

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Сибирский государственный университет геосистем и технологий»
(СГУГиТ)

Г. В. Попков

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗАЩИЩЕННЫХ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗАЩИЩЕННЫХ ОПТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ СВЯЗИ

Методические указания по дисциплине для обучающихся
по направлению подготовки 12.04.02 Оптотехника
(уровень магистратуры)

Новосибирск
СГУГиТ
2021

УДК 621.39
П57

Рецензенты: доктор технических наук, профессор СибГУТИ *С. Н. Новиков*
кандидат технических наук, доцент СГУГиТ *Е. В. Грицкевич*

Попков, Г. В.

П57 Проектирование защищенных телекоммуникационных оптических систем. Проектирование защищенных оптических сетей связи [Текст] : метод. указания / Г. В. Попков. – Новосибирск : СГУГиТ, 2021. – 43 с.

Методические указания по дисциплине подготовлены кандидатом технических наук, доцентом Г. В. Попковым на кафедре информационной безопасности СГУГиТ.

Рассматриваются вопросы постановки и решения оптимизационных задач на сетях связи, в частности на защищенных сетях связи общего пользования. Целью методических указаний является знакомство с основами графового, гиперсетевого представления телекоммуникационных сетей и возможностями связанного с ним математического аппарата, возникающего при данном представлении. В основе данной работы лежат типичные задачи, встающие перед проектировщиком, такие как расчет минимального пути или выбор оборудования. Широкий спектр задач, возникающих в процессе проектирования и эксплуатации защищенных телекоммуникационных сетей, решается с помощью методов теории графов, теории гиперсетей с применением оптимальных комбинаторных алгоритмов.

Методические указания по дисциплине «Проектирование защищенных телекоммуникационных оптических сетей» предназначены для обучающихся по направлению подготовки 12.04.02 Оптотехника (уровень магистратуры).

Рекомендованы к изданию кафедрой информационной безопасности, Ученым советом Института оптики и технологий информационной безопасности СГУГиТ.

Печатается по решению редакционно-издательского совета СГУГиТ

УДК 621.39

© СГУГиТ, 2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	4
1. Реализация оптимизационных задач на графовых структурах.....	5
1.1. Оптимизационные задачи на мультисервисных сетях связи	5
1.2. Поиск кратчайших маршрутов в гиперсетях	9
1.2.1. Задача поиска кратчайших цепей в графе	9
1.2.2. Задача поиска кратчайшего пути в гиперсети	9
1.3. Математическая модель топоосновы для пространственного размещения элементов мультисервисных сетей связи	10
1.4. Размещение медианных вершин в гиперсетях.....	13
1.4.1. Медианы в гиперсетях	13
1.4.2. Алгоритм поиска медианы гиперсети AS.....	15
1.5. Задачи поиска связующих сетей	16
1.5.1. Задача поиска кратчайшего циклического маршрута в гиперсетях.....	17
1.5.2. Поиск части графа с заданной связностью.....	18
2. Этапы проектирования мультисервисной сети связи устойчивой к разрушающим деструктивным воздействиям.....	20
2.1. Этапы постановки проектирования мультисервисных сетей связи	20
2.2. Разработка алгоритмов методики проектирования мультисер- висной сети связи устойчивой к разрушающим деструктив- ным воздействиям	33
Заключение	37
Библиографический список.....	38
Вопросы для подготовки к экзамену	41

ВВЕДЕНИЕ

Настоящие методические указания представляют собой теоретическую базу для проектирования сетей связи, в частности на базе оптических сетей транспортного класса, а также сетей абонентского доступа. Вопросы оптимального проектирования мультисервисных сетей связи остаются актуальными по сегодняшний день, задачи, решаемые с помощью аппаратов теории массового обслуживания, теории графов, теории гиперсетей позволяют реализовывать мультисервисные сети связи по оптимальным критериям.

Этапы проектирования сетей позволяют определить возможные проблемы, возникающие в процессе реализации сетей электросвязи, а также оптимизировать сети по параметрам цена – производительность мультисервисных сетей связи.

1. РЕАЛИЗАЦИЯ ОПТИМИЗАЦИОННЫХ ЗАДАЧ НА ГРАФОВЫХ СТРУКТУРАХ

1.1. Оптимизационные задачи на мультисервисных сетях связи

В данных методических указаниях рассматриваются основные процедуры, связанные с задачами, алгоритмами оптимизации устойчивой мультисервисной сети связи (МСС) и реализацией эффективного проектного решения для сети МСС с учетом современных систем связи и основных существующих и перспективных сервисов, предоставляемых мультисервисной сетью связи.

Неотъемлемой частью проектирования и построения современных МСС устойчивых к разрушающим деструктивным воздействиям (РДВ) являются вопросы, связанные с оптимальным построением такого рода сетей по заданным критериям, с учетом возможных ограничений.

Важная особенность изложенных ниже задач и алгоритмов решения заключается в том, что постановки для задач проектирования МСС в условиях РДВ впервые сформулированы для гиперграфов и гиперсетей, поэтому почти все они потребовали разработки новых модифицированных алгоритмов.

Как отмечается в работах [19, 23, 24], приемлемый результат можно достичь, если в процессе поиска проектных решений участвует проектировщик, т. е. в конечном итоге мы получаем экспертную оценку.

Как правило, в этом случае необходимо опираться на соответствующие системы моделирования сетей связи с развитым интерфейсом [13, 15, 16].

Далее рассмотрим и отнесем решаемые задачи к уровням модели *G-Net* сети МСС.

Важные задачи оптимизации для проектирования устойчивой МСС можно разбить на четыре класса.

Класс *SC*, задачи поиска кратчайших цепей между выделенными вершинами (полюсами) в гиперсетях и графах.

В данный класс входят задачи поиска кратчайших цепей с учетом возможных ограничений и начальных условий.

Одной из важных в этом классе является задача SC_1 – поиска кратчайших цепей между парой выделенных вершин или между одной вершиной и остальными вершинами графа (задача поиска минимального растущего дерева [28, 29, 30]), выполняется на уровнях $G_{L1}, G_{L2}, G_{L4}, G_{L6}, G_{L7}$, модели $G-Net$.

Вторая задача SC_2 – поиск кратчайшего пути на поверхности между двумя точками, причем на поверхности помещаются препятствия в виде полигонов (градостроительные факторы, топооснова), уровни $G_{L2}, G_{L4}, G_{L6}, G_{L8}$ модели $G-Net$.

Наиболее сложной из выше представленных является задача SC_3 – поиска системы кратчайших цепей в гиперсети с учетом стоимости (капиталовложений), ребер и ветвей гиперсети проектируемой МСС, уровни G_{L4}, G_{L6}, G_{L7} модели $G-Net$.

На рис. 1 приведено соответствие уровней модели $G-Net$ классам решаемых задач. Очевидно, что эффективность предложенных решений существенно зависит от точности решения задач оптимизации на гиперсетевых моделях.

Класс MV , задачи поиска медианных вершин в графах и гиперсетях.

С помощью задач этого класса поиск мест расположения элементов NE сети МСС, других элементов в сети с использованием кабельных линий связи, а также определение границ влияния соответствующих узлов связи осуществляются, как правило, с помощью алгоритмов поиска медианных вершин, определения центра тяжести графа.

Классической является задача MV_1 – поиск медианы во взвешенном графе, решается на уровнях G_{L2}, G_{L4}, G_{L6} модели $G-Net$ [30, 31]. Подобная постановка задачи возможна для любых взвешенных точек, расположенных на поверхности.

Если поверхность является плоской (либо перепады незначительны) и любой кратчайший путь между точками является отрезком, то в этом случае задача MV_2 – поиск медианы (центра тяжести) является достаточно простой задачей, которая усложняется, если на поверхности имеются препятствия на пути от медианы до взвешенных точек, что определяется исходными условиями на сети МСС (условия пространственного размещения сетевых элементов).

