

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ ОПТОЭЛЕКТРОНИКИ В ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЯХ

В.Л. Зубаченко

Центр информационных технологий в проектировании (ЦИТП РАН),
Одинцово, Московская область

Аннотация

На основе анализа структуры сети, уровня автоматизации процессов связи и объема выполняемых функций определены основные направления оптимизации параметров и характеристик аппаратуры вычислительных и телекоммуникационных сетей. Рассмотрены основные критерии для оценки эффективности применения изделий оптоэлектроники в сети. Предложены показатели технико-экономической эффективности оптоэлектронных систем, его математическая модель и аналитические выражения для параллельных и последовательных оптоэлектронных атмосферных каналов.

Структура изделий оптоэлектроники, применяемых в аппаратуре вычислительных и телекоммуникационных сетей, может слабо или сильно зависеть от конфигурации и характеристик системы (сети) связи в целом. К первому виду относятся автономные устройства, ко второму – комплексированные устройства – коммутационная аппаратура узлов вычислительной сети.

Структура и сложность устройств первого вида зависит от элементной базы и уровня автоматизации процесса установления связи. Структура и сложность устройств второго вида определяется не только элементной базой, но и способом установления соединений (ручной, полуавтоматический, автоматический), а также структурой сети. На современном этапе развития микроэлектроники и оптоэлектроники, особенно БИС, микропроцессорной техники, оптоэлектронных модулей и блоков элементная база существенно влияет на структуру вычислительных и телекоммуникационных сетей. Так, коммуникационная БИС со встроенным микропроцессорным управлением предопределяет структуру коммутационного поля и управляющего устройства цифровой системы распределения информации, а микропроцессорная техника стимулирует децентрализацию и модульность оптоэлектронных атмосферных каналов связи (ОАК). [1,2]

Сложность ОАК коммутационной аппаратуры узлов связи вычислительной сети зависит также от трафика и потока передаваемой информации.

В разветвленной коммутированной автоматической телекоммуникационной сети (см. рис. 1) происходит дальнейшее усложнение коммутационной аппаратуры. В такой сети, в частности, существенно возрастает объем транзитных соединений и усложняется взаимодействие станции и абонентов.

Основные направления оптимизации параметров и характеристик аппаратуры и вычислительных, телекоммуникационных сетей приведены на рис. 2

При разработке оптоэлектронной системы передачи информации (канала) должны быть оптимизированы структура сети, уровень автоматизации про-

цессов связи и объем выполняемых функций. Следует стремиться к тому, чтобы до начала разработки аппаратуры канала связи были определены структура и основные параметры вычислительной сети. Оптимальной является такая система связи, которая позволяет решить поставленные задачи с минимальными затратами сил и средств. С этой точки зрения должны быть определены целесообразный уровень автоматизации процесса связи.

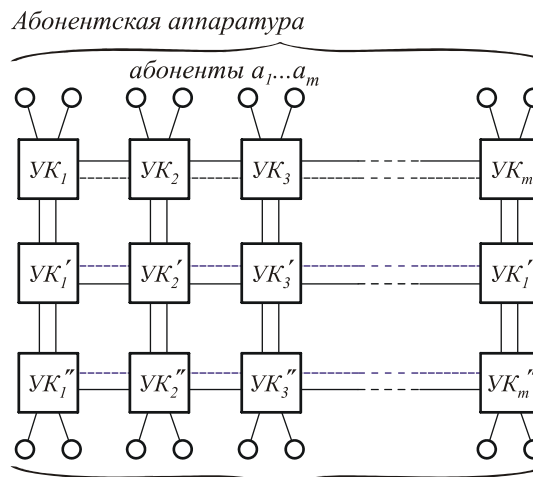


Рис. 1. Конфигурация сети электросвязи:
УК – управляемый коммутатор; а – абоненты

Для оптимизации параметров аппаратуры вычислительных сетей используются изделия оптоэлектроники, при этом учитываются ее схемы, системотехника, элементная база, конструкция оптико-механических узлов передающих и приемных модулей оптоэлектронных атмосферных каналов и технология.

Каждое изделие должно разрабатываться в комплексе с другими элементами и устройствами вычислительной или телекоммуникационной сети, а не приспособляться к ранее разработанным. Разработка изделий оптоэлектроники и системы связи на их основе должна представлять единый процесс, в ходе которого совершенствуется как

проектируемая аппаратура системы связи, так и вычислительная сеть в целом. Другими словами, процессы проектирования системы и аппаратуры связи на основе изделий оптоэлектроники характеризуются наличием сильных обратных связей, требующих согласование решений, принимаемых на различных уровнях.

