

Для произвольного значения  $\ell$  будут справедливы такие соотношения:

$$\varphi_1^{h_1, h_2, \ell, a}(0,1) = \varphi_1^{h_1, h_2, \ell, a}(1,1) = \dots = \varphi_1^{h_1, h_2, \ell, a}(\ell,1) = 1; \\ \varphi_1^{h_1, h_2, \ell, a}(\ell+1,1) = 2. \quad (13)$$

Приведенная схема комбинированного алгоритма, правила выделения нового интервала неопределенности и выбора стратегии поиска совместно с соотношениями (12), (13) позволяют методом индукции построить последовательный помехоустойчивый алгоритм поиска точки с характерным признаком для любых значений параметров виртуальной последовательности и, тем самым, задать функционирование конечного автомата с псевдослучайными переходами.

**Литература:** 1. *Спесивцев А.В., Вегнер В.А. и др.* Защита информации в персональных ЭВМ. М.: Радио и связь, 1992. 191 с. 2. *Ecker A.* Abstrakte kryptographische Maschinen // *Angew. Informatik.* 1975. Vol.17, Nr 5. S.201-205. 3. *Алипов Н.В.* Дискретные автоматы с псевдослучайными переходами и подстановочные методы защиты информации на их основе // *Радиоэлектроника и информатика.* 2001. № 4. С.95-98. 4. *Алипов Н.В.* Разработка теории и методов решения задач помехоустой-

чивого поиска и преобразования информации // Автореф. дис. на соиск. уч. степени докт. техн. наук. Харьков: ХИРЭ, 1986. 50 с. 5. *Алипов Н. В., Ребезюк Л.Н., Охалкин А.А.* Защита информации в дискретном канале на основе устойчивых к периодическим помехам алгоритмов поиска точки с характерным признаком / *АСУ и приборы автоматизации.* 1999. Вып.109. С.108-115.

Поступила в редколлегию 20.01.2003

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Петров Э.Г.

**Алипов Николай Васильевич**, д-р техн. наук, профессор кафедры электронно-вычислительных машин ХНУРЭ. Научные интересы: алгоритмизация задач автоматизированного проектирования электронно-вычислительных средств, защита информации. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 70-21-354.

**Алипов Илья Николаевич**, канд. техн. наук. Научные интересы: защита информации. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 70-21-354.

**Ребезюк Леонид Николаевич**, канд. техн. наук, доцент кафедры системотехники ХНУРЭ. Научные интересы: алгоритмизация задач автоматизированного проектирования электронно-вычислительных средств, защита информации. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 70-21-306.

УДК 621.391 + 519.81

## МНОГОФАКТОРНОЕ ОЦЕНИВАНИЕ ПРОВОДНОЙ СЕТИ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ И АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЕЁ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

*ГРЕБЕННИК И.В., ХАБАРОВ А.Ю.*

Проводится анализ характеристик проводной сети электросвязи, которые могут быть использованы для оценки ее технического состояния и качества предоставляемых клиентам услуг. Формулируются критерии оценки, предлагаются способы их свертки для получения интегрального показателя эффективности использования всей сети или ее фрагмента.

**Введение.** Проводная сеть электросвязи является сложной технической системой, бесперебойное и качественное функционирование которой обеспечивается постоянным решением большого набора задач разного уровня сложности и компетенции лиц, принимающих конкретные решения (ЛПР). Одной из самых сложных и практически нереализуемых без применения ЭВМ задач является комплексный анализ качества сети и предоставляемых услуг, дающий возможность мониторинга ее состояния и выявления сильных и слабых сторон технического оснащения предприятия электросвязи. Благодаря такому анализу можно сделать выводы об эффективности использования того или иного

оборудования и, главное, принять научно обоснованное управленческое решение по развитию сети, устранению «узких» мест. Естественно, такая задача не решается ежедневно. В большинстве случаев не требуется детализация до отдельно взятой линии, но сводная укрупненная информация по предприятию необходима для руководителей среднего и высшего звена.

Ранее уже предпринимались попытки оценить эффективность сети с точки зрения качества ее структуры [1-3] или функционирования отдельных ее элементов [4, 5], однако решение задачи в предлагаемой постановке авторам не известно.

**Постановка задачи.** Общую задачу многофакторного оценивания проводной сети электросвязи и анализа эффективности ее использования сформулируем следующим образом. Исходя из текущего состояния сети, дать количественную оценку эффективности ее функционирования и качества предоставляемых услуг для всей сети или ее фрагмента, используя указанные ниже критерии оценки.

**Формализация и решение.** Один из конструктивных методов оценивания основывается на теории полезности [6]. При этом задача оценки качества сети формально сводится к применению того или иного вида обобщенного критерия для некоторого набора частных критериев. Наиболее широко известны аддитивная и мультипликативная формы:

$$P(x) = \sum_{i=1}^n a_i k_i(x) \quad \text{и} \quad P(x) = \prod_{i=1}^n a_i k_i(x), \\ 0 \leq a_i \leq 1, \quad \sum a_i = 1,$$

где  $n$  — количество частных критериев;  $a_i$  — коэффициенты важности частных критериев;  $k_i$  — частные критерии оценки.