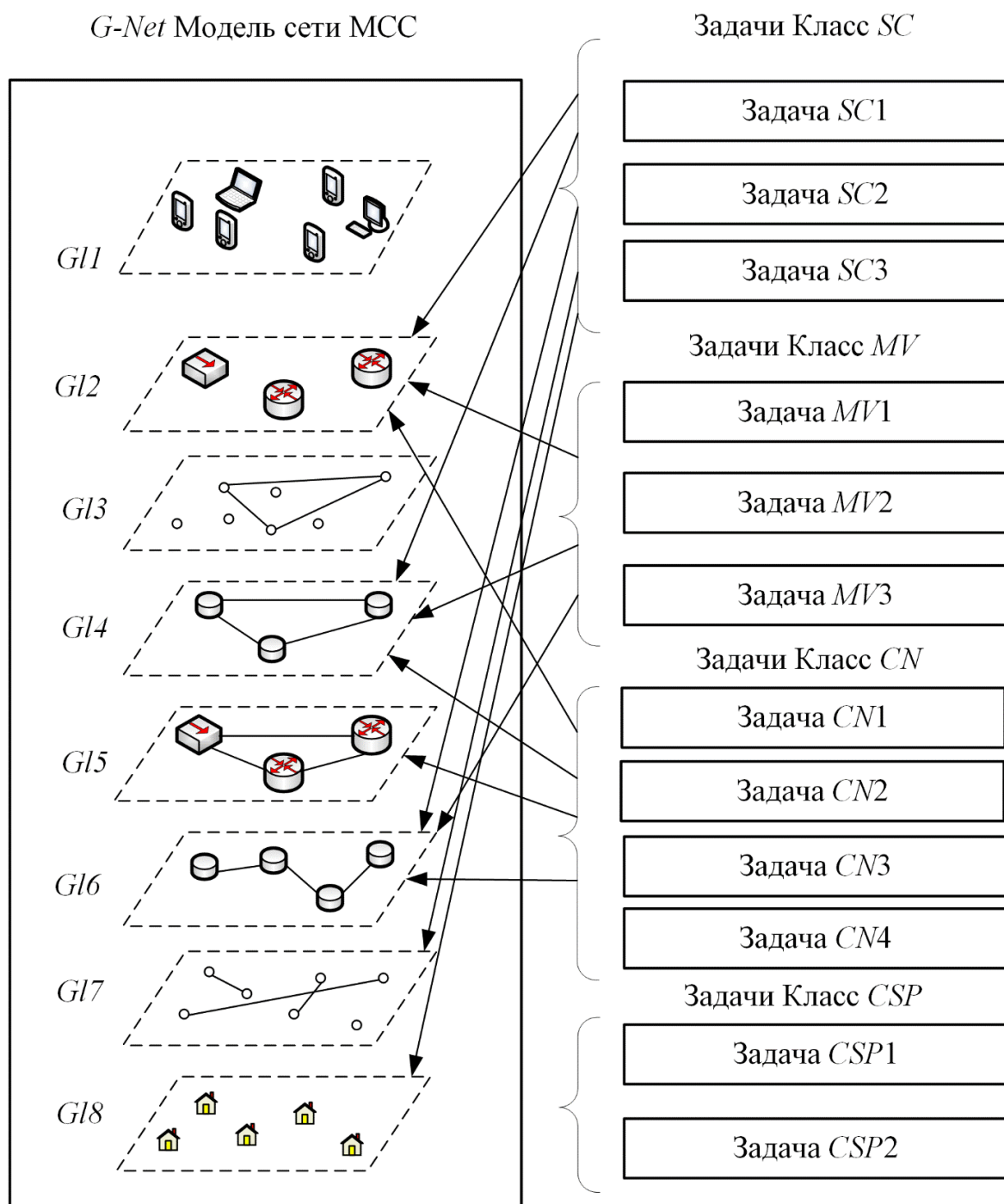


Рис. 1. Соответствие уровней модели *G-Net* классам решаемых задач

Задача MV_3 – поиск b -медианы графа является классической [29, 30] и решается с помощью различных алгоритмов на уровнях G_{L2}, G_{L4}, G_{L6} модели *G-Net* [29, 30]. В данной работе приведены приближенные алгоритмы, основанные на «разумном» переборе исходных данных.

Семейство перечисленных задач класса MV решает важную проблему, связанную с поиском мест расположения элементов NE и границ влияния (тяготения) на проектируемой сети МСС.

Класс CN , задачи поиска связующих сетей.

Для организации каналов связи между узлами уровня G_{L2} модели $G-Net$ возникают задачи поиска структур с заданными способами организации связей (систем связи), соединяющих эти узлы, имеющие минимально возможный вес либо другие заданные характеристики с ограничениями.

Целесообразно применять следующие задачи:

CN_1 – задача поиска наименьшего циклического маршрута, проходящего через заданное множество вершин гиперсети, уровень G_{L2} .

CN_2 – задача поиска минимального дерева, связывающего заданное подмножество вершин (дерево Штейнера) в гиперсети на уровнях G_{L2}, G_{L4} модели $G-Net$.

CN_3 – поиск части графа (уровни G_{L2}, G_{L5}, G_{L6}) модели $G-Net$ с заданной связностью, содержащей выделенные вершины.

Четвертая задача CN_4 – поиск покрывающей сети является обобщением предыдущих задач в том смысле, что вес медианных вершин x_i^m увеличивается на величину $\varphi(N_i)$, где N_i – суммарный вес вершин, входящих в зону действия вершин x_i^m . Также учитывается «вес» части графа, связывающего все медианные вершины.

Класс CSP . Задачи поиска покрывающего множества вершин или ребер.

Задачи этого класса, как правило, используются при решении задач построения беспроводных сетей связи, а также при синтезе сегментов первичной (транспортной) части сети МСС.

CSP_1 – задача наименьшего реберного покрытия во взвешенном гиперграфе.

Эта задача возникает в связи с оценкой построения устойчивой беспроводной сети и размещения базовых станций в этом сегменте сети МСС.

CSP_2 – поиск максимально независимого множества ребер в гиперграфе. К этой задаче сводятся задачи размещения элементов NE в МСС на уровнях G_{L4}, G_{L6} .

1.2. Поиск кратчайших маршрутов в гиперсетях

1.2.1. Задача поиска кратчайших цепей в графе

Дано: взвешенный граф $G = (X, U)$ такой, что $X = x_1 \dots x_n$ – вершины, $U = u_1 \dots u_m$ – ребра, где $V = (x_i)$ – вес x_i вершины, $l(u_j)$ – вес u_j ребра.

(X, Y) – пара вершин, между которыми находится кратчайший путь. Требуется найти x, y – цепь минимального веса.

Данная задача является одной из важнейших задач расчета пропускной способности сегментов сети МСС с заданными ограничениями.

Известно несколько решений этой задачи [28, 29, 30].

1.2.2. Задача поиска кратчайшего пути в гиперсети

Дана взвешенная гиперсеть $AS = (X, V, R)$, в которой

$X = (x_1 \dots x_n)$ – вершины, $V(x_i)$ – вес x_i вершины;

$V = (v_1 \dots v_m)$ – ветви, $l(v_j)$ – вес v_j ветви;

$R = (r_1 \dots r_g)$ – ребра гиперсети.

$AP = (X, V)$ – взвешенный граф (первичной, транспортной) сети МСС;

$AW = (X, R)$ – взвешенный граф (вторичной, систем связи) сети МСС;

$AF = (V, R)$ – гиперграф, определяющий структуру вложения AW в AP

Таким образом, каждому ребру $r = (x, s) \in R$ будет сопоставима (x, s) – цепь в первичной (транспортной) сети МСС, следовательно, вес ребра $r = (x, s) \in R$ будет равен суммарному весу s, x – цепи в $AP = (X, V)$.

Дадим определения маршрутов, кратчайших маршрутов, кратчайших квазимаршрутов и слабых кратчайших маршрутов применительно к нашим задачам.

Маршрутом в гиперсети $S = (X, V, R)$ называется конечная последовательность $\mu = (x_1, r_1, x_2, \dots, x_{k-1}, r_{k-1}, x_k)$, составленная из элементов (X, R) таким образом, что вершины и ребра чередуются, а всякие два соседних элемента инцидентны. Квазимаршрут в гиперсети $S = (X, V, R)$ – это конечная последовательность μ , в которой пара соседних элементов x_i, r_i инци-

дентна, а $x_i, r_i + 1$ слабо инцидентна. Если в определении маршрута заменить «инцидентность» на «слабую инцидентность», получим определение слабого маршрута. Ориентированные маршруты определяются аналогично, с учетом ориентации ребер.

Кратчайшие маршруты. Из определения маршрута в гиперсети $S = (X, V, R)$ непосредственно следует, что каждому маршруту μ в S между вершинами x и y соответствует маршрут μ в графе $WS = (X, R)$.

Расстояние $\rho(x_i, x_j)$ между парой вершин x_i и x_j в гиперсети S находится по взвешенному графу $WS^* = (X, R)$. Каждому ребру r_h графа WS^* ставится в соответствии длина, равная $|\{v_i\}|$, где $\{v_i\} = F(r_h)$. Таким образом, кратчайшие маршруты в гиперсетях можно найти с помощью известных алгоритмов по графу WS^* . Для ориентированной гиперсети граф WS^* ориентируется согласно гиперсети.

Для эффективного решения ранее поставленных задач на модели *G-Net* важное значение имеют отношения квазиотдаленности и квазирасстояния для неориентированных гиперсетей, а тем более для ориентированных.

Отношения слабой отдаленности и слабого расстояния играют большую роль при решении прикладных задач на гиперсетях [28, 29].

1.3. Математическая модель топоосновы для пространственного размещения элементов мультисервисных сетей связи

Дано.

1. Рельеф местности представлен в виде клеточной структуры с шагом клетки l м и минимальным перепадом высот h м (определяется проектировщиком).

2. Карта препятствий (градостроительные факторы, рельеф местности), клеточная модель, отображающая участки, на которых невозможно размещение коммутационных узлов сети МСС, а также прокладка линейных сооружений.

3. Карта существующих линейных сооружений, узлов сети МСС (в случае модернизации сети МСС) для поправок весовых характеристик ребер гиперсети ситуационных трасс.

Сопоставим каждой клетке карты рельефа вершину графа $TO = (X, V)$ топоосновы. Каждой ветви сопоставим вес равный:

1-й случай – вершины соседних клеток $(x1, x2)$ на одном уровне $\rho(x1, x2) = l$;

2-й случай – вершины соседних клеток $(x2, x3)$ на разных уровнях $\rho(x2, x3) = \sqrt{l^2 + h^2}$;

3-й случай – вершины соседних клеток $(x2, x6)$ на разных уровнях (диагональ с двумя ступенями) $\rho(x2, x6) = \sqrt{2l^2 + 4h^2}$;

4-й случай – вершины соседних клеток $(x3, x5)$ на одном уровне (диагональ) $\rho(x3, x5) = l\sqrt{2}$;

5-й случай – вершины соседних клеток $(x1, x5)$ на разном уровне (диагональ с одной ступенью) $\rho(x1, x5) = \sqrt{2l^2 + h^2}$ на рис. 2 представлена графовая структура топоосновы, уровень G_{L8} , модель $G-Net$.