Оптимизация схемотехнических решений на уровне изделия оптоэлектроники предполагает изыскания его гармонической структуры, при которой узлы и блоки изделия оптоэлектроники электрически, оптически и конструктивно совместимы. Предусматриваются также изыскания наиболее рационального способа реализации заданных функций и оптимального разделения на узлы и блоки, при котором с минимальной избыточностью обеспечивается компоновка изделия. Одновременно следует стремиться к тому, чтобы в аппаратуре, например,

ОАК реализовались свойства адаптивности для возможности ее использования при различных условиях эксплуатации (в том числе и погодных условий).

Оптимизация элементной базы оптоэлектроники предполагает применение изделий с высоким уровнем интеграции, обладающих высокой степенью универсальности, а также однородностью по установке, включению и питанию.

Оптимизация конструкции предполагает такое выполнение узлов и блоков оптоэлектронной аппаратуры каналов связи, при котором могут быть созданы конструктивно законченные структуры при минимальном объеме вспомогательных крепежных элементов и приспособлений. При этом следует стремиться к сокращению объема межслойного монтажа, например, путем преимущественного применения интегральных схем матричного типа с использованием многослойного печатного монтажа.



Рис. 2. Основные направления оптимизации систем и аппаратуры вычислительных сетей

Любое конструктивное решение должно обеспечивать удобство пользования с учетом требований инженерной психологии и технической эстетики.

В соответствии с конструктивным выполнением оптоэлектронной аппаратуры связи должна быть выбрана концепция обеспечения ее ремонтопригодности, включая обнаружение неисправности (на уровне узла, блока) и способ последующего ее устранения.

Оптимизация технологий предполагает групповые принципы изготовления изделий оптоэлектро-

ники. Такой способ производства аппаратуры системы связи с наименьшими затратами обеспечивает заданную точность электрических и конструктивных параметров. При этом уровень автоматизации производства должен быть весьма высоким, а технологические процессы должны обладать требуемой повторяемостью и подвергаться оперативному контролю, обладающему высокой достоверностью.

К критериям оценки эффективности применения изделий оптоэлектроники вычислительных и телекоммуникационных сетей относится (см. рис. 3):

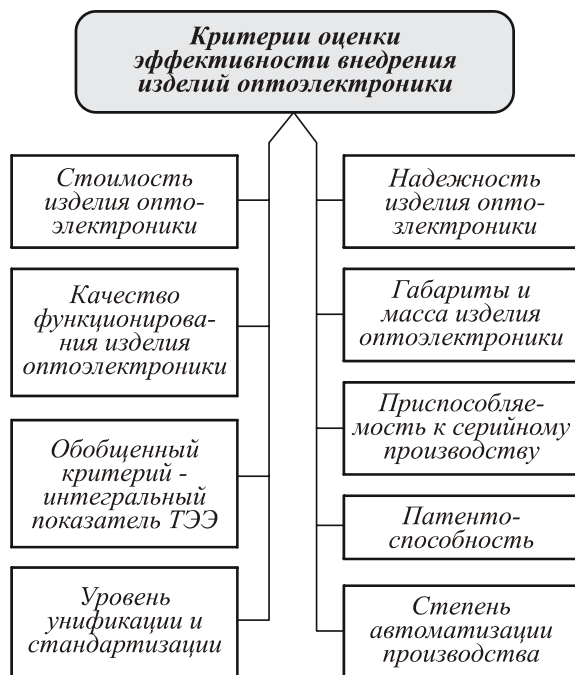


Рис. 3. Критерий оценки эффективности внедрения изделий оптоэлектроники

- материальные затраты на изготовление изделия оптоэлектроники и его стоимость при серийном производстве;

- целесообразный уровень надежности функционирования изделия оптоэлектроники, при котором его применение не приводит к ощутимому ухудшению надежности системы связи. Стремление обеспечить более высокую надежность изделия оптоэлектроники без учета общей надежности системы и затрат на достижение не имеет практического смысла;

- качество функционирования изделия оптоэлектроники (точность, стабильность, достоверность, помехозащищенность и т.д.), которое обычно относится к числу заданных требований и может уточняться в процессе проектирования при поиске компромиссных решений. Поэтому оценка изделия по критерию качества должна производиться с учетом требований к системе связи в целом;

