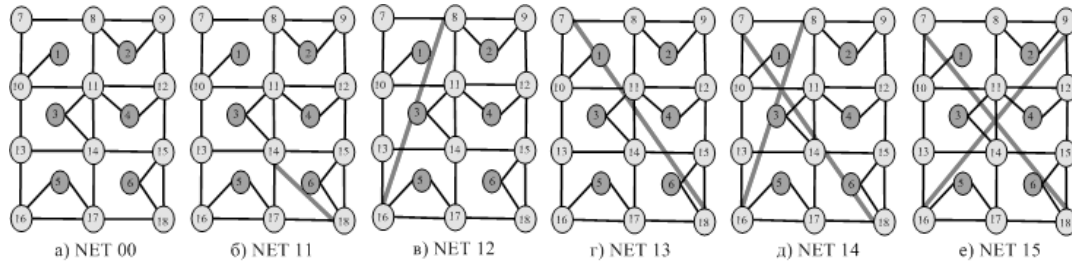


Рис. 2. Исследуемые структуры сетей в виде «решетки»

Исходными данными для работы алгоритма являются:

1) граф транспортной сети, задаваемый матрицей связности  $K = [k_{i,j}]$ ,

где

$$k_{i,j} = \begin{cases} -1, & \text{если вершины } b_i \text{ и } b_j \text{ смежны,} \\ 0, & \text{если вершины } b_i \text{ и } b_j \text{ не смежны,} \\ \text{deg} b_i, & \text{если } i = j. \end{cases} \quad (2)$$

2) узлы связи потребителей телекоммуникационных услуг и линии их привязки к узлам коммутации, 3) вероятности повреждения узлов и линий связи ( $P_{уз}$ ,  $P_{линия}$ ), 4) число испытаний, необходимых для работы алгоритма Монте-Карло с требуемой точностью, 5)  $r$  — число пунктов транзита (узлов коммутации) в составе кондиционного маршрута сети.

Блочная схема алгоритма оценки структуры транспортной сети приведена на рисунке 1.

Она состоит из следующих блоков и отдельных процедур:

- ◆ блока статистических испытаний (метод Монте-Карло),
- ◆ блока нахождения маршрутов между требуемыми парами корреспондирующих узлов связи потребителей телекоммуникационных услуг (алгоритм Флойда),
- ◆ процедуры нахождения суммарного числа основных деревьев  $K_{ост\ дер}$ ,
- ◆ процедуры определения поврежденных линий сети связи,
- ◆ процедуры вычисления вероятности сохранения связности сетью ( $p$ ),
- ◆ процедуры оценки кондиционности маршрутов.

В качестве промежуточных данных, необходимых для перехода от работы одного алгоритма к работе другого, следует считать структуры сетей соответствующие определенным вероятностям связности анализируемой сети.

### Ограничение

При использовании метода Монте-Карло для оценки параметров структур вероятности выхода из строя предполагаемых узлов и линий связи выбирались одинаковыми, поскольку все эти параметры оценки относятся к графу сети:  $P_{li} = P_{lj}$ , где  $i(j) = \overline{1, m}$  и  $P_{yi} = P_{yj}$ , где  $i(j) = \overline{1, m}$ .

Для определения кратчайших путей между всеми парами корреспондирующих узлов использовался специальный алгоритм Флойда, поскольку его сложность составляет  $O(n^3)$ , что на порядок лучше по сравнению с  $n$ -кратным применением алгоритма Беллмана-Форда ( $O(n^4)$ ) и экономит 50% времени по сравнению с  $n$ -кратным применением алгоритма Дейкстры. В работе определялось по два кратчайших маршрута для каждой КПУ, поскольку они обеспечивают наибольшую живучесть направлений связи.

В наибольшей степени сравнительная оценка структур транспортных сетей между собой может быть использована, как на этапе планирования, так и при восстановлении связи. При восстановлении связи очень важно понимать, какая из восстановленных линий приводит к лучшей связности сети и прибавляет большее количество кондиционных маршрутов  $\Xi_{конд}$ .

По этой причине в качестве примера для сравнения выбраны структуры, отличающиеся дополнительным ребром, вводимым в некоторую базовую сеть. Базовая сеть представлена в виде решетки с числом узлов  $n=12$  и подключенными к ним шестью оконечными узлами связи потребителей телекоммуникационных услуг (рисунок 2а).

Сеть NET11 (рисунок 2б) образована путем введения дополнительного ребра между узлами 14–18, NET12 (рисунок 2в) — между узлами 8–16, NET13 (рисунок 2г) — между узлами 7–18, NET14 (рисунок 2д) — между узлами 8–16 и 7–18, а сеть NET15 (рисунок 2е) — между узлами 9–16 и 7–18.