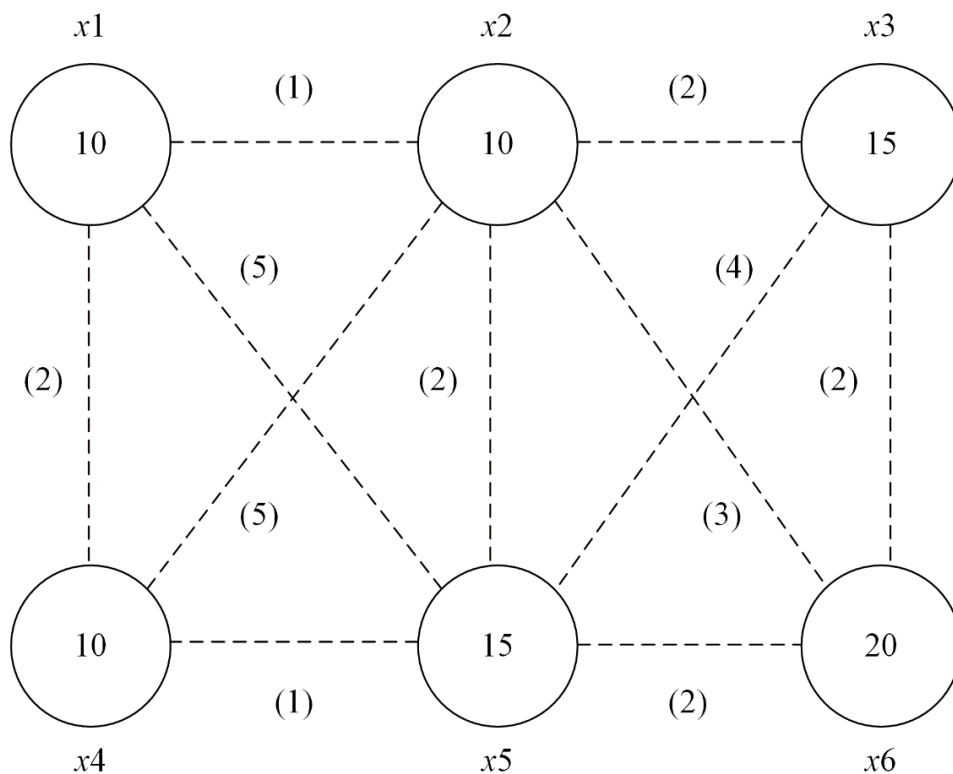


Рис. 2. Графовая модель топоосновы уровня G_{L8} , модель $G-Net$

В полученном графе удалим вершины, соответствующие карте препятствий (градостроительные факторы, рельеф местности), получим граф проектной топоосновы $ТО_{\Pi} = (X', V')$. Далее осуществляется построение гиперсети ситуационных трасс кабельных линий $HS_T = (X', V', R')$.

По мере удаления вершин на карте препятствий достигается «слияние» клеток, а шаг и перепад высот внутри клетки, соответственно, увеличивается. В случае необходимости максимальный размер клетки может ограничиваться всем районом проектируемого сегмента сети МСС.

В этом случае уменьшается число итераций по вычислению участков местности МСС, где невозможно размещение узлов сети, а также прокладка линейных сооружений ниже заданного уровня.

Далее, на основе полученного графа $ТО_{\Pi}$ и карты существующих линейных сооружений строится гиперсеть ситуационных трасс. С учетом карты линейных сооружений граф $TW = (X', R)$ строится следующим образом: подмножество вершин $X'' \in X'$ сопоставляется местам присоединения узлов NE сети МСС в существующие линейные сооружения.

Две вершины $X, Y \in X$ соединяются ребром $r = (X, Y)$, если эти вершины принадлежат одному и тому же линейному сооружению. Вес ребра r определяется соответствующей задачей. Например, он может быть равен нулю, если речь идет о наличии свободного канала в данном линейном сооружении (кабельной канализации, коллекторе, воздушной линии связи (ВЛС), или суммарной длине ветвей гиперсети HS_T , по которым проходит данное ребро. Таким образом, данная задача сводится к задаче SC_3 . Возможны и другие подходы к взвешиванию данного ребра.

Гиперсеть $HS_T = (X', V', R')$ ситуационных трасс будет задана, если будут заданы трассы в $ТО_{\Pi}$ для всех ребер графа TW , а также соответствующие веса ребер.

Очевидно, что для задач поиска кратчайших расстояний в гиперсети ситуационных трасс (задача SC_2) можно воспользоваться сведением этой гиперсети к графу ситуационных трасс с теми же метрическими характеристиками. Таким образом, задача поиска кратчайших цепей на топооснове (уровень G_{L8}) сводится к предыдущему случаю.

Задачу SC_3 , в которой вес ребер гиперсети определяется независимо от весов ветвей соответствующей трассы ребра, можно отнести к случаю взвешенного мультиграфа, который получается разбиением трассы ребра на элементарные участки (между активным сетевым оборудованием, смотровыми устройствами кабельной канализации, опорами воздушных линий связи и т. д.), каждому из которых может быть сопоставлен пучок ребер (ветвей) со своими весовыми характеристиками.

Следовательно, и в этих случаях задачи поиска кратчайших цепей сводится к классической задаче теории графов [28, 29, 30].

1.4. Размещение медианных вершин в гиперсетях

Если в качестве математической модели сети выступает граф, то задачи $MV_1 - MV_3$ – поиск медианных вершин в графе решается известными методами.

Однако в случае для задач проектирования сети МСС устойчивой к РДВ требуется в качестве базовой математической модели использовать гиперсети [12], и, следовательно, перечисленные выше задачи должны формулироваться в терминах гиперсетей.

Рассмотрим задачи $MV_1 - MV_3$ для гиперсетей.

1.4.1. Медианы в гиперсетях

Пусть задана гиперсеть $AS = (X, V, R; P, F, W)$, в которой

$Z(x_i)$ – вес вершины $x_i \in X$;

$l(v_j)$ – длина ветви $v_j \in V$;

$c(v_j)$ – цена ветви v_j .

$l(r_k) = \frac{\sum_{V_j \subset F'(r_k)} l(v_j)}{|F'(r_k)|} l(v_j)$ – длина ребра r_i .

Передаточной функцией вершины x_i гиперсети АС назовем

$$\Pi\{(x_i), \mu(x_i, x_j)\} = \frac{\sum_{x_j \in X} \rho(x_i, x_j) Z(x_j)}{\sum_{x_j \in X} \rho(x_i, x_j)} + \frac{\sum_{v_j \in F^{-1}(\{r_i\})} c(v_j)}{|F^{-1}(\{r_i\})|},$$

где $\{z_i\}$ – множество ребер гиперсети, по которым прошли цепи m_i от x_i до всех вершин x_j .

Пример приведен на рис. 3.

Зададим:

$$\rho(x_i, x_j) = \sum l(Z_k)$$

$$z_k \in \mu(x_0, x_j),$$

где $\mu(x_0, x_j)$ – цепь из вершин x_i в вершины x_j .

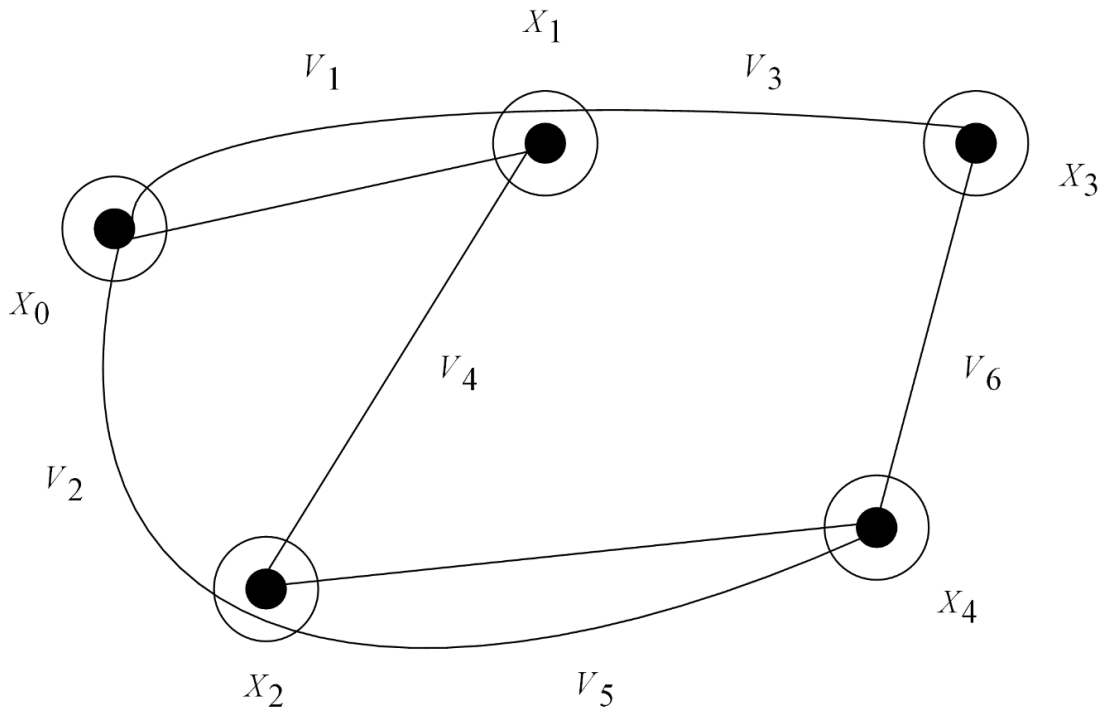


Рис. 3. Пример расчета передаточного числа в графе

Передаточным числом $\Pi(x_0)$ для вершины (x_0) назовем наименьшее значение функции $\Pi\{(x_i) | (x_i; x_j)\}$, если реализация цепей $\mu(x_0, x_i)$ такова, что

$$\Pi((x_i), \mu(x_i, x_j)) \rightarrow \min. \quad (1)$$

Следовательно, от трассировки маршрутов в гиперсети AS из корня x_0 зависит его передаточное число.