- эффективность использования аппаратуры на объекте (системе), которая в значительной мере определяется сроком ее окупаемости. Однако в тех случаях, когда требование по окупаемости аппаратуры оптоэлектронного канала связи не выдвигаются, требование высокой эффективности ее использования не снижается, так как данный показатель неразрывно связан с такими характеристиками изделия оптоэлектроники, как надежность, габариты, масса, стоимость производства и эксплуатации;

- приспособленность изделия оптоэлектроники к серийному производству, представляющая собой комплексный показатель технологичности из-

делия, воспроизводимости его электрических, оптических и конструктивных параметров и характеристик, налаженности выпуска функциональных узлов, модулей, блоков, электрической и конструктивной взаимозаменяемости однотипных элементов и т.д.;

- патентоспособность и патентная чистота изделия оптоэлектроники. Этот критерий приобретает все большее значение, что обусловлено не только стремлением получить экономические выгоды, так как новизна изделия неразрывно связана с его конкурентоспособностью на мировом рынке, но и с престижными соображениями. Патентами следует защищать не только то, что реализовано в конкретной аппаратуре, но и то, что может быть реализовано в обозримом будущем;

- степень автоматизации производства и его экономичность. При этом на различных уровнях производства (изготовление функциональных узлов, модулей, блоков, системы в целом) степень автоматизации может быть различной. Естественно, что автоматизация тем выгоднее, чем больше объем выпуска изделий оптоэлектроники;

- уровень унификации и стандартизации оптоэлектронных узлов модулей и блоков. В этом случае наибольшие выгоды дает компоновка аппаратуры на базе унифицированных элементов упомянутого типа при условии, что число этих типов ограничено;

Важность различных направлений применения изделий оптоэлектроники в вычислительных сетях, а следовательно, различных критериев оценки ее эффективности зависит от требований, предъявляемых аппаратуре и системе связи конкретного типа. Поэтому перечисленные выше критерии не могут быть однозначно расставлены в порядке их важности. Этот вопрос может быть решен, например, в процессе экспертного опроса.

Обобщенным критерием оценки эффективности внедрения является интегральный показатель технико-экономической эффективности (ТЭЭ). Аналогичным образом может быть оценена также эффективность применения технических решений различных вариантов определенного типа изделий оптоэлектроники на этапе его проектирования. Под ТЭЭ в общем случае понимают степень приспособленности изделия либо системы к выполнению поставленных задач в определенных условиях функционирования и приемлемом уровне материальных затрат на разработку, изготовление и обслуживание.

Для оценки ТЭЭ изделия (системы) необходимо:

- разработать математическую модель системы;
- определить критерий эффективности;
- установить весовые коэффициенты для частных показателей эффективности, совокупность которых определяет эффективность системы.

Оценка ТЭЭ системы на этапе проектирования в общем случае может быть произведена с использованием функции вида:

$$\delta_{\Sigma} = \varphi(a_1, a_2, \dots, a_n; C_1, C_2, \dots, C_n), \quad (1)$$

где a_1, a_2, \dots, a_n - учитываемые показатели эффективности; C_1, C_2, \dots, C_n - вводимые ограничения по материальным затратам, массогабаритным показателям, надежности и пр.

Достоверные результаты можно получить при оценке ТЭЭ по интегральному показателю с использованием суммы

$$\delta_{c\Sigma} = \sum_{i=1}^k B_i \delta_i, \quad (2)$$

где B_i - весовые коэффициенты; δ_i - частные показатели эффективности

Оптоэлектронных каналы (ОК) на основе волоконно-оптических и оптоэлектронных атмосферных линий связи в информационных системах и сетях должны применяться с учетом функционального назначения и технико-экономических показателей.

Важнейшими параметрами, характеризующими эффективность применения ОК в информационных системах и сетях, являются: L -длина ОК; V -скорость передачи информации (при заданной вероятности ошибки $P_{ош}$); C_{Σ} -стоимость ОК.

Поскольку каждый из перечисленных параметров имеет свое конкретное значение для отдельных ОК, то их совокупность определяет некоторые условные показатели, позволяющие оптимизировать ОК. Таким условным показателем является показатель удельной стоимости ($C_{уд}$) передачи информации, определяемый из выражения

$$C_{уд} = \frac{C_{\Sigma}}{LV} \quad (3)$$

Суммарная стоимость ОК (C_{Σ}) складывается из стоимостей: передающих и приемных модулей ($C_{пер}$ и $C_{пр}$), стоимости регистрирующих устройств ($C_{рз}$), стоимости затрат, связанных с изготовлением ОК ($C_{из}$), монтажом ОК на объекте ($C_{м}$), и эксплуатацией ($C_{э}$)

$$C_{\Sigma} = C_{пер} + C_{пр} + C_{рз} + C_{из} + C_{м} + C_{э}$$

Как следует из выражения (3), удельная стоимость ОК снижается или в результате снижения суммарной стоимости C_{Σ} или в результате повышения добротности канала связи. Снижение C_{Σ} возможно уменьшение каждой составляющей, входящей в суммарную стоимость ОК.

