

УДК: 621.39

DOI: 10.53816/23061456_2021_11-12_26

**МЕТОДИКА ПОВЫШЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ
МАРШРУТИЗАЦИИ ДАННЫХ В ВИРТУАЛЬНОЙ СЕТИ СВЯЗИ**
**METHODOLOGY OF INCREASING THE STABILITY
OF DATA ROUTING IN A VIRTUAL COMMUNICATION NETWORK**

Канд. техн. наук С.А. Иванов

Ph.D. S.A. Ivanov

ВАС им. С.М. Буденного

Современные сети связи построены на технических средствах, использующих цифровую обработку данных. Цифровизация и информатизация телекоммуникационных систем позволяет формировать множество виртуальных сетей связи на основе ресурсов одной физической сети. Ресурсы физической сети связи ограничены, поэтому функционирование на ее основе множества виртуальных сетей неизбежно приведет к возникновению конфликтных ситуаций. Пользователи виртуальной сети связи, особенно корпоративные системы управления, могут эффективно работать только при ее функционировании с заданными требованиями. Данные обстоятельства обуславливают необходимость решения задачи повышения устойчивости функционирования виртуальных сетей связи, функционирующих на ресурсах одной физической сети. При этом в процессе маршрутизации данных в виртуальной сети необходимо учитывать все категории ресурсов физической сети связи.

Ключевые слова: физическая сеть связи, ресурсы, виртуальная сеть связи, маршрутизация, устойчивость.

Modern communication networks are built on technical means using digital data processing. Digitization and informatization of telecommunication systems allows the formation of many virtual communication networks based on the resources of one physical network. The resources of the physical communication network are limited, so the operation of many virtual networks on its basis will inevitably lead to conflict situations. Users of a virtual communication network, especially corporate management systems, can work effectively only when it operates with the specified requirements. These circumstances necessitate the solution of the problem of increasing the stability of the functioning of virtual communication networks operating on the resources of one physical network. At the same time, in the process of routing data in a virtual network, it is necessary to take into account all categories of resources of the physical communication network.

Keywords: physical communication network, resources, virtual communication network, routing, stability.

Введение

Развитие цифровых и информационных технологий привело к появлению в инфокоммуника-

ционных системах множества наложенных виртуальных сетей связи (ВСС). Достоинством технологии виртуальных сетей является то, что она позволяет создавать полностью изолированные

сегменты сети путем логического конфигурирования устройств, не прибегая к изменению физической структуры [1]. Однако виртуальные сети можно считать полноценным видом транспорта для передачи трафика, только если есть гарантии на пропускную способность и другие параметры производительности [2].

Использование множеством виртуальных сетей связи ресурсов одной физической сети способствует возникновению конфликтной ситуации, при которой суммарные потребности виртуальных сетей превышают ресурсы физической [3]. Поэтому при формировании каждой новой виртуальной сети необходимо учитывать распределение нагрузки на ресурсы физической сети во времени.

На современном этапе эволюции корпоративные инфокоммуникационные системы занимают одну из ведущих ролей в обеспечении функционирования распределенных корпоративных систем управления (КСУ) и их подсистем. Нарушение инфокоммуникационного взаимодействия КСУ может привести к большим потерям (экономическим, политическим, военным и т.д. [4, 5]). Принципиальным вопросом при обеспечении безопасности корпоративных инфокоммуникационных систем (ВСС) является то, что они являются наложенными на единую физическую сеть связи. Поэтому потенциальной угрозой для функционирования таких виртуальных сетей является рост нагрузки в других виртуальных сетях, приводящий к итоговому превышению ресурсов элементов физической сети. Следовательно, с одной стороны, для источника деструктивных воздействий на целевую корпоративную сеть связи целесообразен поиск среди множества функционирующих ВСС на этом же физическом ресурсе другой виртуальной сети, которая имеет возможность, при росте нагрузки в ней, нанесения максимального урона целевой сети, т.е. эти сети должны иметь максимальные показатели взаимозависимости. С другой стороны, корпоративная виртуальная сеть должна формироваться таким образом, чтобы ни одна другая ВСС на этом же физическом ресурсе не имела возможности оказания решающего деструктивного воздействия за счет увеличения своей нагрузки на физическую сеть [6].

Известные методики, способы и протоколы обеспечения функционирования сетей связи не

позволяют находить варианты структуры вновь создаваемых виртуальных сетей с учетом распределения во времени суммарной нагрузки действующих виртуальных сетей на элементы физической сети [1]. К их недостаткам относятся: отсутствие учета взаимовлияний виртуальных сетей, функционирующих на основе ресурсов одной физической сети; отсутствие возможности снижения вероятности решающего деструктивного воздействия на функционирование целевой виртуальной сети связи со стороны любой другой виртуальной сети; построение маршрута между абонентами сети связи с учетом только пропускной способности сети и текущей нагрузки, при этом не учитывается возможность влияния других сетей и использование памяти и вычислительной способности телекоммуникационных средств для передачи данных в таких условиях.

Перечисленные факторы указывают на необходимость разработки методов и методик повышения устойчивости маршрутов в формируемых ВСС, с учетом распределения во времени нагрузки других виртуальных сетей на элементы физической сети и потребностей корреспондентов формируемой виртуальной сети.

Описание способа повышения устойчивости

Разработанная методика направлена на повышение устойчивости маршрутизации данных в виртуальной сети КСУ за счет снижения вероятности решающего деструктивного воздействия и существенного влияния на ее функционирование со стороны любой другой виртуальной сети.