Коэффициенты важности частных критериев определяются ЛПР, исходя из:

- 1) традиций анализа проводных сетей электросвязи;
- 2) выбранного фрагмента сети;
- 3) сложившейся обстановки в предприятии электросвязи и вне его (аварии в сети, стихийные бедствия, действия конкурентов и др.).

Ввиду того, что все частные критерии обычно имеют разную размерность, интервалы и шкалы измерения, они должны быть нормализованы и приведены к изоморфному виду. В зависимости от природы частных критериев функции их полезности могут иметь разный вид, но при этом они должны удовлетворять требованиям единого интервала изменения  $[0;1]$  и безразмерности.

Для оценивания должна применяться вся группа частных критериев или ее подмножество, выбранное ЛПР или являющееся объективным отражением наличия информации для оценивания. Важно иметь в виду, что при сравнении обязательно должны быть использованы одинаковые формы обобщенного критерия оценки, наборы частных критериев и коэффициенты их важности, в противном случае оценки будут несравнимы. При отсутствии информации для формирования некоторого критерия оценки следует, руководствуясь здравым смыслом, принять пессимистическое значение критерия (ноль) или некоторое статистически оправданное. Но польза от такой оценки снижается ввиду ее недостоверности.

Рассмотрим математическую модель объекта. Традиционным способом представления телефонной сети является граф, задаваемый множествами вершин и ребер. Исходя из функциональной организации сети электросвязи, произведем ее декомпозицию на три части, которые опишем с помощью трех графов [7]:

— граф капитальных сооружений  $G_1 = (U_1, R_1)$ . Вершины  $u \in U_1$  — капитальные сооружения. Ребра  $r \in R_1$  — коммуникации, их связывающие;

— кабельный граф  $G_2 = (U_2, R_2)$ . Вершины  $u \in U_2$  — объекты сети, к которым может быть подведен кабель. Ребра  $r \in R_2$  — участки кабелей и других физических сред передачи сигнала;

— сигнальный граф  $G_3 = (U_3, R_3)$ . Вершины  $u \in U_3$  — контакты объектов сети. Ребра  $r \in R_3$  — сигнальные связи между контактами.

Модель всей проводной сети электросвязи можно представить в виде объединения указанных графов  $G = G_1 \cup G_2 \cup G_3$ . Точкам сети связи соответствуют вершины графа  $G_i$ , а соединению точек —

простая цепь в  $G_i$ , соединяющая две заданные вершины.

При эксплуатации проводной сети электросвязи возникает задача ее оценивания различной глубины детализации. Исходя из теории электросвязи и опыта практической деятельности, можно выделить некоторый набор критериев, определяющих эффективность использования сети [1, 2, 4, 5]. По области применимости они подразделяются на группы:

технические — отражают техническое состояние сети и ее элементов;

экономические — характеризуют статьи доходов и расходов, их соотношение и влияние на техническое состояние сети;

эксплуатационные — определяют качество обслуживания абонентов.

Возможны и другие способы группировки критериев, которые ЛПР может использовать для анализа сети или ее фрагмента, например:

по типам оборудования (станционное, оконечное, транзитное, преобразователи, концентраторы и др.);

по категориям и видам сооружений (канализация, кабели, коммутационные устройства и др.);

по назначению (магистральные, межстанционные, распределительные, специальные и др.).

Кроме того, очень показательной является иерархия оценок, построенная следующим образом:

- вся сеть;
- районы подключения АТС;
- шкафные районы;
- отдельные абонентские линии.

Для оценки качества всей сети или ее фрагмента используют следующий набор критериев [1, 2, 4, 5]:

1) общая длина линий как по видам (кабельные, воздушные, радиорелейные), так и по используемому на них оборудованию. Характеризует акценты в развитии сети;

2) общая длина каналов как по отдельным типам, так и приведенная к стандартному телефонному каналу тональной частоты. Характеризует особенности сети и склонность к использованию каналообразующей аппаратуры;

3) реальная мощность сети по пропускной способности. Характеризует способность сети выполнять свое основное назначение — доставку сообщений на расстояние;

4) фактическая загрузка сети. Определяет реальное использование мощности сети;

5) среднее время занятия канала за определенный отрезок времени. Характеризует загрузку сети и алгоритм управления ею;

6) среднее число часо-занятий по типам установок. Характеризует степень использования абонентских линий и аппаратуры, обеспечивающей их работу;

7) телефонная плотность (число телефонов по отношению к числу потенциальных абонентов) по районам, обслуживаемым предприятием электро-связи. Позволяет оценить степень обеспечения услугами связи и необходимость развития сети. Наличие нетелефонизированных многоэтажных домов и кварталов свидетельствует о скрытых резервах развития;

8) доля номерных абонентских и таксофонных установок, территориально находящихся вне зоны обслуживания станции, к которой они приписаны. Установка должна иметь номер телефона АТС, обслуживающей заданный район, иначе увеличивается длина абонентской линии, что ведет к снижению качества связи и необоснованному расходованию кабельной линейной емкости;

9) доля установок прочих типов, территориально находящихся вне зоны обслуживания станции, к которой они приписаны;

10) средняя загрузка распределительного устройства. Представляет собой долю занятых контактов устройств. При чрезмерно развитой распределительной сети ухудшается качество связи из-за несогласованности дифференциальной системы телефонного аппарата и входного сопротивления линии;