Вполне очевидно, что оценка $\Pi(x_i)$ лежит в следующих пределах:

$$\Pi_{WS}(x_i) + |T_{OCT}^{PS}| \leq \Pi(x_i) \leq \Pi_{WS}(x_i) + |T_{x_i}^{PS}|,$$

где $\Pi_{WS}(x_i)$ – передаточное число в графе $WS = (X, R)$;

T_{OCT}^{PS} – минимальное остовное дерево в графе $PS = (X, V)$;

$|T_{OCT}^{PS}|$ – вес этого дерева.

$|T_{x_i}^{PS}|$ – дерево (часть графа) в PS полученного после реализации минимального растущего дерева $|T_{x_i}^{WS}|$ в графе PS . Если WS и PS совпадают, то $|T_{x_i}^{WS}| = |T_{x_i}^{PS}|$.

Из данных оценок следует реализация алгоритма решения следующей задачи.

Пусть задана взвешенная гиперсеть $AS = (X, V, R; P, F, W)$, требуется найти вершину x_0 гиперсети AS такую, чтобы $\Pi(x_0) \rightarrow \min$.

Очевидно, что если WS не связан, то данная задача не имеет решения.

1.4.2. Алгоритм поиска медианы гиперсети AS

Вершину x_0 гиперсети AS , для которой выполняется (1) назовем медианой гиперсети AS .

Шаг 1. В графе $PS = (X, V)$ с помощью алгоритма Прима – Краскала [30] найдем минимальное остовное дерево.

Шаг 2. В графе $WS = (X, R)$ найдем медиану графа WS (например, вершину x_k) с помощью алгоритма из [29, 30].

Шаг 3. Из вершины x_k в гиперсети AS будем последовательно находить кратчайшие цепи (x_0, x_i) с помощью процедуры реализации цепей (ПРЦ).

П. 1. Упорядочим вершины X по возрастанию индекса. Веса и длины ветвей складываются, и это значение становится длиной ветви в графе PS .

П. 2. Выберем очередную вершину x_l и найдем в гиперсети AS кратчайшую цепь $\mu(x_k, x_l)$ Вес ветвей AS , по которым прошла данная цепь,

уменьшается на вес ветвей, определенных вначале, тем самым вес каждой ветви участвует в решении задачи только один раз, так же, как и для вершин гиперсети AS).

П. 3. Действие п. 2. продолжается до тех пор, пока не будут просмотрены все вершины графа.

Если $\Pi(x_k) = \Pi_{WS}(x_k) + |T_{OCT}^{PS}|$, то на шаг 5 иначе на п. 4.

П. 4. Последовательно перебираем и реализуем цепи (x_k, x_i) так, чтобы уменьшить значение $\Pi(x_k)$. Если после перебора всех цепей это значение не удалось уменьшить, то на этапе шага 4 иначе повторяем п. 2.

Шаг 4. Для вершины x_k в PS найдем смежные вершины $(x_{l_1} \dots x_{l_Z})$, для каждой из этих вершин повторим шаги 2 и 3. Из полученных значений $\Pi(x_k), \Pi(x_{l_1}), \dots, \Pi(x_{l_Z})$ найдем минимальное $\Pi(x_{l_p})$. Если это $\Pi(x_k)$, то на шаг 5 иначе $K := l_p$ и шаг 4 повторяется для новых вершин, смежных с x_{l_p} и т. д., данная процедура продолжается, пока не будут просмотрены все вершины или целевая функция после очередной итерации не уменьшается.

Шаг 5. Медиана гиперсети AS найдена.

Данный алгоритм является приближенным, и в общем случае решение может отличаться от оптимального. Однако, если структуры WS и PS будут совпадать, то решение будет точным.

Следовательно, оценка числа операций по этому алгоритму вычисляется по следующей формуле: $o(n^3 + g)$.

1.5. Задачи поиска связующих сетей

Задачи поиска кратчайших циклических маршрутов или деревьев, связывающих выделенное множество вершин в некотором графе, достаточно хорошо изучены. Однако в таком виде решение этих задач малоприспособно для практического применения. Поэтому в данном разделе будут рассмотрены обобщения этих задач на гиперсети с одной стороны и поиск более сложных связующих сетей на графах. В такой постановке эти задачи имеют практическое значение.

1.5.1. Задача поиска кратчайшего циклического маршрута в гиперсетях

В процессе проектирования актуальной с точки зрения синтеза кольцевых структур для сетей МСС представляется следующая задача.

Пусть задана первичная (транспортная) сеть $PS = (X, V)$ гиперсети AS .

Определены места расположения сетевых элементов сети МСС, которые необходимо объединить в кольцевые структуры (в частном случае такие кольцевые структуры для вторичной (сети абонентского доступа МСС) могут быть уже заданы), заданы веса (стоимости) $S(V_i)$ и длины $L(V_i)$ ветвей первичной (транспортной) сети PS , удельная стоимость любых ребер на модели сети МСС.

Требуется найти циклическую структуру вторичной сети (системы связи) $WS = (X, R)$ и ее реализацию в $PS = (X, V)$ такую, чтобы

$$\sum_{v_i \in F^{-1}\{r_j\}} S(v_i) + \sum_{r_i \in R \equiv \{\mu(x, y)\}} l(r_i) c \rightarrow \min, \quad (2)$$

где $\{\mu(x, y)\}$ – множество маршрутов в первичной (транспортной) сети, соединяющих пары x, y в WS . Каждому маршруту μ_i сопоставляется ребро r_i вторичной сети (системы связи), длина $l(r_i)$ будет равна сумме длин ветвей, входящих в данный маршрут. Здесь очевидно, что даже при заданной структуре WS найти значение (2) – сложная задача.

Также очевидно, что данная задача NP – полная, поэтому далее предлагается приближенный алгоритм решения. Ниже приведем алгоритм построения циклических сетей в гиперсети.

Если структура вторичной сети $WS = (X, R)$ задана, то для решения задачи достаточно применить процедуру ПРЦ. Для ребер задача WS и соответствующая реализация WS в PS будет найдена. Теперь предположим, что WS не имеет ребер.

Шаг 1. На множестве выделенных вершин в PS построим полный граф, $G = (x', u')$, в котором каждому ребру $U = (x, u)$ будет сопоставляться некоторая кратчайшая x, u цепь в PS .

Длина ребра $U = (x, y)$ в графе будет равна

$$\sum_{v_i = \mu(x, y)} S(v_i) + \rho_{PS}(x, y), \quad (3)$$

т. е. состоять из двух частей: суммы всех ветвей и суммы длин этих же ветвей, принадлежащих кратчайшему маршруту $\mu(x, y)$, $i := 1$. Зафиксируем начальную вершину x_i для поиска цикла.

Шаг 2. Выберем очередную вершину x_i из числа x , и будем использовать известный метод решения задачи коммивояжера, т. е. из x_i перейдем в ближайшую вершину $x_i = 1$ в графе G .

Шаг 3. В PS найдем маршрут $\mu(x_i, y_{i+1})$, соответствующий ребру $(x_i, x_i + 1)$ в графе G . Веса ветвей из этого маршрута обнуляем или уменьшаем на заданную величину, т. е. получим граф PS . Исходя из изменений весов в этом графе, проведем корректировку весов в графе G по формуле (3), $i := i + 1$. Перейдем к шагу 2.

Шаги 2 и 3 продолжаются до тех пор, пока не будут пройдены все вершины x^* и маршрут не закончится.

Оценим число операций в данном алгоритме.

По первому шагу надо сделать $o(|x'| \parallel x'|^2)$ операций, так как $|x'| \leq n$, то верхняя оценка по шагу 1 составит $o(n^3)$ операций. В шагах 2 и 3 требуется делать не более $o(g)$ операций (где g – число ветвей в PS), а число итераций по шагам 2 и 3 составляет $|x'| \leq n$. Следовательно, для выполнения алгоритма требуется $o(n^3 + gn)$ операций.

Данный алгоритм является приближенным, но легко модифицируется для использования в методах случайного поиска с адаптацией (генетические алгоритмы) или с использованием диалоговой оптимизации.

1.5.2. Поиск части графа с заданной связностью

Зададим K -связный взвешенный граф $G = (X, U)$, где $S(U_i)$ – вес ребра U_i и множество выделенных вершин $x' \subset x$. Требуется найти часть графа

$G' = (x', u')$ такую, чтобы ее вес был минимальным, а связность V' не меньше P , т. е. $\omega(V') \geq P$.

Если $x' = x$, то здесь можно применить модифицированный алгоритм Прима – Краскала.

Далее приведен алгоритм МПК.

Шаг 1. Упорядочим ребра G по убыванию веса.

Шаг 2. Удаляем очередное ребро, $u = (x, y)$, если $\omega(x, y) > P$. Шаг повторяется до тех пор, пока не будут просмотрены все ребра G . Это решение можно использовать в общей задаче.