Реализация предлагаемой методики повышения устойчивости поясняется обобщенной структурно-логической последовательностью (рис. 1–3), где на начальном этапе формируют исходный граф исследуемой физической сети с заданным количеством N вершин графа — узлов и L ветвей — линий связи, и задают исходные данные (блоки 1, 2, рис. 1). Исходный граф исследуемой физической сети отражает топологию сети. Вершины графа соответствуют узлам сети связи, на которых размещено оборудование каналаообразования, агрегации, коммутации, маршрутизации и др., ветви — линиям связи, соединяющим узлы сети. Выбор тополо-

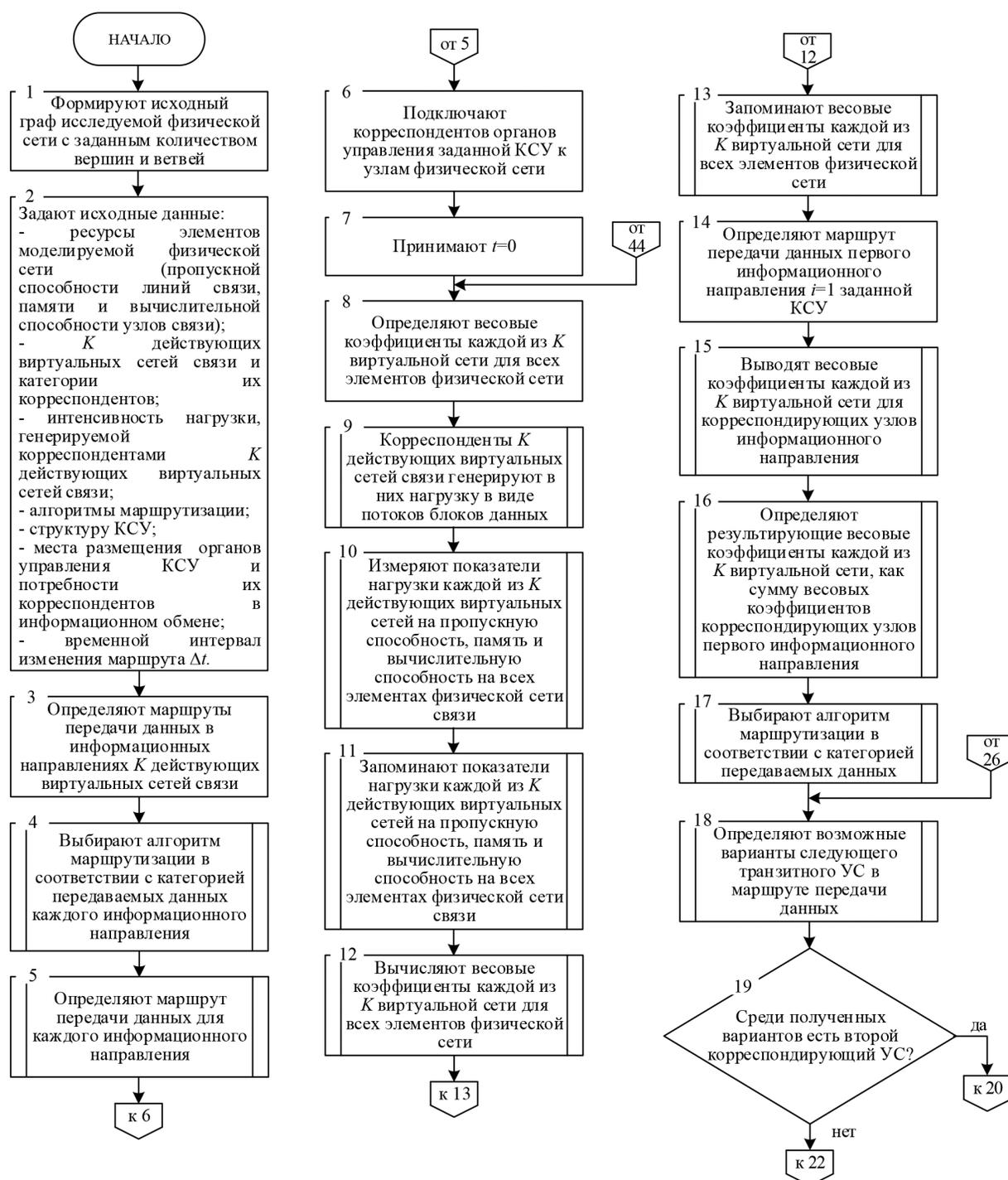


Рис. 1. Обобщенная структурно-логическая последовательность методики повышения устойчивости маршрутизации данных в виртуальной сети связи (начало)

гии физической сети связи существенно влияет на различные ее характеристики, например, на связность сети. Наличие резервных связей между корреспондентами сети связи дает возможность построить большее число независимых маршрутов для информационного обмена,

с большей эффективностью балансировать нагрузку в сети [7, 9].

В исходных данных задают:

1. Ресурсы элементов физической сети: пропускную способность линий связи; параметры памяти (оперативной и постоянной) и вычисли-

