

## ВОЗМОЖНОСТИ ОПТИМИЗАЦИИ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ СВЯЗИ

Одним из характерных проявлений современного научно-технического прогресса является широкое применение волоконно-оптических систем связи (ВОЛС). Они предоставляют уникальные возможности для передачи все возрастающих потоков информации, поскольку являются наиболее высокоскоростными из известных ныне линий связи. Кроме этого, такие линии обладают высокой помехозащищенностью и рядом других положительных свойств, что позволяет успешно использовать ВОЛС не только для городской и междугородной телефонной связи, но и для систем кабельного телевидения и видеосвязи, для локальных и глобальных компьютерных сетей, технологической связи и т.д.

Необходимо отметить, что производство и внедрение, как отдельных компонентов, так и ВОЛС в целом – это весьма сложный и дорогостоящий процесс. Поэтому при проектировании ВОЛС особую актуальность приобретают вопросы моделирования и оптимизации с целью обеспечения высокого качества и надежности работы систем и составляющих их элементов, т.е. технического совершенства при максимальной технической целесообразности.

В общем виде задачу оптимизации параметров ВОЛС можно сформулировать следующим образом. Необходимо найти такой вариант  $V^*$  из конечного множества  $V$ , чтобы некоторая функция качества ВОЛС  $Q^{V^*} \rightarrow \max$ . Каждый вариант ВОЛС  $v \in V$  может отличаться от других такими характеристиками как общая структура системы, набор входящих компонентов, типы входящих компонентов, их внутренние параметры – все это варьируемые параметры варианта ВОЛС.

Все сказанное выше в полной мере относится к задачам оптимизации сложных систем, которые освещены в литературе [1; 2]. В рассматриваемой нами задаче оптимизации ВОЛС на основе общего подхода необходимо создать обобщенную модель ВОЛС путем введения соответствующей конкретизации.

Пусть ВОЛС в общем виде состоит из  $K_i^s$  различных функционально связанных компонентов  $S = \overline{1, M}$  (генератор, модулятор, фотоприемник и т.д.), при этом каждый из них может быть  $i = \overline{1, N}$  типов. Обозначим через  $V = \{K_i^s\}$  — конечное множество вариантов ВОЛС, которые может быть образовано из данного множества компонентов.

При оптимизации ВОЛС будем считать критериями качества следующие параметры:

1. Общий объем передаваемой информации (характеризуемый, в свою очередь, необходимой полосой пропускания системы, скоростью передачи информации, числом эквивалентных стандартных каналов).

2. Помехозащищенность системы (характеризуется отношением сигнал/шум на входе или выходе оптического приемника для аналоговой передачи данных или вероятностью ошибки при цифровой передаче информации). В этом требовании должны быть учтены нежелательные помехи как естественного характера (природные или связанные с нарушениями нормального функционирования элементов системы), так и факторы с возможным несанкционированным доступом к системе.

3. Расстояние между оконечными устройствами (и обусловленная этим необходимость наличия дополнительных усилителей и ретрансляторов с соответствующими параметрами).

4. Массогабаритные параметры (характеризуемые выбранной на основе указанных выше параметров структурой ВОЛС и свойствами составляющих ее элементов).

5. Надежностные параметры (характеризующие кратковременную и долговременную надежность работы элементов и ВОЛС в целом в зависимости от эксплуатационных условий, в том числе и экстремальных, к которым может быть отнесен и несанкционированный доступ).

6. Стоимостные (экономические) параметры, связанные с проектированием, конструированием, производством отдельных элементов и ВОЛС в целом, а также с наладкой, ремонтом или заменой отдельных элементов, с эксплуатацией системы в нормальных условиях.

Здесь критерии качества указаны более подробно, чем в [3], где массогабаритные, стоимостные и надежностные параметры объединены в общий критерий качества.

Все указанные параметры, выбранные в качестве критериев качества, в большей или меньшей степени взаимозависимы, и эти зависимости, которые не всегда могут быть четко установлены и определены, тем не менее, должны учитываться при оптимизации. Кроме того, для оптимизации должен быть определен (а скорее всего – задан на основе соответствующих соображений) относительный вес (степень важности) критериев качества, либо, по крайней мере, произведено их «ранжирование», т.е. разделение на особо важные, важные и такие, ролью которых можно пренебречь.

Безусловно, выбор (задание) веса того или иного критерия оптимизации – вопрос, который не может быть поставлен и тем более – решен с полной определенностью. Например, вряд ли такой параметр, как объем передаваемой информации (или любой другой) может считаться во столько-то раз более важным, чем помехозащищенность.

Поскольку качество функционирования ВОЛС характеризуется набором критериев качества, функция  $Q$  будет иметь векторный вид

$Q = \{q_n\}, n \in T$ , где  $q_n$  —  $n$ -й локальный критерий качества,  $T$  — конечное множество критериев качества.

Пусть на множестве альтернатив (вариантов реализации ВОЛС)  $V \subset R$  определено  $m$  скалярных функций  $f_1(V), \dots, f_m(V)$ , представляющих собой критерии оценки качества альтернатив. Будем говорить, что альтернатива  $V^1$  доминирует по Парето [4] альтернативу  $V^2$  ( $V^1 \succ V^2$ ), если  $f_k(V^1) \geq f_k(V^2), k = \overline{1, m}$  и хотя бы для одного  $k$  такое неравенство является строгим. Это означает, что выбор  $V^1$ , а не  $V^2$  позволяет по каждому критерию получить не меньшее значение выигрыша, а по одному — строго большее.