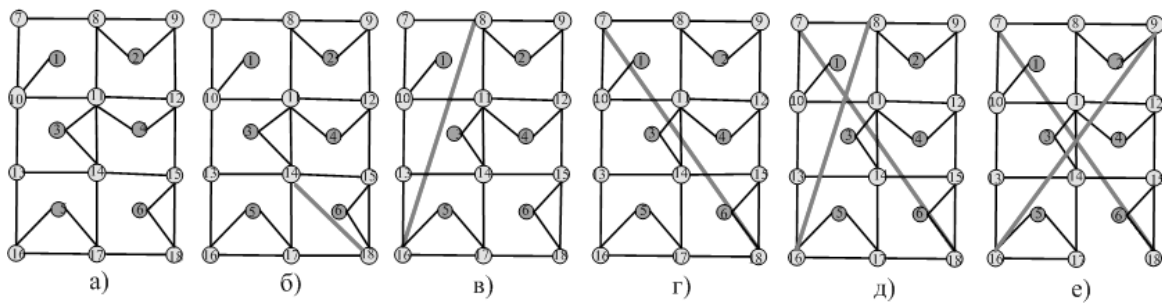


Рис. 3а). Исследуемые структуры сетей в виде «решетки»  
при  $P_{уз} = 0,005 = \text{const}$  и  $P_{лин} = 0,01$  ( $p_1 = 0,9$ )

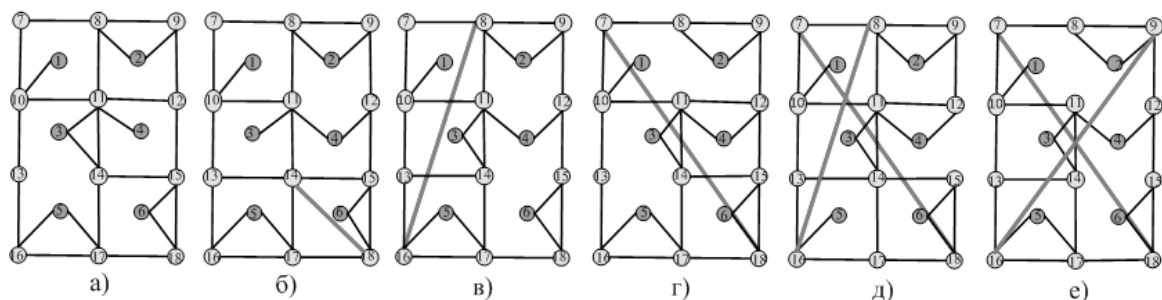


Рис. 3б). Исследуемые структуры сетей в виде «решетки»  
при  $P_{уз} = 0,005 = \text{const}$  и  $P_{лин} = 0,12$  ( $p_1 = 0,8$ )

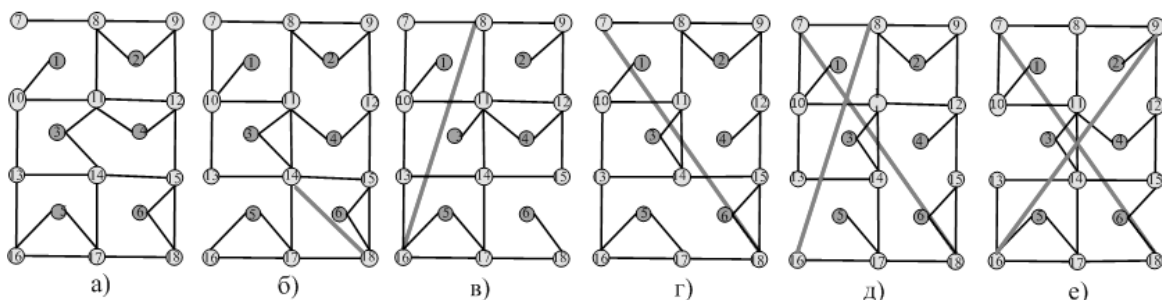


Рис. 3в). Исследуемые структуры сетей в виде «решетки»  
при  $P_{уз} = 0,005 = \text{const}$  и  $P_{лин} = 0,19$  ( $p_1 = 0,7$ )

Вид структур после воздействия представлен на рисунке 3. Каждому воздействию на узлы и линии будет соответствовать вероятность сохранения связности сетью  $p_1$ .

Вначале оценим суммарную величину остовных деревьев  $K_{остдер}$  в различных условиях воздействия на структуры сетей ( $p$ ) и определим выигрыш по их числу в зависимости от количества и способа введения дополнительных линий [6].

Анализ таблицы 1 показал, что ввод в структуру сети ребра между узлами, образующими путь максимального ранга  $\pi(r_{\max})$  более чем в 2 раза увеличивает  $K_{остдер}$ , т.е. связность максимальна при введении линии между узлами, образующими  $\pi(r_{\max})$  в данной сети.

Результаты оценки структур по параметру кондиционности маршрутов для случая построения таких сетей с использованием технологий КК и КП представлены на рисунках 4, 5.

По их данным технология с КК имеет существенный выигрыш над технологией КП по числу кондиционных маршрутов во всех анализируемых структурах [7].