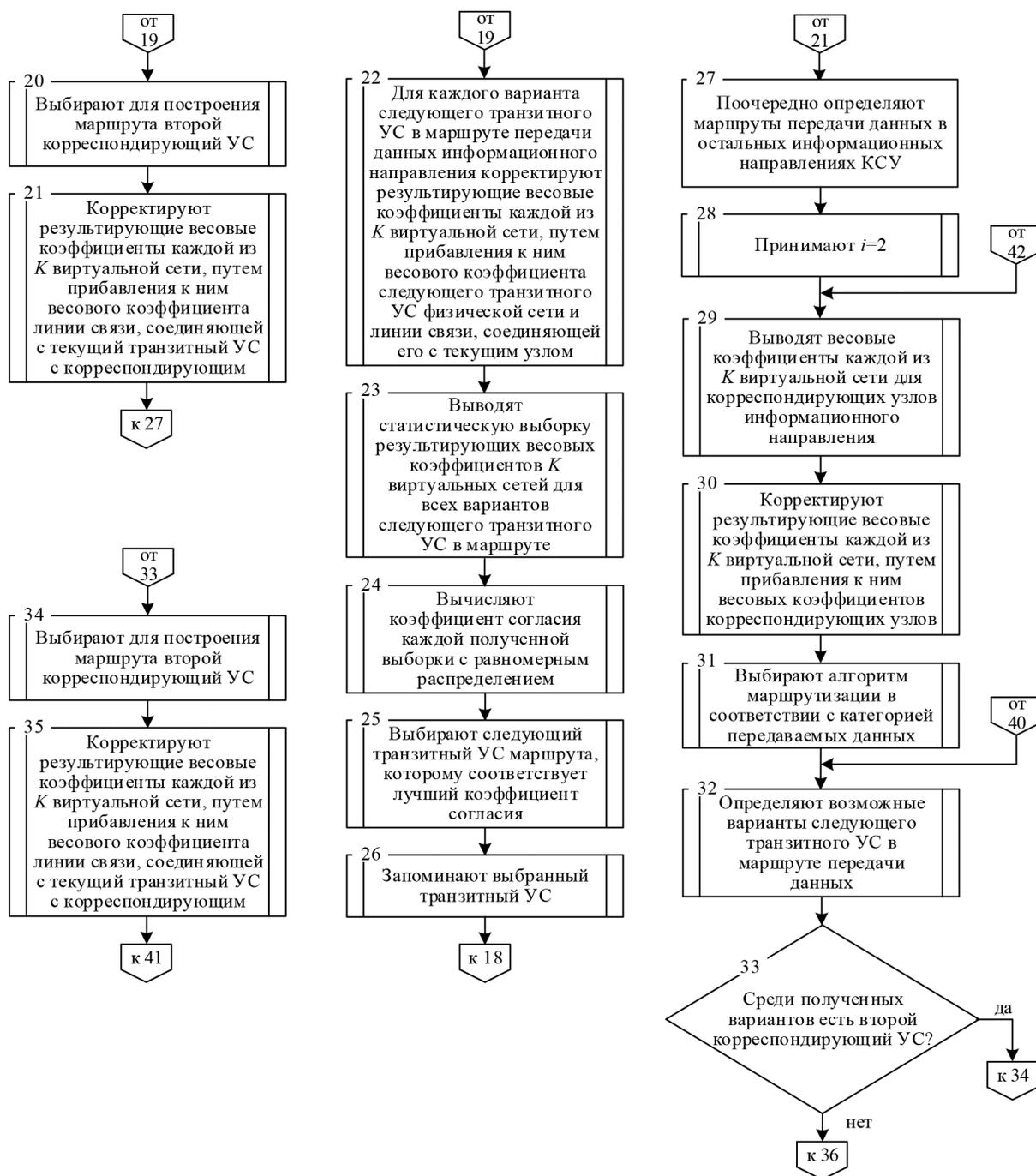


Рис. 2. Обобщенная структурно-логическая последовательность методики повышения устойчивости маршрутизации данных в виртуальной сети связи (продолжение)

тельной способности (производительности) узлов связи (УС), определяемые характеристиками оборудования УС;

2. К действующих ВСС. Например, к задаваемым показателям:

- места размещения корреспондентов относительно элементов физической сети связи,

- определяющие узел их подключения к физической сети связи;

- категории корреспондентов, определяемые перечнем услуг связи корреспондента и приоритетом его функционального назначения, и назначением органа корпоративной системы управления, к которому он относится;

