

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЛИНИИ ПРОВОДНОЙ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ

к.ф.-м.н. И.В. Гребенник, А.Ю. Хабаров
(представил д.т.н., проф. Э.Г. Петров)

Проводится анализ характеристик линии проводной сети электросвязи, которые могут быть использованы для оценки ее технического состояния и качества предоставляемых клиентам услуг. Сформулированы критерии оценки, предложены способы их свертки для получения интегрального показателя эффективности использования линии.

Проводная сеть электросвязи является сложной технической системой, бесперебойное и качественное функционирование которой обеспечивается постоянным решением большого числа задач самого разного уровня сложности и компетенции лиц, принимающих конкретные решения (ЛПР). Одной из самых необходимых задач, которая решается практически ежечасно и требует значительных затрат времени при традиционном подходе (без применения ЭВМ), является комплексная оценка качества проводной линии связи. Благодаря ее анализу даже рядовые работники могут принимать научно обоснованные решения по эксплуатации сети.

В настоящее время один из конструктивных методов оценивания основывается на теории полезности [1]. При этом задача оценки качества линии формально сводится к применению того или иного вида обобщенного критерия для некоторого набора частных критериев. Наиболее широко известны аддитивная и мультипликативная формы:

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

$$0 \leq a_i \leq 1, \quad \sum a_i = 1,$$

где n – число частных критериев; a_i – коэффициенты важности частных критериев; k_i – частные критерии оценки.

Аддитивная форма позволяет учесть относительную важность частных критериев, но при этом возможна компенсация недостатков одних критериев достоинствами других. Мультипликативная форма не позволяет учесть информацию о предпочтительности частных критериев, но и не дает возможности компенсации недостатков. В частном случае, при равной важности частных критериев аддитивная и мультипликативная оценки имеют одинаковый линейный порядок [1].

Коэффициенты важности частных критериев при построении оценки определяются ЛПР, исходя из личного опыта, традиций анализа проводных сетей электросвязи; рассматриваемого фрагмента сети. Если их по каким-либо причинам определить не удастся, то ЛПР необходимо упорядочить критерии по важности с учетом изложенных выше факторов или применить схему равенства критериев.

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 использоваться вся группа частных критериев или ее подмножество, выбранное ЛПР или являющееся объективным отражением наличия информации для оценивания. Важно, 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.

Традиционным способом представления телефонной сети является граф, задаваемый множествами вершин и ребер. Исходя из функциональной организации проводной сети электросвязи, произведем декомпозицию сети как объекта на три части, которые опишем с помощью трех графов [2]:

- 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 неразделанный 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, т.е. $G = G_1 \cup G_2 \cup G_3$. Точкам сети электросвязи соответствуют вершины графа G_i , а соединению точек – простая цепь в G_i , соединяющая две заданные вершины.

Исходя из теории электросвязи и опыта практической деятельности, можно выделить некоторый набор критериев, определяющих эффектив-

ность эксплуатации проводной линии связи и качество предоставляемых абонентам, использующим эту линию, услуг [3, 4]:

1) электрические характеристики как отдельных ее составляющих (сопротивление жил кабелей, сопротивление изоляции жил и др.), так и в целом линии (сопротивление шлейфа, электрическая емкость цепи, асимметрия, затухание и др.). Они должны находиться в определенных диапазонах, иначе качество связи считается неудовлетворительным;

2) коэффициент загрузки дополнительной специальной аппаратуры, установленной на линии. Такая аппаратура повышает требования к электрическим характеристикам линии, что влечет дополнительные затраты по ее обслуживанию с целью поддержания работоспособности. При неполной загрузке аппаратуры целесообразность ее использования требует отдельного рассмотрения;

3) время занятия линии за определенный период. Характеризует степень использования абонентской линии и аппаратуры, установленной на ней. Чем оно больше, тем больший доход приносит линия, тем рациональнее были вложены средства при ее организации;

4) стоимость эксплуатации линии.

В приведенный список критериев включены лишь наиболее распространенные в практической деятельности. При необходимости он может быть расширен.