Шаг 3. В полученной части графа для каждой пары выделенных вершин найдем P независимых цепей и отметим ребра этих цепей, а затем удалим из полученного решения неотмеченные ребра. Ясно, что в PS' останется часть графа с заданной связностью.

Задача может быть решена и другим способом. Например, в исходном графе PS для каждой пары выделенных вершин найдем P независимых кратчайших цепей (NP – полная задача) и ребра этих цепей войдут в искомую часть графа G .

2. ЭТАПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МУЛЬТИСЕРВИСНОЙ СЕТИ СВЯЗИ УСТОЙЧИВОЙ К РАЗРУШАЮЩИМ ДЕСТРУКТИВНЫМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ

2.1. Этапы постановки проектирования мультисервисной сети связи

Рассмотрим более подробно существующие подходы и приведем ключевые этапы проектирования сетей МСС устойчивых к РДВ.

Разделение процесса проектирования на этапы позволяет упорядочить весь процесс создания сети связи от идеи до появления рабочей документации по конкретной сети связи на выбранной территории.

Очевидно, что процесс в данном случае итеративен, конечных решений при изменении требований может быть значительное количество, в этом случае очень важен экспертный подход для принятия того или иного решения. Как правило, такое решение берет на себя проектировщик (главный инженер проекта (ГИП)). Процессы взаимосвязаны между собой, данные взаимоотношения показаны на рис. 4.

Дадим пояснения: в данном случае сплошные линии отображают переходы между смежными этапами системы, пунктирные линии изображают условные переходы, которые определяются в зависимости от результатов, полученных на каком-либо этапе, предыдущем или последующем. Обратная связь будет, вероятно, наиболее сильной на этапе конечной реализации проекта МСС. На рис. 4 изображена обратная связь, объединенная общим комментарием «решение не реализуемо». Это может означать отказ от предложенного сценария по техническим, финансовым, организационным и иным причинам. В зависимости от причин алгоритм планирования сети МСС может повторно инициироваться с первого, второго, третьего, четвертого этапов.

Очевидно, что профиль атаки формирует ответ системы на дальнейшие сценарии реализации защищенной МСС.

Важно формировать онтологии РДВ, связанные с профилем атак, это необходимо для корректной работы экспертной системы, позволяющей оп-

тимально проектировать мультисервисные сети связи с учетом выбора средств защиты информации (СЗИ), средств криптографической защиты информации (СКЗИ), необходимых для обеспечения информационной безопасности МСС и поддержания целостности, доступности, конфиденциальности информации, циркулирующей в сети МСС в части пользовательского трафика и служебной информации.



Рис. 4. Процессы проектирования сети МСС устойчивой к РДВ

Задачи расчета сети МСС в условиях РДВ, решаемые на этапе ее проектирования, могут быть классифицированы по различным признакам.

В качестве основного принципа классификации представляется разумным выбрать этапность процесса проектирования сети МСС, соответственно, принятие решения будет строго коррелировать с вехами жизнен-

ного цикла проектируемой сети МСС. В частных случаях, связанных со специальными сетями связи, количество и состав этапов может варьироваться.

Очевидно, что решение задач по проектированию сетей МСС сопряжено с трудностями, характерными для сложных систем. Многие задачи являются многокритериальными, требующими большого количества исходных данных, ограничений и, соответственно, получения большого количества инвариантных решений. В случае проектирования сетей МСС используются следующие цепочки действий: предварительное описание ситуации – формулировка целей – описание внешней среды по отношению к проектируемой МСС (теория сложных систем) – содержательная постановка задач – представление концептуальной, информационной модели сети (теория сетей связи, моделирование) – математическая модель сети МСС (математические методы представления сети связи) – представление формальной постановки задач, определение целевых функций, необходимые ограничения – выбор технологий и методов решений – создание и применение алгоритмов решений – подготовка данных – проведение вычислительных экспериментов – анализ полученных результатов на применимость.

Рассмотрим более подробно этапы проектирования МСС устойчивой к РДВ.

Этап I

Постановка задачи проектирования устойчивой сети МСС пакетной коммутации в значительной мере определяется типом технологии, планируемой для развертывания сети МСС, для которой планируются затраты на реализацию участков сегментов транспортной сети МСС, а также сетей абонентского доступа.

Принципиально наличие или отсутствие какой-либо существующей телекоммуникационной инфраструктуры на выделенной территории планирования новой сети МСС. В случае наличия существующей инфраструктуры принципиально принятие решения о дальнейшем ее использовании в проектируемой сети, в каком соотношении, важен вопрос об использовании существующей структуры как резервной. Второй вариант предполагает отсутствие какой-либо телекоммуникационной инфраструктуры, следовательно,

проектирование осуществляется полным циклом, начиная с проведения геодезических изысканий на местности. Задачи и варианты модернизации сетей связи телефонной сети общего пользования (ТФОП) до широкополосных сетей передачи данных детально рассматривались в [11, 12, 17].

В любом случае критерии планирования сети определяются теми показателями функционирования сети связи, которые приняты в качестве международных, национальных или ведомственных стандартов в области телекоммуникаций. Если какие-либо из критериев не заданы, они могут выбираться на этапе проектирования устойчивой сети МСС по изложенным ниже соображениям. В качестве критерия, как правило, используется стоимостный показатель (капитальные вложения или приведенные затраты на строительство сети МСС), выражаемый либо непосредственно в денежных единицах, либо в виде физической величины (протяженность линейных сооружений, число концентраторов, маршрутизаторов, коммутаторов и т. п.).

Для проектирования устойчивой сети МСС к РДВ важными критериями представляются: коэффициент готовности участка, сегмента сети МСС (элемента NE сети), время восстановления участка, сегмента сети МСС (элемента NE), QoS , реализуемый для конкретного типа пользовательского и служебного трафика, обеспечение вероятности доступности, целостности, конфиденциальности информации (трафика), циркулирующего в проектируемой сети МСС [4, 5, 10].

Например, коэффициент готовности для трехуровневых сетей передачи данных, состоящих из маршрутизаторов ядра, коммутаторов распределения нагрузки и коммутаторов сетей доступа, исходя из 6-летнего срока заявленной эксплуатации производителем, рассчитывается с помощью систем уравнений Колмогорова – Чепмена с ограничениями и составляет не менее 99,59 %, т. е. примерно один час простоя в год.

Как правило, основная часть показателей функционирования сети МСС определяется типом используемых технических средств. Если они соответствуют принятым стандартам, то показатели функционирования сети связи поддерживаются автоматически (штатно, согласно настройкам оператора связи).

В качестве примера можно привести совокупность требований по качеству передачи информации. Если, например, между абонентским концен-

тратором и коммутационной станцией используется стандартный тракт цифровые системы передачи (ЦСП), то нормы на искажение сигнала, коэффициент ошибок и т. п. должны находиться в заданных пределах. Нормы на задержки трафика, циркулирующего между инцидентными узлами NE , зафиксированы в соответствующих отраслевых стандартах, например здесь [1, 2, 6, 7].

Первым показателем, который выбирается для проектирования устойчивой сети связи, является коэффициент готовности (Availability), определяемый в международной практике [6, 8, 9, 20] следующим образом:

$$K_{\Gamma} = \frac{\sum Uptimes}{\sum Uptimes + \sum Downtimes}, \quad (4)$$

где $\sum Uptimes$ – суммарное время нормальной работы участка сети связи в течение заданного интервала, а $\sum Downtimes$ – суммарное время простоя, определенное за тот же период. Коэффициент готовности, как правило, выражается в процентах. В [1–3] рекомендуется также нормировать суммарное время простоя – второе слагаемое в знаменателе формулы (4). Это время принято выражать в часах простоя за один год.

Коэффициент готовности с точки зрения пользователя, например, сети ТФОП определяет вероятность того, что он застанет телекоммуникационную систему в работоспособном состоянии, т. е. при снятии трубки услышит сигнал «ответ станции». В расчетах зачастую используют коэффициент простоя. Сумма этих двух коэффициентов равна единице. Коэффициенты готовности и простоя легко пересчитываются в долю времени, когда телекоммуникационная система недоступна.

Например, величина коэффициента готовности 99,99 % соответствует времени простоя 52,56 мин в год, что эквивалентно величинам 4,38 мин в месяц или 8,76 с в день. При допустимом коэффициенте готовности на уровне 99,95 % длительность простоя за год составит уже 4,38 ч, что соответствует 21,9 мин за месяц, или 43,8 с за день.

Четкие нормы на коэффициент готовности, например, для сетей абонентского доступа в международных стандартах не приводятся. Судя по показателям качества функционирования ТФОП в развитых странах

(например, в североамериканском стандарте TR-TSY-000499), эту величину можно выбрать следующим образом:

- 99,99 % для подключения индивидуальных абонентских линий (АЛ) сети ТФОП к коммутационной станции или ее выносным модулям;

- время восстановления неисправной АЛ для этой группы абонентов не должно превышать одного рабочего дня с момента обнаружения отказа (за исключением особо крупных аварий на сети доступа);

- 99,995 % для подключения концентратора и выносных модулей к коммутационной станции;

- время восстановления пучка СЛ между опорной АТС и концентратором нагрузки не должно превышать двух часов с момента обнаружения отказа (за исключением особо крупных аварий на сети доступа);

- 99,999 % (или выше) для привилегированной группы пользователей, готовых оплачивать затраты на дополнительное оборудование для обеспечения подобного уровня готовности сети доступа (не более 5,256 мин простоя за год) [27];

- время восстановления неисправного элемента сети доступа для этой группы абонентов – в любом случае не должно превышать двух часов с момента обнаружения отказа [1, 2, 11, 12].