## Выводы

1. Представленная методика имеет практическое значение в области построения ТСС с использованием современных телекоммуникационных технологий.

Таблица 1. Выигрыш по  $K_{ост\ дер}$  для анализируемых структур при различных воздействиях

Отношение $K_{ост\ дер}$ исследуемых структур к их числу в структуре NET 00	Выигрыш по Кост дер при различных $p_i$			
	1	0,9	0,8	0,7
$Q_{1p}/Q_{0p}$	1,76	1,81	1,78	1,23
$Q_{2p}/Q_{0p}$	2,38	2,67	2,46	1,3
$Q_{3p}/Q_{0p}$	2,58	2,59	2,09	1,62
$Q_{4p}/Q_{0p}$	5,81	5,14	4,71	2,12
$Q_{5p}/Q_{0p}$	6,34	4,92	4,57	2,81

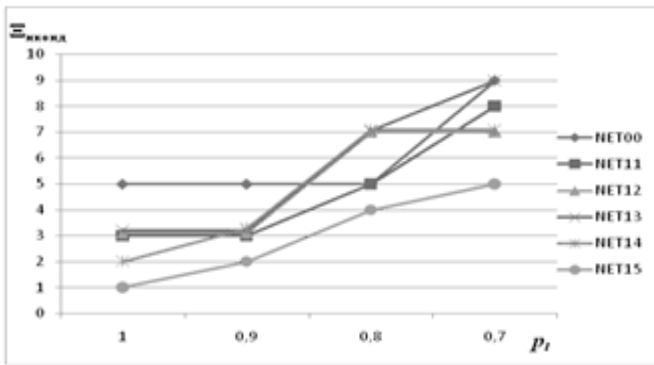


Рис. 4. Зависимость  $\Xi_{нконд}$  от связности структуры сети (для технологии с КП)

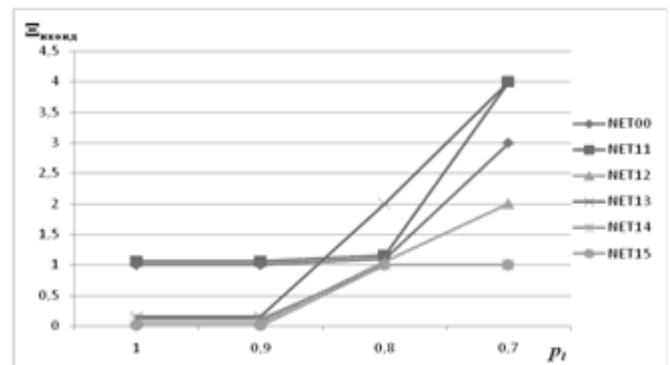


Рис. 5. Зависимость  $\Xi_{нконд}$  от связности структуры сети (для технологии с КК)

2. Методика оценки является универсальной и позволяет анализировать предлагаемые структуры при различных воздействиях на сеть связи.

3. Методика рассчитана на оценку возможностей структур произвольного вида без ограничений на число их узлов и линий, что позволяет использовать ее при разработке структур ТСС для конкретных операций и задач.

4. Найден способ введения дополнительного ребра, приводящий к самым лучшим показателям структуры — ее связности и кондиционности маршрутов.

5. Оценка кондиционности маршрутов структур показала, что она существенно зависит от технологии. В работе определено, что число центров коммутации при передаче речевой информации на сетях с КП должно быть не более 4.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гольдштейн Б. С., Соколов Н. А., Яновский Г. Г. Сети связи. — СПб.: БХВ-Петербург, 2011. — 400с.
2. ГОСТ Р 51901.5–2005 (МЭК 60300–3–1:2003 «Управление надежностью. Часть 3–1. Руководство по применению. Методы анализа надежности. Руководство по методологии»).
3. Кристофидес Н. Теория графов. Алгоритмический подход: Пер. с англ. — М.: Мир, 1978. — 432 с.
4. Мак-Квери, Мак-Грю, Фой Передача голосовых данных по сетям Cisco Frame Relay, ATM и IP. Пер. с англ. — М.: Издательский дом «Вильямс», 2002. — 512с.
5. Соболев И. М. Метод Монте-Карло. — М.: Наука, 1968. — 64с.
6. Орлова Л. И. «Распределение потоков речевой информации по кондиционным маршрутам транспортной сети связи». Современные проблемы науки и образования. 2015. № 1–1. С. 147.
7. Орлова Л. И. «Методика оценки структур транспортных сетей связи численными методами». Современные проблемы науки и образования. 2015. № 1–1. С. 160.

© Орлова Людмила Ивановна ( akacia25@rambler.ru ),

Кривцов Станислав Петрович ( staskriv@mail.ru ), Хамдан Мохамед Рибхи Ас'ад ( hamdan.mohamed@yandex.ru ),

Байсаитов Гани Нуралиевич ( bayuseitov.ganinurgalieovich@rambler.ru ), Абд Аль Кадар Ахмед Ясин ( dahmedaboyassin2018@gmail.com ).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»