Задачу многофакторного оценивания линии проводной связи и анализа эффективности ее использования сформулируем следующим образом. Исходя из текущего состояния сети, дать количественную оценку эффективности функционирования линии и качества предоставляемых абонентам этой линии услуг, используя указанные выше критерии.

В связи с тем, что перечисленные частные критерии оценки линий описывают различные свойства системы и, следовательно, имеют разную размерность, интервалы и шкалы измерения, они несравнимы между собой. Чтобы обойти эту трудность, сформируем для них функции полезности.

1. Электрические характеристики ребра $r \in R_2$ задаются вектором $E = \{e_i\}$, $i = 1, \dots, n$, где n – число характеристик кабельного ребра. Ребро кабельного графа обладает набором разнородных электрических характеристик, поэтому введем обобщенную электрическую оценку ребра, являющуюся сверткой частных критериев и отражающую ее состояние:

$$K_{\text{эл реб}} = \sum_{i=1}^n a_i p_i(e_i), \text{ где } p_i(e_i) = \begin{cases} 1, \forall : e_i \in \omega_i ; \\ \frac{e_i - e_{\text{нх}i}}{e_{\text{нл}i} - e_{\text{нх}i}}, \forall : e_i \in \Omega_i \setminus \omega_i ; & \text{— функ-} \\ 0, \forall : e_i \notin \Omega_i ; \end{cases}$$

ция полезности i -й характеристики, a_i – коэффициент важности i -й характеристики, причем:

$$\sum a_i = 1; \quad \omega_i \subset \Omega_i; \quad e_{нлi} \in \omega_i; \quad e_{нхi} \in \Omega_i \setminus \omega_i,$$

где ω_i – множество значений i -й характеристики, обеспечивающих требуемое качество кабельной связи, Ω_i – множество допустимых значений i -й характеристики, $(\Omega_i \setminus \omega_i)$ – множество значений i -й характеристики, не обеспечивающих требуемого качества кабельной связи, но являющихся в ряде случаев допустимыми при организации соединений, $e_{нлi}$ – лучшее возможное значение i -й характеристики, $e_{нхi}$ – худшее допустимое значение i -й характеристики.

2. Электрические характеристики соединения задаются вектором $E = \{e_i\}$, $i = 1, \dots, n$, где n – число характеристик соединения. Обобщенная электрическая оценка соединения вводится так же, как и для ребра:

$$K_{элсоед} = \sum_{i=1}^n a_i p_i(e_i), \quad p_i(e_i) = \begin{cases} 1, \forall: e_i \in \omega_i; \\ \frac{e_i - e_{нхi}}{e_{нлi} - e_{нхi}}, \forall: e_i \in \Omega_i \setminus \omega_i; \\ 0, \forall: e_i \notin \Omega_i. \end{cases}$$

3. Коэффициент загрузки специальной аппаратуры на линии

$$K_{загр} = \frac{N_{абон}}{N_{анн}},$$

где $N_{абон}$ – число абонентов, использующих соединение; $N_{анн}$ – максимальное число абонентов, поддерживаемое аппаратурой для данного соединения.

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

4. Время занятия линии за период Δt :

$$t_{зан} = \sum_{i=1}^{N_{абон}} t_i,$$

где t_i – время занятия для i -го абонента.

Это критерий на максимум, который измеряется по количественной шкале в интервале $[t_{нх зан}; t_{нл зан}]$, поэтому требует нормирования:

$$K_{зан} = \frac{t_{зан} - t_{нх зан}}{t_{нл зан} - t_{нх зан}} = \frac{t_{зан}}{\Delta t},$$

где $t_{нх зан} = 0$ – худший вариант занятия соединения, когда оно совсем не используется, $t_{нл зан} = \Delta t$ – лучший вариант занятия соединения, когда оно используется постоянно.