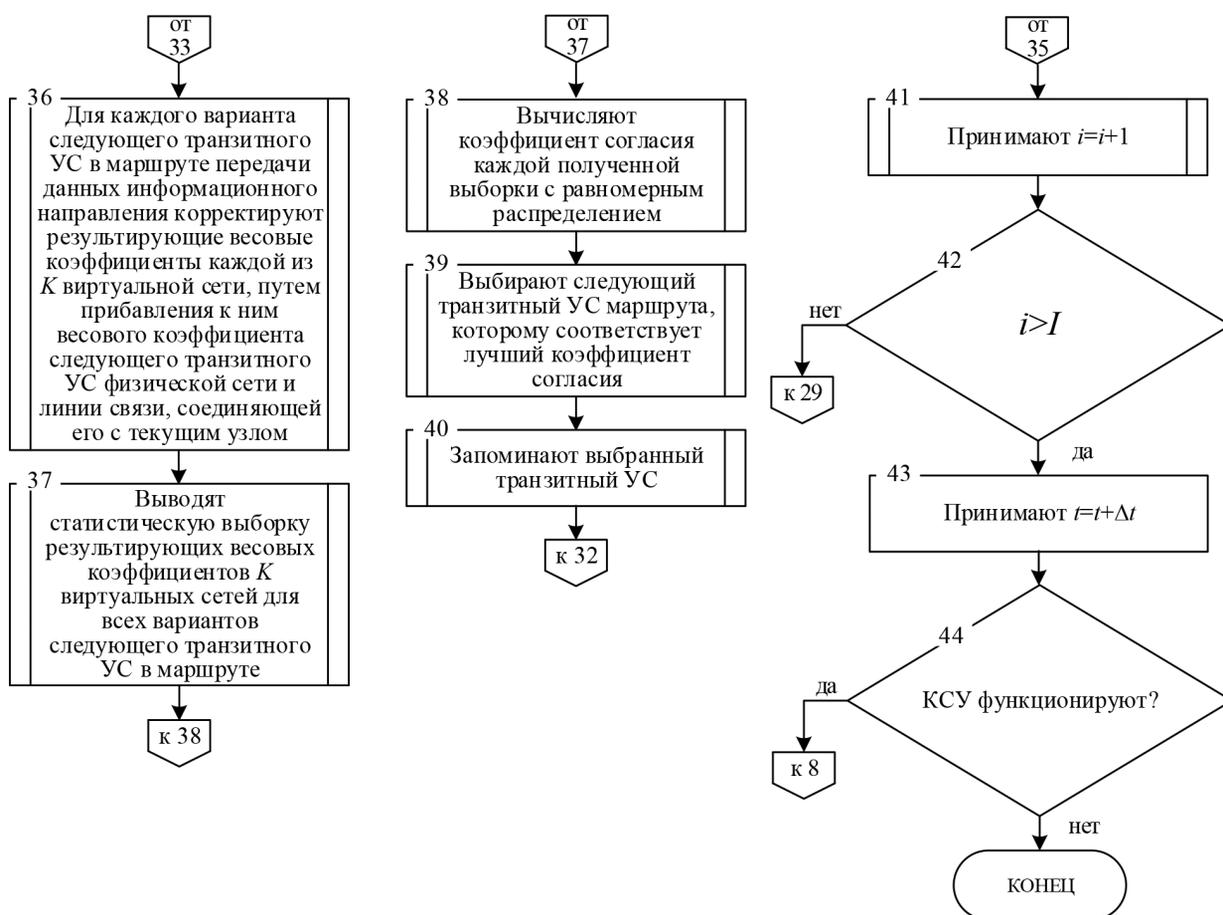


Рис. 3. Обобщенная структурно-логическая последовательность методики повышения устойчивости маршрутизации данных в виртуальной сети связи (окончание)

– I_k информационных направлений (ИН) для каждой виртуальной сети, определяемых потребностями ее корреспондентов;

– реализуемые при функционировании виртуальной сети алгоритмы маршрутизации;

– интенсивность генерируемой корреспондентами нагрузки отображает распределение общего формируемого корреспондентами потока данных во времени;

– требования к виртуальным сетям;

3. Алгоритмы маршрутизации. Маршрутизация может осуществляться по известным алгоритмам [8, 9], например: алгоритм Дейкстры; алгоритм Беллмана-Форда; алгоритм поиска A^* ; алгоритм Флойда-Уоршелла; алгоритм Джонсона; алгоритм Ли; алгоритм Килдала;

4. Структуру вновь подключаемой к физической сети связи корпоративной системы управления, для которой необходимо обеспечить информационный обмен:

– состав органов управления КСУ и их количество для формирования ее ВСС определяется корреспондентами органов управления, участвующими в информационном обмене КСУ;

– I информационных направлений для виртуальной сети КСУ, определяемых потребностями ее корреспондентов;

– структура КСУ для формирования ее виртуальной сети определяется структурой ИН корпоративной системы управления, определяемой потребностями ее информационно взаимосвязанных корреспондентов. Структура информационных направлений может задаваться в виде матрицы, исходя из заданных количества органов и структуры КСУ. Матрица из I информационных направлений является квадратной матрицей размером $m \times m$, где m — количество корреспондентов системы управления. Если i -ое информационное направление между абонентами существует ($i \in \{1, 2, \dots, I\}$), то в ячейки памяти,

хранящие значения матрицы информационных направлений записывают «1», в противном случае, в ячейки памяти записывают «0». Пример матрицы ИН представлен в;

- места размещения корреспондентов относительно элементов физической сети связи, определяющие узел их подключения (корреспондирующий узел) к физической сети связи;

- категории корреспондентов, определяемые перечнем услуг связи корреспондента и приоритетом его функционального назначения в КСУ, и назначением органа корпоративной системы управления, к которому он относится;

- потребности корреспондентов в информационном обмене в виде интенсивности генерируемой ими нагрузки, отображающей распределение общего формируемого корреспондентами потока данных во времени;

- требования корреспондентов КСУ к информационному обмену;

5. Временной интервал изменения маршрута Δt , определяющий его динамику в процессе маршрутизации и чувствительность к изменениям параметров физической сети [10].

На следующем этапе определяют маршруты передачи данных в информационных направлениях K действующих виртуальных сетей связи (блоки 3–5, рис. 1).

Далее подключают корреспондентов органов управления новой заданной КСУ к узлам физической сети, являющихся корреспондирующими узлами (блок 6, рис. 1–3).

В блоках 7–44 динамически определяют маршрут передачи данных каждого ИН виртуальной сети связи заданной корпоративной системы управления с заданным временным интервалом Δt (блоки 7, 43, 44). Опишем основные этапы этого процесса.

Этап определения весовых коэффициентов каждой из K виртуальной сети для всех элементов физической сети включает блоки 9–13, рис. 1:

- в блоке 9 корреспонденты ИН всех действующих ВСС генерируют и передают поток данных по установленному в блоке 5 маршруту. Генерация потока данных осуществляется в соответствии с заданной в блоке 2 интенсивностью. При генерировании блоков данных определяют их параметры: тип, срочность, время отправки, предельная длительность времени передачи, корреспонденты-получатели, форма выдачи и др.

- [11]. Загрузка физической сети K виртуальными с учетом заданных интенсивностей нагрузки, генерируемой их корреспондентами, и действующих в них алгоритмов маршрутизации позволит определить на каждом интервале определения маршрутов передачи данных КСУ распределение нагрузки каждой из K виртуальной сети связи на элементы физической сети $ck_e(t_j)$, где e — элемент физической сети связи (узел либо линия связи), t_j — j -й временной интервал определения маршрутов передачи данных;

- в блоке 10 измеряют показатели нагрузки каждой из K действующих виртуальных сетей на пропускную способность, память и вычислительную способность элементов физической сети связи, и запоминают их значение в блоке 11;

- в блоке 12 вычисляют весовые коэффициенты каждой из K виртуальной сети для всех элементов физической сети $dk_e(t_j)$, где e может принимать значение номера узла n или линии l связи ($n = \{n1, n2...N\}$, $l = \{l1, l2...L\}$), и запоминают коэффициенты в блоке 13. Весовой коэффициент определяется как отношение нагрузки виртуальной сети на элемент физической сети к заданному ресурсу этого элемента

$$dk_e(t_j) = \frac{ck_e(t_j)}{G_e}, \text{ где } G_e \text{ — заданный ресурс элемента физической сети.}$$

Полученные весовые коэффициенты можно представить в виде матрицы Y_j размером $Y_j = E \times K$ (рис. 4), где E — количество элементов физической сети связи.