11) соотношение количества распределительных и магистральных контакторов. Рассчитывается отдельно по зонам обслуживания каждой АТС во избежание компенсации недостатков разных зон. Чрезмерное увеличение распределительной емкости при множественном параллельном включении оконечных устройств указывает на нерациональное расходование кабеля;

12) среднее количество кроссировок в пересчете на одну линию. Чем меньше эта величина, тем проще конфигурация сети. При прочих равных условиях загруженность линейного электромонтера сильно зависит от этой величины. При расчете штата и закреплении участков для эксплуатации дает возможность учета реальных трудозатрат;

13) состояние кабельной емкости. Определяется отдельно для магистральных, межшкафных, распределительных и многожильных межстанционных кабелей по единой методике:

— доля занятой емкости в общей емкости кабелей;

— доля резервной емкости в общей емкости кабелей. Технологический резерв предназначен для ремонта неисправных линий путем замены поврежденных участков на резервные. При субнормальной величине резерва и наличии сверхнормативного количества поврежденных пар требуется принять решение о ремонте. Резерв развития предназначен для придания сети гибкости при новых установках или перестановках телефонов. При субнормальной величине резерва требуется прини-

мать решение о прокладке нового кабеля, иначе развитие сети в данном направлении остановится;

— доля неисправной емкости в общей емкости кабелей;

— доля емкости с электрическими характеристиками хуже нормальных.

С помощью этих критериев можно определить порядок профилактических ремонтов и плановых замен кабелей;

14) соотношение резерва линейной и станционной емкости. Рассчитывается отдельно для каждой АТС во избежание компенсации недостатков разных станций. Позволяет определить приоритетные направления вложения капитала (кабельная сеть или станционное оборудование), поскольку дисбаланс означает недополучение прибыли от простоя определенных элементов сети;

15) коэффициент улучшаемости линий в сети. Характеризует состояние отдельных линий и возможность улучшения их качества за счет более правильного подключения установок. Может быть определен только после решения задачи оценивания каждой линии сети. Повышения качества связи чаще всего можно достигнуть простым сокращением длины абонентской линии, организовав иную трассу прохождения сигнала. За счет этого возможно высвобождение дополнительной кабельной емкости;

16) частота повреждений отдельных фрагментов кабеля (или пар внутри него). Указывает на плохую защищенность этого кабеля от внешних воздействий вследствие неправильной его прокладки (защиты) или физической изношенности. Анализ таких данных позволяет вовремя принять решение о ремонте или замене кабеля;

17) частота станционных повреждений по видам. Позволяет оценить степень изношенности оборудования для принятия решения о профилактическом ремонте или замене;

18) степень физического износа оборудования. Любой элемент сети электросвязи имеет свой срок службы, по истечению которого его следует заменить вне зависимости от его дальнейшей работоспособности, иначе затраты на его неизбежные будущие ремонты превысят стоимость нового элемента. Оценка степени изношенности объектов сети и статистики их ремонтов позволяет принять решение о целесообразности такой замены. Применительно ко всей сети речь может идти о реконструкции;

19) степень морального старения оборудования. Вне зависимости от физического состояния аппаратура морально стареет, особенно это характерно для высокотехнологичного станционного оборудования;

20) стоимость эксплуатации сети за период;

21) соотношение стоимости эксплуатации сети за период и стоимости основных фондов;

22) количество отказов на 1000 попыток соединения. Характеризует ошибки набора номера телефона из-за невнимательности абонента или технической неисправности в номеронабирателе аппарата, канале, оборудовании АТС;

23) количество повторных вызовов на 1000 соединений. Характеризует степень занятости вызываемых абонентов и качество связи с ними (шумы на линии, самопроизвольное прерывание соединения);

24) количество соединений с неполной занятостью на 1000 соединений;

25) доля кабелей под избыточным воздушным давлением среди тех, которые должны под ним содержаться. Характеризует степень риска повреждения кабеля и нарушения связи по причине проникновения в него влаги. Позволяет оценить необходимость проведения дополнительных защитных мероприятий;

26) доля кабелей, защищенных от внешних воздействий (молния, электромагнитные помехи, коррозия и др.) среди тех, которые должны быть защищены. Характеризует степень риска повреждения кабеля и нарушения связи по причине неуправляемых природных и техногенных факторов. Позволяет оценить необходимость проведения дополнительных защитных мероприятий.

Приведенный набор критериев при необходимости может быть расширен [2, 5]. Здесь указаны лишь наиболее распространенные в практической деятельности. Интегральные показатели надежности и живучести не рассматриваются, поскольку из-за большой неоднородности сети это нерационально [5].

Критерии оценки сети, сформулированные выше, описывают различные свойства системы, ее элементы и отношения, следовательно, имеют разную размерность, интервалы и шкалы измерения, т.е. несравнимы между собой. Традиционным способом преодоления этой трудности является использование теории полезности [6]. Формально представим критерии следующим образом:

– общая длина линий по видам задается вектором:

$L_{\text{лин вид}} = \{l_{\text{каб}}, l_{\text{возд}}, l_{\text{ррл}}\}$ , где  $l_{\text{каб}}$  – длина кабельных линий,  $l_{\text{возд}}$  – длина воздушных линий,  $l_{\text{ррл}}$  – длина радиорелейных линий.