Так, переход от гибридной технологии к твердотельной при изготовлении передающего и приемно-

го модулей ОК позволяет существенно снизить себестоимость при массовом производстве.

Увеличить добротность ОК можно либо путем увеличения скорости передачи информации, повысить быстродействие светодиода и фотодиода, либо путем увеличения длины ОК, повышения оптической мощности передатчика и чувствительности приемника. На рис. 4 показана зависимость максимальной дальности передачи информации от скорости передачи на разных длинах волн оптического излучения.

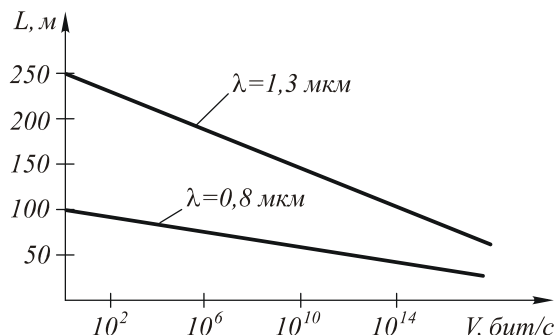


Рис. 4. Зависимости оптимальной длины оптического канала от скорости передачи при различных длинах волн передаваемого сигнала

Как следует из графиков, с увеличением скорости передачи информации максимальная дальность передачи ОК уменьшается, причем при $\lambda = 1,3$ мкм максимальная дальность больше чем при $\lambda = 0,8$ мкм. Это связано с тем, что на длине волны $\lambda = 1,3$ мкм потеря энергии сигнала на трассе ОК меньше, чем при $\lambda = 0,8$ мкм.

Таким образом, для повышения дальности передачи информации необходимо либо уменьшать удельные потери оптического сигнала на трассе ОК с применением более длинноволнового источника излучения, либо подключать ОК регенераторы, осуществляющие восстановление оптического сигнала до требуемого уровня. На рис. 5 приведена структурная схема последовательного ОК, в котором для повышения дальности передачи (L) установлено (N) регенераторы, включенные последовательно.

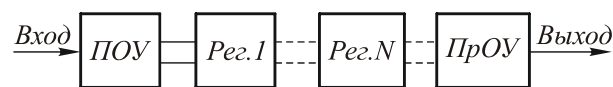


Рис. 5. Структурная схема ОК с активным восстановлением сигнала

ПОУ - передающее устройство; ПрОУ - приемное устройство; Рег.1...Рег.N - регенераторы; ОК - оптоэлектронный канал

Общая добротность ($D_{пол}$) последовательного ОК определяется суммарной добротностью его отдельных регенерационных участков

$$D_{\text{посл.}} = VL = V \sum_{n=1}^N L_n, \tag{4}$$

где L_n - длина n -го регенерационного участка ОК.

Соотношение (4) справедливо для ОК средней и большой протяженностей, когда объем передаваемой информации велик, и применяется уплотнение.

Показатель удельной стоимости передачи информации последовательным ОК с учетом выражений (3) и (4) имеет вид:

$$C_{\text{уд.посл.}} = \frac{C_{\Sigma}}{M \sum_{n=1}^N L_n} \tag{5}$$

Для малых протяженностей ОК, используемых во внутриобъектовых информационных системах (наземных, бортовых) при уплотнении информации снижается быстродействие; кроме того, теряет смысл само уплотнение информации при передаче ее на короткие расстояния, поскольку возрастает суммарная стоимость ОК за счет аппаратной избыточности, связанная с применением устройств уплотнения и разуплотнения информации. Поэтому при коротких ОК оптимальным является использование параллельной передачи информации (рис. 6).

Суммарная скорость передачи информации V по параллельному ОК определяется из выражения

$$V = \sum_{n=1}^N V_n, \tag{6}$$

где V_n - скорость передачи информации по единичному ОК;

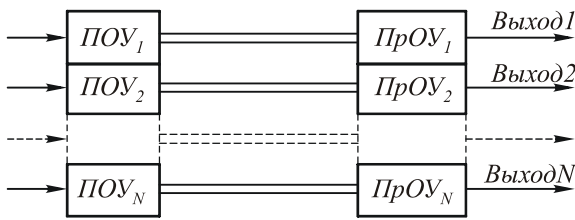


Рис. 6. Структурная схема параллельного оптического канала

Если скорость передачи информации по всем каналам параллельного ОК ($V_1 = V_2 \dots V_n$), то выражение (7) будет иметь вид:

$$V_0 = NV_n, \tag{7}$$

где N -общее число ОК.