Этап определения маршрута передачи данных первого ИН ($i = 1$) заданной КСУ, начиная от первого корреспондирующего узла связи, включает блоки 15–26, рис. 1, 2:

- в блоке 15 выводят весовые коэффициенты каждой из K виртуальной сети для корреспондирующих узлов ИН на j -ом временном интервале и в блоке 16 определяют результирующие весовые коэффициенты каждой из K виртуальной сети, как сумму весовых коэффициентов корреспондирующих узлов первого информационного направления. Данные коэффициенты являются отсчетом весовых коэффициентов K виртуальных сетей на данном интервале времени формирования маршрута i -го ИН;

- в блоке 17 выбирают, из заданного в блоке 2 множества, алгоритм маршрутизации в соответствии с категорией передаваемых данных.

Маршрутизация, как правило, является многокритериальной задачей, поэтому условия выбора алгоритма должны ранжировать эти критерии — определять последовательность применения критериев выбора;

– в блоке 18, на основе выбранного алгоритма маршрутизации, определяют возможные варианты следующего транзитного УС в маршруте передачи данных первого ИН с учетом остаточного ресурса элементов графа физической сети связи. Определение маршрутов может быть осуществлено по известным алгоритмам [8, 9];

– в блоке 19 проверяют наличие среди полученных вариантов следующего транзитного узла связи второго корреспондирующего узла информационного направления. Если среди полученных вариантов нет второго корреспондирующего узла, то в блоке 22, для каждого варианта следующего транзитного УС в маршруте передачи данных информационного направления, корректируют результирующие весовые коэффициенты каждой из K виртуальной сети, путем прибавления к ним весового коэффициента следующего транзитного УС физической сети и линии связи, соединяющей его с текущим узлом. Выборки весовых коэффициентов K виртуальных сетей для элементов физической сети, необходимые для коррекции результирующих весовых коэффициентов каждой из K виртуальной сети можно получить из матрицы Y_j , сформированной в блоке 12 (рис. 4);

– в блоке 23 выводят полученную статистическую выборку результирующих весовых коэффициентов K виртуальных сетей для всех вариантов следующего транзитного УС в маршруте и в блоке 24 вычисляют коэффициент согласия

каждой полученной выборки с равномерным распределением. Коэффициент согласия результирующей выборки позволяет определить, насколько близко распределение возможного влияния K действующих ВСС на виртуальную сеть заданной КСУ к равномерному распределению. Если получаемые по этапам формирования маршрутов передачи данных информационных направлений КСУ результирующие выборки весовых коэффициентов K виртуальных сетей будут стремиться к равномерному распределению, то ни одна из K действующих виртуальных сетей связи не будет иметь возможности решающего воздействия на виртуальную сеть КСУ. Для этого на каждом этапе формирования маршрутов в блоке 25 выбирают следующий транзитный УС маршрута, которому соответствует лучший коэффициент согласия. В качестве коэффициента согласия можно применить различные варианты критерия согласия χ^2 (например критерии Пирсона, Колмагорова и др. [12, 13]);

– в блоке 26 запоминают выбранный транзитный узел связи и переходят к блоку 18 — дальнейшему построению маршрута. На рис. 5 показано графическое представление поэтапного формирования маршрута передачи данных ИН с пошаговым выбором следующего УС в маршруте на основе результирующей выборки весовых коэффициентов K действующих ВСС. На рис. 6 показано графическое представление поэтапного изменения результирующего весового коэффициента k -ой виртуальной сети по отношению к виртуальной сети КСУ при формировании маршрута передачи данных i -го информационного направления, задействовавшего dE элементов физической сети.

$$Y_j = E \times K$$

$k \backslash e$	$e = n1$	$e = n2$	$e = n3$...	$e = L$
$k = 1$	$d1_{n1}(t_j)$	$d1_{n2}(t_j)$	$d1_{n3}(t_j)$	·	$d1_L(t_j)$
$k = 2$	$d2_{n1}(t_j)$	$d2_{n2}(t_j)$	$d2_{n3}(t_j)$	·	$d2_L(t_j)$
$k = 3$	$d3_{n1}(t_j)$	$d3_{n2}(t_j)$	$d3_{n3}(t_j)$	·	$d3_L(t_j)$
·	·	·	·	·	·
$k = K$	$dK_{n1}(t_j)$	$dK_{n2}(t_j)$	$dK_{n3}(t_j)$	·	$dK_L(t_j)$

Рис. 4. Вариант матрицы весовых коэффициентов K виртуальных сетей для E элементов физической сети на j -ом временном интервале определения маршрутов ИН КСУ