Поскольку требуется учесть разные виды линий, введем обобщенную оценку длины линий по видам:  $K_{\text{лин вид}} = a_1 p_1(l_{\text{каб}}) + a_2 p_2(l_{\text{возд}}) + a_3 p_3(l_{\text{ррл}})$ ,  $\sum_{i=1}^3 a_i = 1$ , где  $a_i$  – коэффициент важности для сети линий  $i$ -го вида. Рекомендуемые величины:

$$a_1 = \begin{cases} 0.80 & \text{для ГТС} \\ 0.35 & \text{для СТС} \end{cases}, \quad a_2 = \begin{cases} 0.05 & \text{для ГТС} \\ 0.60 & \text{для СТС} \end{cases},$$

$$a_3 = \begin{cases} 0.15 & \text{для ГТС} \\ 0.05 & \text{для СТС} \end{cases};$$

$$p_1(l_{\text{каб}}) = k_{\text{каб}} \frac{l_{\text{каб}}}{l_{\text{каб}} + l_{\text{возд}} + l_{\text{ррл}}},$$

$$p_2(l_{\text{возд}}) = k_{\text{возд}} \frac{l_{\text{возд}}}{l_{\text{каб}} + l_{\text{возд}} + l_{\text{ррл}}},$$

$p_3(l_{\text{ррл}}) = k_{\text{ррл}} \frac{l_{\text{ррл}}}{l_{\text{каб}} + l_{\text{возд}} + l_{\text{ррл}}}$  – соответствие норме доли линий конкретного вида в суммарной длине линий в сети;  $k_{\text{каб}}$ ,  $k_{\text{возд}}$ ,  $k_{\text{ррл}}$  – нормативная доля линий конкретного вида для исследуемой сети, причем  $k_{\text{каб}} + k_{\text{возд}} + k_{\text{ррл}} = 1$ ;

– общая длина линий по используемому на них оборудованию задается вектором:  $L_{\text{лин апп}} = \{l_i\}$ ,  $i = 1..n$ , где  $n$  – число видов аппаратуры.

Поскольку в сети используется много видов аппаратуры с разной степенью важности, введем обобщенную оценку длины линий по видам оборудова-

ния:  $K_{\text{лин апп}} = \sum_{i=1}^n a_i p(l_i)$ , где  $a_i$  – коэффициент

важности аппаратуры  $i$ -го вида;  $p(l_i) = \frac{l_i}{\sum_{j=1}^n l_j}$  – доля

линий с аппаратурой  $i$ -го вида в суммарной длине линий сети.

Общая длина каналов по типам задается вектором:

$L_{\text{кан}} = \{l_i\}$ ,  $i = 1, \dots, n$ , где  $n$  – число типов каналов.

Поскольку в сети используется много каналов разной длины, назначения, типа, введем обобщен-

ную оценку длины каналов:  $K_{\text{кан}} = \sum_{i=1}^n a_i p(l_i)$ , где  $a_i$

– коэффициент важности канала  $i$ -го типа для сети;

$p(l_i) = \frac{l_i}{\sum_{j=1}^n l_j}$  – доля каналов  $i$ -го типа в суммарной

длине каналов сети;  $L_{\text{кан ТЧ}}$  – общая длина каналов, приведенная к стандартному телефонному каналу тональной частоты.

Это критерий на максимум, который измеряется по количественной шкале в интервале  $[L_{\text{нх кан ТЧ}}; L_{\text{нл кан ТЧ}}]$ , поэтому требует нормирова-

ния:  $K_{\text{кан ТЧ}} = \frac{L_{\text{кан ТЧ}} - L_{\text{нх кан ТЧ}}}{L_{\text{нл кан ТЧ}} - L_{\text{нх кан ТЧ}}} = \frac{L_{\text{кан ТЧ}}}{L_{\text{нл кан ТЧ}}}$ ,

где  $L_{\text{нх кан ТЧ}} = 0$  – худший вариант, когда каналы отсутствуют,  $L_{\text{нл кан ТЧ}}$  – лучший вариант длины каналов, определяемый для сравниваемых фрагментов сети.

Реальная мощность сети по пропускной способности задается вектором:

$M = \{m_i\}$ ,  $i = 1..n$ , где  $n$  – число ребер  $r \in R_1$ ;  $m_i$  – пропускная способность  $i$ -го ребра при заданном качестве.

Поскольку в сети присутствует много элементов с разной пропускной способностью, введем обобщенную оценку мощности сети по пропускной

способности:  $K_{\text{мощ}} = \sum_{i=1}^n a_i p(m_i)$ , где  $a_i$  – доля

длины  $i$ -го ребра в суммарной длине ребер сети;

$$p(m_i) = \frac{m_i - m_{\text{нх}i}}{m_{\text{нл}i} - m_{\text{нх}i}} = \frac{m_i}{m_{\text{ном}i}}.$$

Здесь  $m_{\text{нх}i} = 0$  – худший вариант пропускной способности  $i$ -го ребра, когда оно не работает или не обеспечивает заданного качества связи;  $m_{\text{нл}i} = m_{\text{ном}i}$  – лучший вариант пропускной способности  $i$ -го ребра, когда оно работает в номинальном режиме с заданным качеством.