Принятая проектировщиком величина коэффициента готовности существенно влияет на структуру проектируемой сети МСС устойчивой к РДВ.

Суммарное время простоя является важным показателем системы технической эксплуатации сети и характеризует способность оперативного устранения различных неисправностей, возникающих на проектируемой сети МСС.

Следующим важным фактором при проектировании сети связи является время восстановления поврежденного сетевого элемента NE или иного структурного элемента сети связи от точки выхода из штатного режима работы, заданного оператором связи, до полного восстановления работоспособности.

Например, для сетей мобильной связи коэффициент времени восстановления связи – это отношение количества восстановлений связи, для которых время восстановления превысило нормативное значение (принято от

1 до 2 ч на прецедент) к общему количеству восстановлений связи за отчетный период, выраженное в % или в абсолютной величине. Отчетным периодом могут являться сутки, месяц, квартал, год либо любой определенный отчетный период времени. (РД 45.254–2002, «Сети сотовой подвижной связи. Нормы на показатели качества услуг связи и методики проведения их оценочных испытаний») [21, 22, 26].

Время восстановления связи в этом случае – период времени, требуемый для возобновления предоставления услуг в случае аварии или повреждения оборудования мобильной сети связи (неисправности в модулях BTS, BSC или MSC мобильной сети связи, повреждения на стыке сегментов подвижной и фиксированной сетей связи т. д.).

В качестве важной совокупности критериев, влияющих на проектирование сети МСС, выступают показатели качества обслуживания вызовов. В целом, эти показатели относятся к аспектам проектирования сетей ТФОП, сетей передачи данных, а также сетей мобильной связи в полном объеме. Например, для сетей доступа необходимо установить показатели качества обслуживания вызовов для участка концентратор нагрузки – коммутационная станция, участка сети передачи данных от терминала пользователя до ближайшего коммутатора уровня $L2$. Для сетей мобильной связи это участок радиоподсистемы *GSM* от мобильного терминала абонента до ближайшего контроллера базовых станций.

Для концентраторов, включаемых в абонентские комплекты цифровых АТС, принято ограничивать нагрузку на СЛ величиной 0,1 ...0,15 Эрл. Это решение, принятое согласно руководящим документам, подразумевает, что в этом диапазоне нагрузки будут соблюдаться необходимые показатели качества обслуживания вызовов.

Для сетей передачи одним из важнейших показателей является показатель числа битовых ошибок, принятых за единицу времени к общему числу переданных данных (англ. *Bit Error Ratio, BER*). Измерения данного параметра позволяют адекватно оценивать качество цифрового канала передачи с отключенной пользовательской нагрузкой, например, для основного цифрового канала (ОЦК) 64 Кбит/с предел отклонения составляет $\pm 5 \cdot 10^{-5}$.

В частности, оценка качества голосового сигнала определяется с помощью известной технологии, средней экспертной оценки MOS (*Mean*

Opinion Score). Этот субъективный подход определен в рекомендации Р.800.1 МСЭ-Т.

Следующая группа критериев представляет собой ряд прогнозируемых на ближайшее время и длительную перспективу величин. Исходные данные, которые должны быть подготовлены для проектирования сети МСС устойчивой к РДВ, должны включать следующие компоненты:

- топографический план (цифровая карта) участка проектируемой сети МСС, содержащий информацию обо всех существующих элементах сетей связи, а также сторонних инженерных сооружений, влияющих на факторы проектирования и строительства сети МСС;

- дополнительную информацию к топографическому плану, которая существенна с точки зрения проектирования сети МСС, районы новой застройки, естественные препятствия для прокладки кабельной канализации, установки вышек беспроводных систем связи и т. п.;

- характеристику существующей кабельной канализации, коллекторных систем, линий ВЛС, вышек беспроводных систем связи, типы и состояние эксплуатируемых кабелей связи и т. д.;

- требования к размещению новых сетевых элементов МСС и пропускной способности участков сети МСС;

- прогноз (краткосрочный и долгосрочный) эволюции проектируемой сети МСС устойчивой к РДВ, возможные варианты масштабирования;

- перечень предпочтительных типов телекоммуникационного оборудования, программного обеспечения для развития проектируемой сети;

- финансовые и иные ограничения, которые не могут быть строго формализованы;

- места размещения узлов связи, концентраторов, маршрутизаторов, коммутаторов;

- выбор топологий проектируемой устойчивой сети МСС должен отвечать нормам на резервирование каналов передачи данных, систем связи, систем электропитания и т. д. по заранее определенным алгоритмам;

- должны быть определены политики безопасности для проектируемой МСС, действия эксплуатационных структур оператора связи в случае наступления инцидента РДВ;

- необходимо определить на стадии проектирования применяемые средства криптографической защиты информации СКЗИ (сертифицирован-

ные для использования на сетях связи общего пользования (ССОП)), согласованные с заинтересованными ведомствами;

– прочие слабо формализуемые факторы.

Требования к размещению нового сетевого оборудования определяются на основе статистических данных, социологических опросов на предоставление определенного вида телекоммуникационных услуг.

Для защищенных сетей перечень предпочтительных типов оборудования определяется в первую очередь рекомендациями федеральной службы технического экспортного контроля РФ (ФСТЭК РФ), ФСБ РФ, услугами, которые будут предоставляться проектируемой сетью МСС, а также с учетом финансовых возможностей оператора связи.

Применение унифицированного оборудования одного производителя позволит снизить затраты на службы, системы технической эксплуатации, повысить уровень гомогенности применяемого оборудования в части активной, а также в части пассивной составляющих проектируемой сети МСС устойчивой к РДВ. В отдельных случаях проектирование устойчивых сетей МСС регламентируется руководящими документами государств, например, в части строительства сетей специального назначения. В этой ситуации возможность выбора поставщиков активного сетевого оборудования и программного обеспечения может вообще отсутствовать (определяться спецслужбами государств).

Этап II

Практический интерес к краткосрочному и долгосрочному прогнозу основных характеристик проектируемой сети МСС обусловлен тем, что возможность реализации многих телекоммуникационных услуг в будущем будет определяться уровнем развития сетей абонентского доступа, а также мобильными технологиями.

Рост пользователей широкополосного доступа к сетям передачи данных, сетей передачи потокового видео (*Smart – TV* и т. п.) и других новых телекоммуникационных услуг потребуют расширения пропускной способности сетей доступа МСС.

Это обстоятельство, в свою очередь, стимулирует разработку метода прогнозирования пропускной способности проектируемых сетей МСС на несколько лет вперед. В этом случае, устойчивый рост широкополосных

услуг потребует весьма существенного повышения пропускной способности сетей доступа сети МСС. Это утверждение можно проиллюстрировать следующими цифрами:

- крупная цифровая коммутационная станция, имеющая емкость 60 тысяч номеров, обрабатывает нагрузку порядка 6 000 Эрл;
- суммарная емкость всех исходящих и входящих пучков соединительных линий (СЛ) не превысит 10 000 основных цифровых каналов (ОЦК);
- такая емкость пучков СЛ эквивалентна использованию, например, пяти цифровых систем передачи (ЦСП) типа системы *PDH* ИКМ-1920 или мультиплексору технологии *SDH* уровня *STM-4* с пропускной способностью 140–155 Мбит/с каждая;
- пропускная способность одного стыка пользователь – сеть в широкополосной сети передачи данных составляет 155–1 024 Мбит/с [1, 2, 11, 12, 16];
- введение, например, пяти таких стыков пользователь сеть требует как минимум увеличения пропускной способности сети доступа в десять раз.

Этот пример показывает актуальность прогнозирования, времени начала эксплуатации широкополосной сети передачи данных, численности ее абонентов и динамики их роста.

Повышается важность градостроительных факторов в мегаполисах для возможности строительства вышек (мачт) базовых станций. Актуальным является вопрос проектирования в крупных населенных пунктах сетей класса *MMDS/LMDS* (*multichannel/local multipoint distribution service*) интегрированных в сеть МСС мегаполиса. Рост пакетного трафика в сетях мобильных операторов вызывает рост трафика от подсистем базовых станций к узлам передачи данных мобильных операторов, что в свою очередь увеличивает нагрузку на центры обработки пакетных данных, находящихся в ядре транспортной сети операторов высших иерархий.

Этап III

Декомпозиция задач, состоящая в постановке вопросов по транспортному сегменту МСС и сетям абонентского доступа, должна рассматриваться в контексте проблем проектирования сети МСС устойчивой к РДВ как удобный итеративный инструмент, позволяющий эффективно применять известные математические аппараты для моделирования устойчивых сетей МСС.

Формирование таких требований, как пропускная способность транспортной сети МСС, наличие двух или более независимых путей передачи информации между сетевыми узлами, коэффициент готовности сети, допустимое время восстановления и т. п., как правило, осуществляется уровнем сетей абонентского доступа (плоскости управления). Очевидно, что сегменты транспортной сети МСС должны поддерживать заданные требования по переносу информации между сетевыми узлами сетей абонентского доступа (плоскость пользователя).

С другой стороны, современные транспортные сети имеют специфическую топологию, собственные принципы управления своими ресурсами и ряд других оригинальных характеристик. В идеальном варианте системы управления первичной сетью в случае проявления РДВ должны иметь возможность динамически перестраивать топологию транспортного сегмента сети МСС [23, 24, 25].

Очевидно, эти обстоятельства стимулируют анализ сегментов транспортной сети МСС устойчивых к РДВ как самостоятельного объекта.