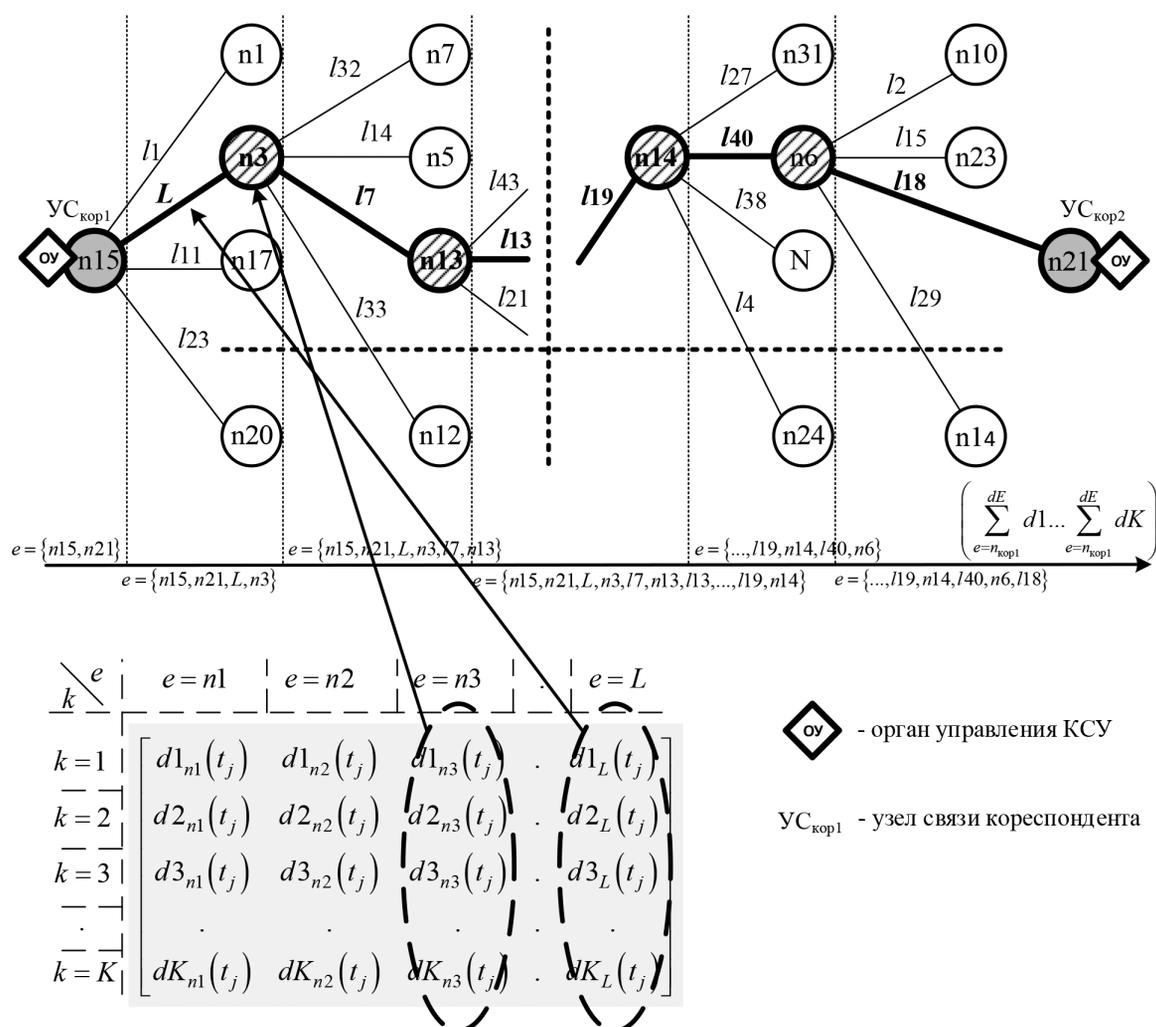


Рис. 5. Графическое представление поэтапного формирования маршрута передачи данных ИН с пошаговым выбором следующего узла связи в маршруте на основе результирующей выборки весовых коэффициентов K действующих виртуальных сетей

Если в результате проверки в блоке 33 установлено, что среди полученных в блоке 18 вариантов есть второй корреспондирующий узел, то в блоке 20 выбирают его для построения маршрута и в блоке 21 корректируют результирующие весовые коэффициенты каждой из K виртуальной сети, путем прибавления к ним весового коэффициента линии связи, соединяющей текущий транзитный УС с корреспондирующим узлом, и переходят к блоку 27.

Этап поочередного определения маршрутов передачи данных в остальных информационных направлениях КСУ включает блоки 27–42 рис. 2, 3:

– в блоке 28 принимают $i = 2$; далее в блоке 29 выводят весовые коэффициенты каждой из

K виртуальной сети для корреспондирующих узлов информационного направления на j -ом временном интервале и в блоке 30 корректируют результирующие весовые коэффициенты каждой из K виртуальной сети путем прибавления к ним весовых коэффициентов корреспондирующих узлов.

– в блоке 31 выбирают из заданного в блоке 2 множества алгоритм маршрутизации в соответствии с категорией передаваемых данных и в блоке 32 определяют возможные варианты следующего транзитного УС в маршруте передачи данных первого ИН с учетом остаточного ресурса элементов графа физической сети связи [8, 9];