Фактическая загрузка сети за период  $\Delta t$  задается вектором:  $Z = \{z_i\}$ ,  $i = 1..n$ , где  $n$  – число ребер  $r \in R_1$ .

Поскольку в сети присутствует много элементов с разной загрузкой, введем обобщенную оценку

загрузки сети:  $K_{\text{загр} \phi} = \sum_{i=1}^n a_i p(z_i)$ , где  $a_i$  – доля длины  $i$ -го ребра в суммарной длине ребер сети;

$p(z_i) = \frac{z_i - z_{\text{нх}i}}{z_{\text{нл}i} - z_{\text{нх}i}} = \frac{z_i}{\Delta t}$ , где  $z_{\text{нх}i} = 0$  – худший вариант загрузки  $i$ -го ребра, когда оно совсем не загружено;  $z_{\text{нл}i} = \Delta t$  – лучший вариант загрузки  $i$ -го ребра, когда оно загружено постоянно.

Среднее время занятия канала за период  $\Delta t$  задается вектором:  $T_{\text{зан кан}} = \{t_i\}$ ,  $i = 1..n$ , где  $n$  – число каналов.

Поскольку в сети присутствует много каналов разной степени занятости и важности, введем обобщенную оценку их занятия:

$K_{\text{зан кан}} = \sum_{i=1}^n a_i p(t_i)$ , где  $p(t_i) = \frac{t_i - t_{\text{нх}i}}{t_{\text{нл}i} - t_{\text{нх}i}} = \frac{t_i}{\Delta t}$  –

доля времени занятия канала в общем времени его работы;  $a_i$  – коэффициент важности  $i$ -го канала;

$t_{\text{нх}i} = 0$  – худший вариант, когда  $i$ -й канал вообще не занимался;  $t_{\text{нл}i} = \Delta t$  – лучший вариант, когда  $i$ -й канал занят постоянно.

Среднее число часо-занятий за период  $\Delta t$  по видам нагрузки задается вектором:  $T_{\text{зан вид}} = \{t_i\}$ ,  $i = 1..n$ , где  $n$  – число видов нагрузки.

Поскольку в сети присутствуют разные виды нагрузки, интерес к которым при анализе сети неравнозначен, введем обобщенную оценку числа часо-

занятий по видам нагрузки:  $K_{\text{зан вид}} = \sum_{i=1}^n a_i p(t_i)$ ,

где  $p(t_i) = \frac{t_i - t_{\text{нх}i}}{t_{\text{нл}i} - t_{\text{нх}i}} = \frac{t_i}{\Delta t}$ ,  $a_i$  – доля нагрузок  $i$ -го вида в общей емкости сети;  $t_{\text{нх}i} = 0$  – худший вариант, когда нагрузки  $i$ -го вида не занимают линию;  $t_{\text{нл}i} = \Delta t$  – лучший вариант, когда нагрузки  $i$ -го вида занимают линию постоянно.

Телефонная плотность в населенном пункте:

$$K_{\text{плот}} = \frac{\sum_{i=1}^z (n_{\text{абон}i} + n_{\text{конк}i})}{\sum_{i=1}^z (n_{\text{абон}i} + n_{\text{конк}i} + n_{\text{потенц}i})},$$

где  $z$  – число строений, которые могут быть телефонизированы;  $n_{\text{абон}i}$  – число абонентов в  $i$ -м строении, обслуживаемых исследуемым предприятием электросвязи;  $n_{\text{конк}i}$  – число абонентов в  $i$ -м строении, обслуживаемых конкурентами;  $n_{\text{потенц}i}$  – число потенциальных абонентов в  $i$ -м строении.

Это критерий на максимум, который измеряется по количественной шкале в интервале  $[0; 1]$ , поэтому он не требует использования функции полезности для своего нормирования.

Доля установок в зоне обслуживания станций:

$$K_{\text{зон}} = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{N_i} x_{ij}}{\sum_{i=1}^m N_i},$$

где  $m$  – число станций;  $N_i$  – число

установок, приписанных к  $i$ -й станции,

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{установка } j \text{ АТС } i \text{ находится в ее зоне;} \\ 0 & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Это критерий на максимум, который измеряется по количественной шкале в интервале  $[0; 1]$ , поэтому он не требует использования функции полезности для своего нормирования.

Средняя загрузка распределительного устройства:

$$K_{\text{зру}} = \frac{\sum_{i=1}^{N_{\text{расп}}} n_{\text{зан}i}}{N_{\text{расп}}},$$

где  $N_{\text{расп}}$  – количество распре-

делительных устройств;  $n_i$  – общее число контактов (емкость)  $i$ -го устройства;  $n_{\text{зан}i}$  – число занятых контактов  $i$ -го устройства.

Это критерий на максимум, который измеряется по количественной шкале в интервале [0; 1], поэтому он не требует использования функции полезности для своего нормирования.