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

$$K_{эксплоед} = \frac{C_{эксплоед} - C_{нх}}{C_{нл} - C_{нх}} = 1 - \frac{C_{эксплоед}}{C_{нх}},$$

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

Пример. Анализируются 2 линии связи, для которых известны следующие характеристики:

1) электрические параметры:

– сопротивление шлейфа – $e_{11} = 100 \text{ Ом}$; $e_{12} = 1000 \text{ Ом}$;

– сопротивление изоляции – $e_{21} = 4 \text{ МОм}$; $e_{22} = 5 \text{ МОм}$;

2) коэффициент загрузки аппаратуры на линии:

– $K_{загр1} = 0.75$, так как на первой линии установлено устройство *четырёхканального* цифрового уплотнения, но абонентами занято только *три* канала;

– $K_{загр2} = 1$, так как на второй линии установлена аналоговая аппаратура СУС, поддерживающая 2 абонентов, и оба они подключены;

3) среднее время занятия линии за сутки:

– на первой линии 3 абонента занимают линию в течение 1,2 и 0.1 часа соответственно;

– на второй линии 2 абонента занимают линию в течение 0.5 и 1 часа соответственно;

4) стоимость эксплуатации первой линии – 10 грн/мес, второй линии – 2 грн/мес.

Необходимо сравнить эффективность использования линий и качество предоставляемых услуг.

Электрические характеристики – составной критерий оценки, и ЛПП приняло решение об их одинаковой важности:

$$K_{эл1} = 0.5 * 1 + 0.5 * 1 = 1; K_{эл2} = 0.5 * \frac{1000 - 1100}{100 - 1100} + 0.5 * 1 = 0.55,$$

так как лучшее возможное значение сопротивления шлейфа – 100 Ом, а худшее допустимое – 1100 Ом. Сопротивление изоляции находится в норме.

$$K_{зан1} = \frac{1 + 2 + 0.1}{24} = 0.129(6); K_{зан2} = \frac{0.5 + 1}{24} = 0.0625;$$

$$K_{эксн1} = 1 - \frac{10}{10} = 0; K_{эксн2} = 1 - \frac{2}{10} = 0.8,$$

так как из двух линий у первой затраты на эксплуатацию больше.

Обобщенная оценка линий проводится с коэффициентами важности критериев, принятыми ЛПР равными 0.2, 0.2, 0.3, 0.3 соответственно:

$$K_1 = 0.2 * 1 + 0.2 * 0.75 + 0.3 * 0.129(6) + 0.3 * 0 = 0.38875;$$

$$K_2 = 0.2 * 0.55 + 0.2 * 1 + 0.3 * 0.0625 + 0.3 * 0.8 = 0.46875;$$

$K_1 < K_2$, следовательно, вторая линия используется эффективнее первой.

Выводы. Предложенный способ многофакторного оценивания линий проводной связи может быть использован:

- при отслеживании динамики состояния линии для принятия решения об ее профилактическом ремонте;
- при сравнении эффективности использования различных линий связи для принятия решения об их реорганизации;
- при организации новой линии для выбора аппаратуры, трассы прокладки и способов подключения абонентов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Овезгельдыев А.О., Петров Э.Г., Петров К.Э. Синтез и идентификация моделей многофакторного оценивания и оптимизации. – К.: Наук. думка, 2002. – 164 с.
2. Гребенник И.В., Хабаров А.Ю. Оптимизация пути соединения двух точек проводной сети электросвязи // АСУ и приборы автоматики. – 2002. – № 120. – С. 38 – 44.
3. Гроднев И.И., Верник С.М. Линии связи. – М.: Радио и связь, 1988. – 543 с.
4. Инженерно-технический справочник по электросвязи: Кабельные и воздушные линии связи. – М: Связь, 1966. – 560 с.

Поступила 21.10.2002

ГРЕБЕННИК Игорь Валериевич, канд. физ.-мат. наук, доцент, доцент кафедры системотехники Харьковского национального университета радиоэлектроники. Область научных интересов – комбинаторная оптимизация, вычислительные методы, математическое моделирование.

ХАБАРОВ Александр Юрьевич, аспирант кафедры системотехники Харьковского национального университета радиоэлектроники, ведущий программист производственно-коммерческой фирмы «РиКо». Область научных интересов – многокритериальная оптимизация, моделирование сетей связи.