Добротность параллельного ОК в соответствии с выражением (8) оптимизирована из уравнения:

$$D_{\text{пар}} = L \sum_{n=1}^N V_n = LNV_n \tag{8}$$

где L - длина единого ОК.

Показатель удельной стоимости передачи информации по параллельному ОК в соответствии с (3) и (6) выражается формулой

$$C'_{\text{уд.пар.}} = \frac{C'_{\Sigma}}{L \sum_{n=1}^N V_n} \tag{9}$$

где C'_{Σ} - суммарная стоимость параллельного ОК определенная из (3) без учета стоимости регенерационных устройств.

Удельная стоимость передачи информации по параллельному ОК с учетом выражения (9) записывается в виде

$$C'_{\text{уд.пар.}} = \frac{C'_{\Sigma}}{LNV_n}. \tag{10}$$

На рис. 7 приведена зависимость удельной стоимости последовательного ОК от длины ОК с N регенерационными участками для двух скоростей передачи информации $v1, v2$ (при $v1 < v2$). Как видно из графиков, в пределах каждого регенерационного участка (L_n) показатель удельной стойкости информации ($C_{\text{уд.посл.}}$) снижается по закону $C_{\text{уд.посл.}} = \frac{t}{L}$, однако с увеличением числа регенерационных участков $C_{\text{уд.посл.}}$ каждый раз возрастает. Это определяется тем, что начинает возрастать суммарная стоимость ОК за счет затрат, связанных с увеличением числа регенераторов, и затрат на монтаж и эксплуатацию ОК. Кроме того, с увеличением протяженности ОК возрастает суммарная стоимость канала.

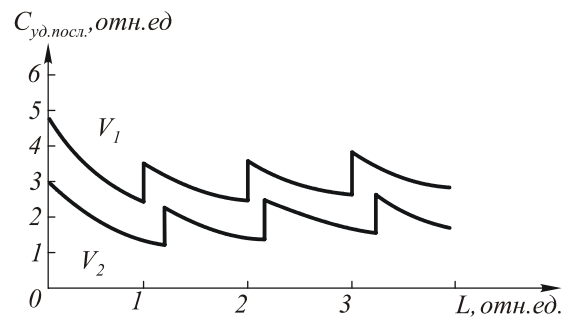


Рис. 7. Зависимости удельной стоимости последовательного ОК от длины канала $v1, v2$ - скорость передачи; ОК - оптоэлектронный канал; $C_{\text{уд. посл.}}$ - удельная стоимость последовательного оптоэлектронного канала

Заключение

Определены основные направления оптимизации параметров и характеристик оптоэлектронных систем передачи информации, основанных на оптимизации структуры сети, уровня автоматизации процессов связи и обмена выполняемых функций, схе-

мо- и системотехники узлов оптоэлектронных атмосферных каналов (ОАК).

Определены показатели технико-экономической эффективности, основанные на математической модели системы на установлении весовых коэффициентов для частных показателей эффективности.

Важнейшими параметрами, характеризующими эффективность применения ОАК являются L - длина ОАК, V - скорость передачи информации, C_{Σ} - стоимость ОАК.

Обобщенным показателем эффективности ОАК является удельная стоимость передачи информации

$$C_{уд} = \frac{C_{\Sigma}}{LV}.$$

Литература

1. Горохов В.А. Вопросы построения телекоммуникационных сетей и их развитие на базе телефонных сетей ЕС СКТ // Вопросы кибернетики. Процессы управления в сетях ЭВМ. М.: 1985. Вып. 105. С. 22-29.
2. System 12 – Elektr. Nachrichtenwesen ITT 1981 – В.56, №2, 213.
3. Гридин В.Н., Дмитриев В.П., Гребнев А.К. Оптоэлектронные приборы и устройства // М. Радио и связь, 1998. -336 с.
4. Дмитриев В.П., Балашов В.П., Горохов В.А. Применение оптоэлектронных приборов в радиоэлектронной аппаратуре // М.: ВИНТИ, Итоги науки и техники, Электроника, 1989.
5. Дмитриев В.П., Горохов В.А., Волчков В.П. Оценка эффективности применения оптоэлектронных каналов в системах связи // Электронная промышленность, 1984. Вып. 9 (137).