Соотношение числа распределений и магистралей задается вектором:  $D = \{d_k\}$ ,  $k=1..m$ , где  $m$  – число станций;

$$d_k = \frac{\sum_{i=1}^{N_{расп k}} n_{ik}}{\sum_{j=1}^{N_{маг k}} n_{jk}}, \text{ где } N_{расп k} \text{ – количество распределительных устройств, относящихся к } k\text{-й станции; } N_{маг k} \text{ – число магистральных устройств, относящихся к } k\text{-й станции; } n_{ik}, n_{jk} \text{ – общее количество контактов (емкость) соответствующего устройства-контактора.}$$

Поскольку соотношение числа распределений и магистралей определяется по каждой АТС сети отдельно, введем обобщенную оценку соотношения распределений и магистралей:

$$K_{p/m} = \sum_{k=1}^m a_k p_k(d_k), \quad p_k(d_k) = \begin{cases} 1, & \text{если } d_k \in [1; x] \\ d_k, & \text{если } d_k \in [0; 1) \\ \frac{x}{d_k}, & \text{если } d_k > x \end{cases};$$

здесь  $a_k$  – доля станционной номерной емкости  $k$ -й АТС во всей номерной емкости сети,  $x$  – нормативная величина соотношения числа распределений и магистралей при шкафной системе организации телефонной сети ( $x=4$ ).

Среднее количество кроссировок на одну линию:

$$F = \frac{N_{крос}}{N_{лин}}, \text{ где } N_{крос} \text{ – общее число кроссировок в сети, } N_{лин} \text{ – общее число соединений в сети.}$$

Это критерий на минимум, который измеряется по абсолютной количественной шкале в интервале  $[1; \infty)$ , поэтому требует нормирования и приведения к критерию на максимум:  $K_{крос} = F^{-1}$ . Такой вид критерия обеспечивает близкие к единице значения только при небольших  $F$  и дает значительный штраф при больших  $F$ .

Состояние многожильных межстанционных, магистральных, межшкафных и распределительных кабелей анализируется по единой методике:

$R = \{r_{зан}, r_{рез}, r_{неисп}, r_{слаб}\}$ , где  $r_{зан}$  – доля занятой емкости кабелей;  $r_{рез}$  – доля резервной емкости;  $r_{неисп}$  – доля неисправной емкости;  $r_{слаб}$  – доля емкости с электрическими характеристиками ниже нормы, но не являющейся неисправной.

Поскольку состояние кабеля определяется набором характеристик, введем обобщенную оценку состояния кабелей конкретного вида, являющуюся сверткой указанных частных критериев:

$$K_{каб} = a_1 p_1(r_{зан}) + a_2 p_2(r_{рез}) + a_3 p_3(r_{неисп}) + a_4 p_4(r_{слаб}).$$

Здесь  $\sum_{i=1}^4 a_i = 1$ ,  $a_i$  – коэффициент важности  $i$ -го частного критерия,  $p_1(r_{зан}) = \frac{r_{зан} - r_{нл зан}}{r_{нл зан} - r_{нх зан}} = r_{зан}$ ,

где  $r_{нл зан} = 1$  – лучший вариант занятости кабеля, когда он полностью используется;  $r_{нх зан} = 0$  – худший вариант занятости кабеля, когда он совсем не используется;  $p_2(r_{рез}) = \frac{r_{рез}}{x_{рез}}$ ,  $r_{рез} \leq x_{рез}$ , где  $x_{рез}$  – норма доли резервной емкости кабеля

конкретного вида,  $p_3(r_{неисп}) = \frac{x_{неисп}}{r_{неисп}}$ , где  $x_{неисп}$  – максимально допустимая доля неисправной емкости кабеля,

$p_4(r_{слаб}) = \left( \frac{r_{слаб} - r_{нл слаб}}{r_{нл слаб} - r_{нх слаб}} \right)^{\alpha_{слаб}} = (1 - r_{слаб})^{\alpha_{слаб}}$ .

Здесь  $r_{нл слаб} = 1$  – худший вариант, когда вся емкость кабелей обладает ослабленными электрическими характеристиками,  $r_{нх слаб} = 0$  – лучший вариант, когда вся емкость кабелей имеет нормальные характеристики;  $\alpha_{слаб}$  – параметр нелинейности, определяющий степень важности наличия конкретной доли ослабленной емкости кабелей.

Соотношение резерва линейной и станционной емкости задается вектором:  $Q = \{q_i\}$ ,  $i=1..m$ , где  $m$  – число станций в сети;  $q_i = |q_{лин i} - q_{стан i}|$  – дисбаланс резервов по  $i$ -й АТС;  $q_{лин i}$  – резерв развития кабелей по  $i$ -й АТС;  $q_{стан i}$  – число свободных абонентских и таксофонных комплектов на  $i$ -й АТС.

Поскольку соотношение резервов определяется по каждой АТС отдельно, введем обобщенную оценку дисбаланса резервов по станциям:  $K_{рез} = \sum_{i=1}^m a_i p(q_i)$ ,

где  $a_i$  – доля номерной емкости станции в общей емкости сети,

$$p(q_i) = \frac{q_i - q_{нх i}}{q_{нл i} - q_{нх i}} = 1 - \frac{|q_{лин i} - q_{стан i}|}{\max\{q_{лин i}, q_{стан i}\}}.$$

Здесь  $q_{нх i} = \max\{q_{лин i}, q_{стан i}\}$  – худший вариант дисбаланса;  $q_{нл i} = 0$  – лучший вариант дисбаланса.

Коэффициент улучшения линий в сети:

$$K_{\text{улуч}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \text{ где } n - \text{ число всех линий в сети,}$$

$$x_i = \begin{cases} 1, & \text{если линию нельзя улучшить,} \\ 0 & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Возможность улучшения линии определяется путем сравнения оценок  $i$ -й линии и лучшей из возможных линий, соединяющих концы существующей  $i$ -й линии.