– в блоке 33 проверяют наличие среди полученных вариантов следующего транзитного

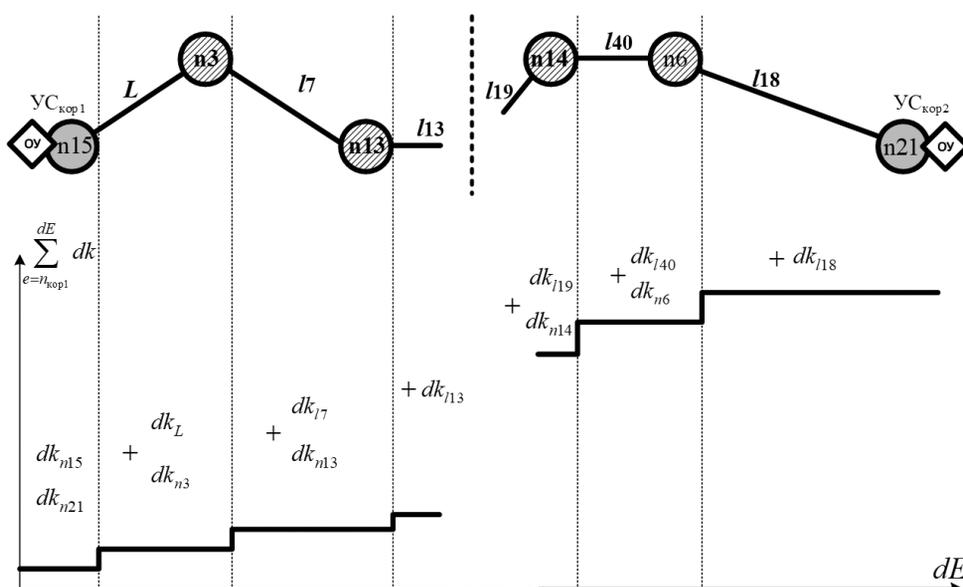


Рис. 6. Графическое представление поэтапного изменения результирующего весового коэффициента k -ой виртуальной сети по отношению к виртуальной сети КСУ при формировании маршрута передачи данных i -го информационного направления, задействовавшего dE элементов физической сети

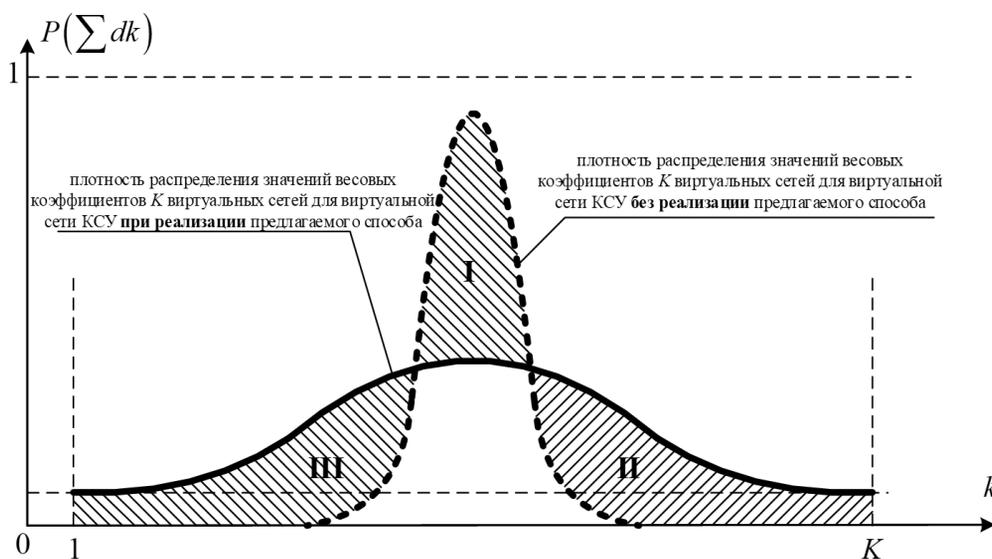


Рис. 7. Графическое представление определения эффективности разработанной методики на основе сопоставления плотностей распределения итоговых значений весовых коэффициентов K виртуальных сетей связи по всем элементам физической сети, задействованных в виртуальной сети КСУ

узла связи второго корреспондирующего узла информационного направления. Если среди полученных вариантов нет второго корреспондирующего узла, то в блоках 36–40 выполняют действия по аналогии с блоками 22–26, соответственно;

– если в результате проверки в блоке 33 установлено, что среди полученных в блоке 32 вариантов есть второй корреспондирующий узел, то в

блоке 34 выбирают его для построения маршрута и в блоке 35 выполняют действие аналогичное блоку 21 и переходят к определению маршрута следующего информационного направления заданной КСУ на текущем временном интервале, для чего: в блоке 41 принимают $i = i + 1$;

– в блоке 42 проверяют, во всех ли I информационных направлениях виртуальной сети заданной КСУ определены маршруты. Если $i > I$,

то переходят к блоку 43; если $i \leq I$, то переходят к блоку 29.

Эффективность методики

Оценку эффективности методики можно провести на основе сопоставления плотности распределения вероятности итоговых значений весовых коэффициентов K виртуальных сетей связи по всем элементам физической сети, задействованных в виртуальной сети КСУ $\sum dk$, без реализации способа устойчивой маршрутизации в виртуальной сети связи и с его реализацией.

Статистически известно, что распределение случайных (квазислучайных) величин в телекоммуникационных системах подчинено нормальному распределению [14], поэтому примем его в качестве распределения влияния K виртуальных сетей связи на заданную сеть в условиях стандартной маршрутизации данных [1], без реализации предлагаемого способа. При стремлении итоговых значений весовых коэффициентов K виртуальных сетей связи к равномерному распределению уменьшается вероятность решающего деструктивного воздействия на виртуальную сеть КСУ со стороны любой другой (из K) виртуальной сети путем увеличения ее нагрузки на физическую сеть. Эффективность способа (рис. 7) отображена заштрихованными областями, где область I формируется за счет снижения вероятности воздействия группы действующих виртуальных сетей на сеть КСУ, а области II и III формируются за счет увеличения вероятности воздействия групп действующих виртуальных сетей на сеть КСУ.

Вывод

Разработанная методика повышает устойчивость передачи данных в виртуальной сети корпоративной системы управления за счет снижения вероятности решающего деструктивного воздействия и существенного влияния на ее функционирование со стороны любой другой виртуальной сети. Этот результат обеспечивается за счет последовательного и обоснованного динамического определения маршрутов передачи данных в информационных направлениях целевой виртуальной сети связи на остаточном

ресурсе тех элементов физической сети, которые не имеют решающих преобладаний нагрузки, создаваемых определенными виртуальными сетями по отношению к другим виртуальным сетям, задействовавших физические элементы используемые в маршруте передачи данных.