Декомпозиция задач в узком смысле может рассматриваться как отношение элементов проектируемой сети МСС устойчивой к РДВ как к сегментам транспортной сети МСС, так и к сетям абонентского доступа МСС. Эти задачи хорошо решаются с помощью применения аппарата систем таксономий и онтологий проектируемой и существующей сети МСС.

Согласно определениям, введенным ранее, к сегментам транспортной сети будут относиться все элементы линейно-кабельных сооружений, антенно-мачтовые сооружения, другие инженерные сооружения, имеющие отношение к инфраструктуре проектируемой транспортной сети МСС. Элементами сетей абонентского доступа МСС являются все средства распределения, хранения, преобразования циркулируемой информации в проектируемой сети МСС.

Этап IV

На этапе формирования исходных данных может быть разработано несколько возможных сценариев по созданию или развитию сети МСС устойчивой к РДВ. Целесообразно выделить по крайней мере три сценария, подлежащих детальному анализу.

Первый сценарий должен быть основан на оптимизации стоимости проектируемой сети МСС на ближайшее время ее функционирования.

Четкое понимание процессов конвергенции различных технологий в конечном итоге приведет к унификации определенных решений, как правило, ограниченных возможностью бюджета оператора связи. Исходя из ожидаемых затрат, этот сценарий практически всегда будет определять минимизацию затрат на реализацию проектируемой устойчивой сети МСС. Недостаток финансирования зачастую приводит к «бюджетным» решениям в части повышения устойчивости проектируемой сети МСС, а значит и уменьшения потенциальной возможности такой сети противостоять РДВ.

Второй сценарий должен быть основан на оптимизации стоимости проектируемой сети МСС, на этапе внедрения определенных решений по введению избыточности на проектируемой сети, с учетом повышения факторов ее устойчивости к РДВ. В этом случае необходимо учитывать все вехи жизненных циклов проектируемой сети МСС.

Суммарные затраты должны быть выше по сравнению с аналогичной величиной, предполагаемой для первого сценария.

Третий сценарий должен быть основан на компромиссах возможных решений между вариантами, изложенными выше. Одним из решений может быть системный подход к планированию такого рода сети, так называемый модульный подход, позволяющий внедрять решения по повышению устойчивости сети МСС поэтапно. Важным моментом в планировании такого рода сетей является четкое понимание возможных угроз и существующих уязвимостей в системах связи, используемых для построения сети МСС устойчивой к различным РДВ.

Этап V

Анализ возможных сценариев с учетом финансовых, технических и иных ограничений является тем этапом проектирования устойчивой сети МСС, когда могут быть в полной мере учтены все объективно существующие ограничения.

На этом этапе в полной мере работают экспертные оценки, как правило, проектировщик оптимизирует дальнейшие решения за счет отказа от тех сценариев, которые не могут быть реализованы по объективным причинам.

Выполнение этого этапа проектирования сети МСС устойчивой к РДВ целесообразно осуществлять совместно с лицами, принимающими реше-

ния по развитию данной сети связи, инвесторами, будущими эксплуатантами.

Этап VI

После решения текущих задач, связанных с получением приемлемых решений, необходима соответствующая интерпретация полученных результатов.

Использование ручных и особенно автоматизированных методов проектирования сетей связи зачастую может приводить к результатам, которые неприемлемы для практики. Подобные ситуации возникают либо из-за ошибок в исходных данных, либо на том этапе, когда математические методы или программное обеспечение еще недостаточно отработаны. На этом этапе важны системы, способные эффективно моделировать сети МСС, учитывая большие признаковые пространства состояний, требований и ограничений.

Очевидно, что задача проектировщика заключается в поиске и устранении ошибок в исходных данных, большой проблемой является отсутствие онтологий по определенным видам РДВ, что существенно осложняет вопрос проектирования устойчивой МСС с необходимыми параметрами устойчивости. В любом случае процесс поиска приемлемых решений является итеративным. На данном этапе развития методик проектирования существует достаточно много специализированного программного обеспечения, позволяющего моделировать, проектировать и оптимизировать сети связи в широком смысле (программные пакеты *OPNET*, *OMNET*, *NS-3*, *Boson Net Sim*, *Cisco Packet tracer*, *GNS3* и др.).

Этап VII

Этап важен в части принятия технологических и организационных решений о применении тех или иных телекоммуникационных технологий на проектируемой сети МСС. Проектировщик совместно с эксплуатантами проектируемой сети связи определяет возможные уязвимости проектируемой сети связи.

Очевидно, что необходимо адекватное выстраивание политик безопасности для проектируемой сети МСС с учетом известных уязвимостей и возможных угроз РДВ. Применение известных методик не всегда обеспечивает необходимый уровень устойчивости сети МСС к РДВ.

В конечном итоге должен выстроиться жизненный цикл устойчивой сети связи;

– возможные РДВ-уязвимости сети МСС – методы защиты структуры и информации в проектируемой сети МСС – реакция сети МСС на РДВ – методы восстановления полной работоспособности сегментов, сетевых элементов сети МСС.

2.2. Разработка алгоритмов методики проектирования мультисервисной сети связи устойчивой к разрушающим деструктивным воздействиям

Исходя из парадигмы проектирования МСС устойчивых к РДВ, разработаны два алгоритма, позволяющие создать перспективное программное обеспечение, предназначенное для проектирования сетей МСС, работающих в условиях РДВ.

Исходными данными при проектировании являются:

- 1) количество потребителей услуг МСС;
- 2) набор и тип телекоммуникационных услуг, соответствующих потребителям;
- 3) территория, охватываемая сетью МСС (топооснова);
- 4) набор и типы систем связи, предполагаемых для создания сети МСС;
- 5) типы нарушителей ИБ;
- 6) виды актуальных угроз на сеть МСС;
- 7) онтологии уязвимостей программно-аппаратного обеспечения предполагаемых систем связи;
- 8) риски, связанные с нарушением режима ИБ сети МСС.

Далее приведем укрупненный алгоритм $D11$, позволяющий проектировать сети МСС устойчивые к РДВ с ограничениями.

Шаг 1. Формирование структуры абонентов сети МСС с учетом типа предполагаемых услуг, $U_i[n...m]G_{L1}$, теоретически количество пользователей ничем не ограничено либо ограничено параметрами уровня G_{L5} .

Шаг 2. Определение границ предоставления услуг сети МСС, ввод данных о местоположении пользователей на предполагаемой территории обслуживания сети МСС, вида $U_i[n...m]G_{L8}$.

Шаг 3. Формирование структуры услуг МСС, ввод данных о структуре и типе услуг на сети МСС. Вывод промежуточных результатов по границам районов оказания услуг и необходимым потребностям в i -х услугах. Если результаты по услугам меньше требуемых, то переход на Шаг 1.

Шаг 4. Формирование требований к заданному уровню измерений информационной безопасности (ИБ), целостности, доступности, структурной надежности, живучести элементов сети МСС (программного обеспечения, коммутационных узлов, линейных сооружений).

Шаг 5. Формирование профиля атаки с учетом модели нарушителя, модели угроз на сегменты сети МСС, с использованием баз CVSS, ФСТЭК РФ.

Шаг 6. Задание узловой основы для транспортного сегмента сети МСС с учетом уровней G_{L1}, G_{L3}, G_{L8} .

Шаг 7. Решение о выборе системы связи с учетом «профиля атаки» на основании решений, принятых на уровнях $G_{L2}, G_{L4}, G_{L5}, G_{L6}$.

Шаг 8. Ранжирование критически значимых элементов сети МСС согласно уровням модели G -Net, ввод данных о критически важных элементах NE .

Шаг 9. Формирование структуры проектируемой сети МСС (кластера сети) с учетом выбранной системы связи и учета данных с уровнями $G_{L2}, G_{L4}, G_{L5}, G_{L6}$.

Шаг 10. Решение задач маршрутизации на сети МСС, ввод актуальных данных об известных угрозах на уровень маршрутизации (уровень G_{L5}).

Шаг 11. Расчет значений устойчивости проектируемой МСС с учетом Шага 7 (заданное параметров надежности, живучести элементов сети МСС).

Шаг 12. Определение показателей живучести элементов сети МСС с учетом выбранной системы связи, «профиля атаки», применяемых методов избыточности (резервирования элементов сети МСС), информации об уровнях $G_{L2}, G_{L4}, G_{L5}, G_{L6}$.

Шаг 13. Формирование структуры МСС с учетом выбранной системы связи, «профиля атаки», вывод результатов, если результат удовлетворяет требованиям, то – конец, если нет и условия не удовлетворяют Шагу 4 – переход на Шаг 5.

Приведем алгоритм выбора эффективных средств защиты информации (СЗИ, СКЗИ) для проектируемых сетей связи в широком смысле.

Шаг 1. Анализ проектируемой МСС по заданным параметрам (пропускная способность, система управления, система мониторинга инцидентов безопасности и т. д.).

Шаг 2. Определение критически важной информации, циркулирующей в МСС.

Шаг 3. Выбрать по итогам анализа: требуется ли создание защищенной сети МСС.

Шаг 4. Определение класса защищенности.

Шаг 5. Выявление (определение) актуальных угроз для проектируемой МСС.

Шаг 6. Разработка частных моделей нарушителя, частных моделей угроз.

Шаг 7. Формирование требований к средствам СЗИ, СКЗИ.

Шаг 8. Оценка возможности реализации требований по выбранным СЗИ.

Шаг 9. Анализ возможных уязвимостей сетевых элементов сети МСС.