Это критерий на максимум, который измеряется по количественной шкале в интервале  $[0; 1]$ , поэтому он не требует использования функции полезности для своего нормирования.

Частота повреждений кабелей задается вектором суммарных периодов времени отказа за период  $\Delta t$ :

$$V_{\text{каб}} = \{v_{\text{каб}i}\}, \quad i=1, \dots, n, \text{ где } n - \text{ число кабелей } r \in R_2.$$

Поскольку в сети присутствует много кабелей с различной степенью важности и частотой повреждения, введем обобщенную оценку работоспособности кабелей:

$$K_{\text{повр каб}} = \sum_{i=1}^n a_i p(v_{\text{каб}i}), \text{ где } a_i = \frac{w_i e_i}{\sum_{j=1}^n w_j e_j}, \sum a_i = 1, w_i - \text{ категория важности } i\text{-го кабеля (рекомендуемые величины } w_i: \text{ для кабелей МСС} - 0.5, \text{ для магистральных и межшкафных кабелей} - 0.2, \text{ для распределительных кабелей} - 0.1); e_i - \text{ емкость } i\text{-го кабеля,}$$

$$p(v_{\text{каб}i}) = \frac{v_{\text{каб}i} - v_{\text{нх каб}i}}{v_{\text{нл каб}i} - v_{\text{нх каб}i}} = 1 - \frac{v_{\text{каб}i}}{\Delta t}.$$

Здесь  $v_{\text{нх каб}i} = \Delta t$  — худший вариант, когда  $i$ -й кабель все время находится в ремонте,  $v_{\text{нл каб}i} = 0$  — лучший вариант, когда  $i$ -й кабель работает без повреждений.

Частота стационарных повреждений задается вектором суммарных периодов времени неработоспособности аппаратуры за период  $\Delta t$ :  $V_{\text{апп}} = \{v_{\text{апп}i}\}$ ,  $i=1, \dots, n$ , где  $n$  — число единиц аппаратуры АТС.

Поскольку оборудование АТС по-разному влияет на работу сети, введем обобщенную оценку работоспособности аппаратуры АТС:

$$K_{\text{повр апп}} = \sum_{i=1}^n a_i p(v_{\text{апп}i}), \text{ где } a_i = \frac{w_i e_i}{\sum_{j=1}^n w_j e_j}, \sum a_i = 1,$$

$w_i$  — важность  $i$ -й аппаратуры, зависящая от его класса (назначения);  $e_i$  — важность  $i$ -й аппаратуры, зависящая от его характеристик (емкость, степень занятости и др.);

$$p(v_{\text{апп}i}) = \frac{v_{\text{апп}i} - v_{\text{нх апп}i}}{v_{\text{нл апп}i} - v_{\text{нх апп}i}} = 1 - \frac{v_{\text{апп}i}}{\Delta t},$$

где  $v_{\text{нх апп}i} = \Delta t$  — худший вариант, когда  $i$ -е оборудование все время находится в ремонте;  $v_{\text{нл апп}i} = 0$  — лучший вариант, когда  $i$ -е оборудование работает без повреждений.

Степень физического износа оборудования задается вектором:  $S_{\text{физ}} = \{s_i\}$ ,  $i=1, \dots, n$ , где  $n$  — число единиц оборудования всех видов.

Поскольку в сети присутствует много видов оборудования с различным сроком службы и степенью износа, введем обобщенную оценку физического износа сети:

$$K_{\text{физ}} = \sum_{i=1}^n a_i p(s_i), \text{ где } a_i = \frac{w_i e_i}{\sum_{j=1}^n w_j e_j}, \sum a_i = 1,$$

$w_i$  — важность  $i$ -го оборудования, зависящая от его класса (назначения);  $e_i$  — важность  $i$ -го оборудования, зависящая от его характеристик (емкость, степень занятости и др.);  $p(s_i) = 1 - s_i$  — условная доля ресурса оборудования, которая еще не износилась.

Степень морального старения оборудования определяется на основе экспертных оценок и задается вектором:  $S_{\text{морал}} = \{s_i\}$ ,  $i=1, \dots, n$ , где  $n$  — число различных марок оборудования.

Поскольку в сети присутствует оборудование разных марок, модификаций, годов выпуска, введем обобщенную оценку морального старения оборудования в сети:

$$K_{\text{морал}} = \sum_{i=1}^n a_i p(s_i), \text{ где } a_i = \frac{w_i e_i}{\sum_{j=1}^n w_j e_j}, \sum a_i = 1,$$

$w_i$  — важность  $i$ -й марки оборудования, зависящая от его класса (назначения),  $e_i$  — важность  $i$ -й марки оборудования, зависящая от его характеристик (емкость, степень занятости и др.);  $p(s_i) = 1 - s_i$  — условная доля возможностей и качества обслуживания, которую обеспечивает  $i$ -я марка оборудования по сравнению с современными функциональными аналогами.