Таким образом, каждой альтернативе  $v \in V$  ставится в соответствие ее векторная оценка  $\{f_1(v), \dots, f_m(v)\} \in R^m$ . Если альтернатива  $v$  пробегает все множество  $V$ , то в пространстве  $R^m$  образуется множество векторных оценок  $F = f(V)$ .

Задача оптимизации ВОЛС может быть рассмотрена как задача выбора единственной наилучшей в каком-либо смысле альтернативы из допустимого множества. Если качество или полезность измеряются с помощью известной скалярной функции, то методологических проблем не возникает, и возможны лишь вычислительные трудности, связанные с необходимостью решения соответствующей экстремальной задачи. Если же, как в нашем случае, задача многокритериальная (векторная), то здесь необходимо определить, что же является наилучшей альтернативой при наличии нескольких целевых функций, которые противоречивы и достигают максимума в различных точках множества альтернатив. Поэтому необходимо использовать априорные процедуры многокритериальной оптимизации без какой-либо дополнительной информации, кроме той, которая заложена в модели задачи, т.е. в описании множества альтернатив и целевых функций, и относительно легко формализуется.

Будем считать, что если множество альтернатив  $V$  и целевые функции  $f_1(v), \dots, f_m(v)$  известны, то этого вполне достаточно для объективного, не зависящего от отсутствующих в данной модели факторов, определения оптимального решения. Другими словами, если каждый критерий  $f_k(v)$  характеризует некоторое локальное качество альтернативы  $v$ , то наилучшая из альтернатив будет характеризоваться наиболее удачным сочетанием всех локальных качеств, т.е. имеет максимальное значение «глобального» качества. Таким образом, для выбора наилучшей альтернативы достаточно понять, каким образом «глобальное» качество зависит от локальных качеств, после чего многокритериальная задача будет сведена к задаче скалярной оптимизации.

Исключительно важную роль играет такой критерий как надежность. Выход из строя любого элемента ВОЛС – генератора, модулятора, линии передачи или фотоприемника – означает отказ всей системы. Однако выход из строя такого элемента как, например, волоконно-оптический тракт, маловероятен. Поэтому целесообразно обеспечение надежности системы путем резервирования (дублирования) менее надежных элементов системы – генератора, фотоприемника. Таким образом, надежность обеспечивается выбором избыточной топологии ВОЛС.

Моделирование волоконно-оптической линии связи должно включать в себя взаимосвязанные модели отдельных элементов системы – от генератора с модулятором, обеспечивающих входной сигнал, до фотоприемника, на выходе которого получается выходной сигнал. Рассмотрению этих вопросов будут посвящены отдельные публикации.

Что же касается оптимизации всей системы ВОЛС в целом, то оптимизационная процедура может быть построена двумя путями. Первый – это покомпонентная оптимизация. Здесь последовательно выполняется оптимизация отдельно для каждого компонента, начиная с выходного [5; 6]. Используя физическую и описывающую ее математическую модель каждого компонента, нужно произвести оптимизацию параметров этой модели. Полученные параметры используются в качестве входных при оптимизации следующего компонента системы. При таком подходе мы полагаем, что оптимизация всех компонентов ВОЛС позволит получить оптимальные параметры системы в целом.

Второй возможный подход к решению задачи оптимизации – системный, когда ВОЛС рассматривается как единая система, и проводится ее оптимизация в целом. При этом на каждом шаге оптимизации выполняется расчет всей системы до получения искомых выходных параметров. Такой подход требует больших вычислительных затрат, чем первый, однако в полной мере соответствует поставленной задаче оптимизации, позволяя учесть взаимное влияние компонентов ВОЛС.

**Список литературы:** 1. Дубов Ю. А., Травкин С.И., Якимец В.Н. Многокритериальные модели формирования и выбора вариантов систем. М.: Наука. 1986. 296 с. 2. Дмитриев А.К., Мальцев П. А. Основы построения и контроля сложных систем. Л.: Энергоатомиздат, 1988. 192 с. 3. *Волоконно-оптические линии связи. Справочник* / Под. ред. Андрушко Л.М. // К.: Техника, 1988. 239 с. 4. Макаров И.М., Виноградская Т.М., Рубчинский А.А., Соколов В.Б. Теория выбора и принятия решений. М.: Наука. 1982. 382 с. 5. Tsigopoulos A., Paschos V., Caroubalos C., Salet P., Jacquet J. Numerical modeling of undercut ridge VCSEL's designed for CW operation at 1.3  $\mu\text{m}$ : Design optimization // IEEE J. of Quantum Electron. PP. 2221–2229, Dec. 1997. 6. Meglio D., Lugli P., Sabella R. Sahlen O. Analysis and optimization of InGaAsP Electro-Absorption Modulators // IEEE J. of Quantum Electron. PP. 261–268, Feb.1995.

*Харьковский государственный технический университет радиотехники*

*Поступила в редколлегию 04.12.98*