Шаг 10. Выбор вариантов, сертифицированных средств СЗИ для проектируемой сети МСС.

Шаг 11. Выбор – необходимый комплекс СЗИ существует? Если да, то на Шаг 15, если нет, то на Шаг 12.

Шаг 12. Формирование перечня средств защиты информации (СЗИ) для включения в систему защиты сети МСС.

Шаг 13. Анализ эффективности выбранных средств СрСЗИ согласно выбранным критериям.

Шаг 14. Формирование / выбор оптимального состава СЗИ для комплекса мер защиты МСС по заданным критериям.

Шаг 15. Формирование комплекса защитных средств с выбранными СЗИ.

Шаг 16. Анализ эффективности выбранных СЗИ.

Шаг 17. Формирование выбранных СЗИ для дальнейших проектов по планированию защищенных сетей МСС.

Шаг 18. Выбор – значения показателей СЗС, СКЗИ удовлетворяют требованиям? Если да, то на Шаг 22, если нет, то на Шаг 19.

Шаг 19. Оптимизация СЗИ, СКЗИ для проектируемой МСС.

Шаг 20. Выбор – требования к СЗИ выполняются? Если да, то на Шаг 21, если нет, то на Шаг 10.

Шаг 21. Внедрение / тестирование СЗИ, СКЗИ на МСС.

Шаг 22. Техническая эксплуатация комплексов СЗИ, СКЗИ сети МСС.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Методические указания по дисциплине содержат в себе материалы, связанные с постановками и решениями задач на графовых и гиперсетевых структурах, позволяющих получать приближенные решения в части оптимизационных задач в процессе проектирования оптических мультисервисных сетей связи, также рассмотрены вопросы процесса проектирования указанных сетей. Данные методические указания ориентированы на специалистов в области телекоммуникаций и связи, а также специалистов по информационной безопасности телекоммуникационных сетей и средств передачи данных.

Данная работа рекомендована в качестве методических указаний для обучающихся по направлению подготовки 12.04.02 Оптотехника (уровень магистратуры).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. CCITT Manual "Local Network Planning" ITU-IT. – Geneva, 1979. – 246 p.
2. Cisco systems. Interworking technologies handbook, fourth edition. – Indianapolis : Cisco press, 2005. – 1020 p.
3. Fenton F. M., Sipes J. D. Architectural and Technological Trends in Access : An Overview // Bell Labs Technical Journal. – Summer 1996. – Vol. 1, № 1. – P. 3–10.
4. Hadden A. D. Personal Communications Networks: Practical Implementation. – Boston-London : Artech House, 1995. – 294 p.
5. Ishihara H. Plans for an Optical Access Network // NTT Review. – 1994. – Vol. 6. – No.4. – P. 11–18.
6. ITU-TS. Handbook on Transmission Planning. – Geneva, 1993 – 74 p.
7. IEEE 802.11., IEEE 802.a. Рекомендации IEEE. – Geneva, 1998. – 85 с.
8. Lee W. C. Y., Cellular has a Future in PCS // TE&M. – February 15/1992. – P. 41–43.
9. Shinohara H., Yamashima I., Miki T. Evolution Scenario for the Integrated Fibre-Optic Subscriber System // Telecommunication Journal. – 1993. – № 3. – P. 109–118.
10. Sakakibara I., Higashiyama F. Future Development of Optical Subscriber Network // NTT Review. – 1991. – Vol. 3, № 6. – P. 21–26.
11. Sokolov N. Digital Cross Connects Application for the Future Subscriber Network // ITC Specialists Seminar. – Cracow, 1991, April 22–27. – Vol. 2. – P. 215–218.
12. Величко В. В., Попков Г. В., Попков В. К. Модели и методы повышения живучести современных систем связи. – М. : Горячая линия Телеком, 2014. – 269 с.
13. Бесслер Р., Дойч А. Проектирование сетей связи. – М. : Радио и связь, 1988. – 272 с.

14. Бронштейн И. Н., Семендяев К. А. Справочник по математике. – М. : Наука, 1967. – 608 с.
15. Бройдо В. Л. Вычислительные системы, сети и телекоммуникации. – 2-е изд. – СПб : МГТУ, 2004. – 703 с.
16. Bell Atlantic Trials NT ADSL // Communications International. – May 1993. – P. 36.
17. Концепция развития связи Российской Федерации / В. Б. Булгак, Л. Е. Варакин, Ю. К. Ивашкевич, В. Д. Москвитин, В. Г. Осипов. – М. : Радио и связь, 1995. – 224 с.
18. Варакин Л. Е. Экономика, связь, развитие общества: макроэкономические закономерности развития связи. – Электросвязь, 1994. – № 1. – С. 2–10.
19. Величко В. В. Передача данных в сетях мобильной связи третьего поколения : монография. – М. : Радио и связь, 2005. – 325 с.
20. Величко В. В., Шахов В. В. Оценка живучести систем мобильной радиосвязи в условиях природных и техногенных катастроф // Электросвязь. – 2005. – С. 55–61.
21. Широкополосные беспроводные сети передачи информации / В. М. Вишневский, А. И. Ляхов, С. Л. Портной, И. В. Шахнович. – М. : Техносфера, 2005. – 592 с.
22. Вишневский В. М., Портной С. Л., Шахнович И. В. Энциклопедия WiMAX. Путь к 4G. – М. : Техносфера, 2010. – 472 с.
23. Галкин В. А., Григорьев Ю. А. Телекоммуникации и сети. – М. : МГТУ, 2003. – 608 с., ил.
24. Гольдштейн А. Б., Гольдштейн Б. С. Softswitch. – СПб. : БХВ-Петербург, 2006. – 368 с., ил.
25. Контроль показателей качества обслуживания с учетом перехода к сети связи следующего поколения / Б. С. Гольдштейн, М. А. Маршак, Е. Д. Мишин, Н. А. Соколов, А. В. Тум. – М. : Техника связи, 2009. – № 1. – 275 с.
26. Гольдштейн Б. С., Соколов Н. А., Яновский Г. Г. Сети связи : учеб. для вузов. – СПб. : БХВ-Петербург, 2010. – 400 с., ил.

27. ГОСТ Р50889–96. Линейные сооружения городских и сельских и комбинированных телефонных сетей. Термины и определения. – М : Госстандарт России, 1996. – 22 с.

28. Зыков А. А. Гиперграфы // Успехи математических наук. – Вып. 6. – 1974. – С. 89–154.

29. Зыков А. А. Основы теории графов. – М. : Наука, 1987. – 281 с.

30. Исследования по прикладной теории графов / Отв. ред. А. С. Алексеев. – Новосибирск : Наука, 1986. – С. 29–32.

31. Исследование операций. Т. 2. Модели и применения / Пер. с англ. ; под ред. Дж. Моудера и С. Элмаграби. – М. : Мир, 1981. – 677 с.

ВОПРОСЫ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К ЭКЗАМЕНУ

1. Основные определения теории графов. Инцидентность, смежность.
2. Типы, классы и части графов.
3. Представления графов. Геометрическое представление. Теоретико-множественное представление.
4. Представления графов. Матричные представления.
5. Операции над графами.
6. Маршруты, цепи, циклы, пути.
7. Поиск кратчайших цепей. Алгоритм Дейкстры поиска дерева кратчайших путей.
8. Эйлеровы и Гамильтоновы циклы.
9. Задача о коммивояжере.
10. Расстояния в графе. Метрические характеристики графов.
11. Элементарные свойства и определения деревьев.
12. Минимальное остовное дерево (каркас) графа. Алгоритмы Прима и Краскала.
13. Плоские и планарные графы. Грани плоского графа. Формула Эйлера.
14. Двойственность и планарность.
15. Понятие о сети связи. Классификация сетей связи.
16. Способы построения сетей связи. Топологии локальных сетей.
17. Эталонная модель взаимодействия открытых систем ISO/OSI.
18. Определение информационной безопасности в широком смысле.
19. Понятие теории массового обслуживания.
20. Понятие системы, подсистемы, объекта системы, элемента системы. Признаки системы.
21. Классификация систем. Примеры.
22. Теория моделирования. Взаимосвязь моделирования и теории подобия.
23. Понятие модели системы. Свойства модели.

24. Понятие сложной системы, ее особенности. Иерархия систем.
25. Метод статистического моделирования. Достоинства и недостатки.
26. Основные этапы моделирования больших систем.
27. Алгоритм Флойда.
28. Определение теории массового обслуживания, основная классификация.
29. Алгоритм В-медианы графа.
30. Этапы проектирования автоматизированных систем (объектов информатизации).
31. Дать определение защищенным телекоммуникационным системам.
32. Оптимизационные задачи на графах и сетях.

Учебное издание

Попков Глеб Владимирович

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗАЩИЩЕННЫХ
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ
ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ.
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗАЩИЩЕННЫХ
ОПТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ СВЯЗИ**

Редактор *Ю. С. Мерзликина*

Компьютерная верстка *О. И. Голиков*

Изд. лиц. ЛР № 020461 от 04.03.1997.

Подписано в печать 29.12.2021. Формат 60 × 84 1/16.

Усл. печ. л. 2,49. Тираж 29 экз. Заказ 189.

Гигиеническое заключение

№ 54.НК.05.953.П.000147.12.02. от 10.12.2002.

Редакционно-издательский отдел СГУГиТ
630108, Новосибирск, ул. Плахотного, 10.

Отпечатано в картопечатной лаборатории СГУГиТ
630108, Новосибирск, ул. Плахотного, 8.