Стоимость эксплуатации сети:  $C_{\text{экспл сети}}$ . Это критерий на минимум, который измеряется по абсолютной количественной шкале в интервале  $[C_{\text{нл}}; C_{\text{нх}}]$ , поэтому требует нормирования и приведения к критерию на максимум:

$$K_{\text{экспл сети}} = \frac{C_{\text{экспл сети}} - C_{\text{нх}}}{C_{\text{нл}} - C_{\text{нх}}} = 1 - \frac{C_{\text{экспл сети}}}{C_{\text{нх}}},$$

где  $C_{\text{нл}} = 0$  – лучший вариант затрат на эксплуатацию, когда их нет;  $C_{\text{нх}}$  – худший вариант затрат на эксплуатацию, определяемый для сравниваемых сетей.

Соотношение стоимости эксплуатации сети и стоимости основных фондов:

$$K_{\text{эс/оф}} = \begin{cases} 1 - \frac{C_{\text{экспл сети}}}{C_{\text{оф}}}, & \text{если } C_{\text{экспл сети}} \leq C_{\text{оф}}, \\ 0, & \text{если } C_{\text{экспл сети}} > C_{\text{оф}}. \end{cases}$$

Это критерий на максимум, который измеряется по количественной шкале в интервале  $[0; 1]$ , поэтому не требует использования функции полезности для своего нормирования.

Количество отказов на 1000 попыток соединения:

$$K_{\text{отк}} = 1 - \frac{n_{\text{отк}}}{1000}.$$

Это критерий на максимум, который измеряется по абсолютной количественной шкале в интервале  $[0; 1]$ , поэтому не требует использования функции полезности для своего нормирования.

Количество повторных вызовов и соединений с неполной занятостью на 1000 соединений вводится аналогично количеству отказов:

$$K_{\text{повт}} = 1 - \frac{n_{\text{повт}}}{1000}, \quad K_{\text{неполн}} = 1 - \frac{n_{\text{неполн}}}{1000}.$$

Доля кабелей под избыточным воздушным давлением:

$$K_{\text{давл}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad \text{где } n - \text{число кабелей,}$$

требующих содержания под давлением,

$$x_i = \begin{cases} 1, & \text{если кабель содержится под давлением,} \\ 0 & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Это критерий на максимум, который измеряется по абсолютной количественной шкале в интервале  $[0; 1]$ , поэтому не требует использования функции полезности для своего нормирования.

Доля кабелей, защищенных от внешних воздействий, вводится аналогично:

$$K_{\text{защ}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad \text{где}$$

$$x_i = \begin{cases} 1, & \text{если кабель защищен,} \\ 0 & \text{в противном случае,} \end{cases} \quad n - \text{число кабелей, требующих защиты.}$$

**Выводы.** Предложенный способ многофакторного оценивания проводных сетей электросвязи может быть использован:

- при отслеживании динамики развития предприятия электросвязи, ее акцентов и приоритетов по сравнению с предыдущими состояниями;
- при сравнении эффективности функционирования различных предприятий электросвязи;
- при принятии решения о развитии и/или реконструкции сети или ее фрагмента.

Поставленная задача очень трудоемка в вычислительном отношении, поскольку предложенные критерии позволяют учесть даже мелкие нюансы конкретной сети. Однако использование современной компьютерной техники для расчетов и хранения данных соответствующих служб позволяет производить анализ сети электросвязи в приемлемое время. На практике наиболее сложным этапом является сбор и накопление необходимых для анализа данных.

**Литература:** 1. *Смолянский М.Е.* Проектирование линейных сооружений ГТС. М: Радио и связь, 1989. 180 с. 2. *Бесслер Р., Дойч А.* Проектирование сетей связи. М: Радио и связь, 1988. 272 с. 3. *Зайченко Ю.П., Гонта Ю.В.* Структурная оптимизация сетей ЭВМ. К: Техніка, 1986. 168 с. 4. *Гужавин С.А., Драмашко И.А., Кокорин А.Б., Коломоец В.В., Хабаров А.Ю.* Статистический регрессионный анализ БД АСУ учета линейных сооружений сети – основа для принятия управленческих решений // Зв'язок. 2001. №2. С. 59-64. 5. *Давыдов Г.Б., Рогинский В.Н., Толчан А.Я.* Сети электросвязи. М: Связь, 1977. 360 с. 6. *Овезельдыев А.О., Петров Э.Г., Петров К.Э.* Синтез и идентификация моделей многофакторного оценивания и оптимизации. К: Наук. думка, 2002. 164 с. 7. *Гребенник И.В., Хабаров А.Ю.* Оптимизация пути соединения двух точек проводной сети электросвязи // АСУ и приборы автоматики. 2002. Вып. 120. С.38-44.

Поступила в редколлегию 12.05.2003

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Петров Э.Г.

**Гребенник Игорь Валериевич**, канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры системотехники ХНУРЭ. Научные интересы: комбинаторная оптимизация, вычислительные методы, математическое моделирование. Увлечение: волейбол. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр.Ленина, 14, тел. (0572) 40-93-06.

**Хабаров Александр Юрьевич**, аспирант кафедры системотехники ХНУРЭ, ведущий программист производственно-коммерческой фирмы «РиКо». Научные интересы: многокритериальная оптимизация, моделирование сетей связи. Увлечения: велосипед, туризм. Адрес: Украина, 98100, АР Крым, Феодосия, ул.Советская, 19, оф. 16, тел. (06562) 3-24-48, 3-70-26.