Научная новизна методики заключается в нахождении вариантов структуры вновь создаваемых виртуальных сетей с учетом распределения во времени суммарной нагрузки действующих виртуальных сетей на элементы физической сети не только по показателю пропускной способности и временных задержек, но и по показателям памяти и вычислительной способности элементов физической сети.

Литература

1. Олифер В., Олифер Н. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Юбилейное издание. — СПб: Питер. 2020. 1008 с.
2. Пугин В.В., Татарина Н.М. Проектирование корпоративной сети предприятия на основе технологии VPN. Методические указания для выполнения курсового и дипломного проектирования специальностей 210406, 210403 и 090106. — Самара: ПГУТиИ. 2011. 90 с.
3. Стародубцев Ю.И., Давлятова М.А. Экономика цифровых информационных ресурсов. — СПб: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. 2019. 452 с.
4. Стародубцев Ю.И., Закалкин П.В., Иванов С.А. Техносферная война как основной способ разрешения конфликтов в условиях глобализации // Военная мысль. 2020. № 10. С. 16–21.
5. Positive Technologies. Аналитические отчеты по информационной безопасности. Официальный сайт Positive Technologies. URL: <https://www.ptsecurity.com/ru-ru/research/analytics/cybersecurity-threatscape-2020-q1> (дата обращения: 13.07.2021).
6. Стародубцев Ю.И., Иванов С.А., Закалкин П.В. Концептуальные направления решения проблемы обеспечения устойчивости Единой сети электросвязи Российской Федерации в интересах органов государственной власти и военного управления // Военная мысль. 2021. № 4. С. 39–49.
7. Девицына С.Н. Применение теории графов для моделирования архитектуры региональ-

ной сети передачи данных // Научные ведомости. Серия: Экономика. Информатика. 2015. № 19 (216). Выпуск 36/1. С. 170–176.

8. Стародубцев П.Ю., Сухорукова Е.В., Закалкин П.В. Способ управления потоками данных распределенных информационных систем // Проблемы экономики и управления в торговле и промышленности. 2015. № 3 (11). С. 73–78.

9. Васин Н.Н. Основы сетевых технологий на базе коммутаторов и маршрутизаторов. — М.: Бинوم. Лаборатория знаний. 2017. 270 с.

10. Стародубцев Ю.И., Иванов С.А., Вершенник Е.В. и др. Методика определения оптимальной периодичности контроля состояния сложного объекта // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2021. № 3–4 (153–154). С. 81–89.

11. Кудряшов Б.Д. Теория информации: учебник для вузов. — СПб: Питер. 2009. 320 с.: ил.

12. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. — М.: Государственное издательство физико-математической литературы. 1962. 564 с.

13. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика: Учебное пособие для вузов. 10-е издание, стереотипное. — М.: Высшая школа. 2004. 479 с.

14. Замятина О.М. Моделирование сетей: учебное пособие. — Томск: Издательство томского политехнического университета. 2011. 168 с.

References

1. Olifer V., Olifer N. Computer networks. Principles, technologies, protocols: Anniversary edition. — St. Petersburg: Piter Publ. 2020. 1008 p.

2. Pugin V.V., Tatarinova N.M. Designing a corporate enterprise network based on VPN technology. Methodical instructions for the implementation of course and diploma design of specialties 210406, 210403 and 090106. — Samara: PGUTiI Publ. 2011. 90 p.

3. Starodubtsev Yu.I., Davlyatova M.A. The economics of digital information resources. — St. Petersburg: Polytechnic University Publ. 2019. 452p.

4. Starodubtsev Yu.I., Zakalkin P.V., Ivanov S.A. Technosphere warfare as the chief method of conflict settlement in conditions of globalization. Military Thought. 2020. № 10. P. 16–21.

5. Analytical reports on information security. Positive Technologies. URL: <https://www.ptsecurity.com/ru-ru/research/analytics/cybersecurity-threatscape-2020-q1> (date of the application: 13.07.2021).

6. Starodubtsev Yu.I., Ivanov S.A., Zakalkin P.V. Conceptual trends in solving the issue of stability for the Uniform network of electrocommunications in the Russian Federation. Military Thought. 2021. № 4. P. 39–49.

7. Devitsyna S.N. Application of graph theory for modeling the architecture of a regional data transmission network. Scientific statements. Series Economics. Computer science. 2015. № 19 (216). P. 170–176.

8. Starodubtsev P.Yu., Sukhorukova E.V., Zakalkin P.V. A method for controlling data flow of distributed information systems. Problems of economics and management in trade and industry. 2015. № 3 (11). P. 73–78.

9. Vasin N.N. Fundamentals of network technologies based on switches and routers. — М.: Binom Publ. 2017. 270 p.

10. Starodubtsev Yu.I., Ivanov S.A., Vershennik E.V. et al. Method for determining optimum periodicity of complex object state monitoring // Voprosy oboronnoi tekhniki. Seriya 16. Tekhnicheskie sredstva protivodestviia terrorizmu. 2021. № 3–4 (155–156). P. 28–35.

11. Kudryashov B.D. Information theory: a textbook for universities. — St. Petersburg: Piter Publ. 2009. 320 p.

12. Venttsel' Ye.S. Probability theory. — Moscow. Gosudarstvennoye izdatel'stvo fiziko-matematicheskoy literatury Publ. 1962. 564 p.

13. Gmurman V.E. Probability theory and mathematical statistics. — Moscow: Vysshaya shkola Publ. 2004. 479 p.

14. Zamyatina O.M. Modeling Networks: A Tutorial. — Tomsk: Tomsk Polytechnic University Publ. 2011. 168 p.