

А. Ф. Свиштунов – магистрант кафедры антенн и эксплуатации радиоэлектронной аппаратуры
В. Н. Красюк (д-р техн. наук, проф.) – научный руководитель

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЛАЗЕРНОГО КАНАЛА СВЯЗИ

Для решения задач формирования качественного высокоскоростного канала связи на небольших дистанциях в пределах прямой оптической видимости используются системы лазерной связи. Наряду с преимуществами, у систем АОЛС (Атмосферные Оптические Линии Связи) есть существенный недостаток – зависимость от погодных условий. Интенсивные осадки, а в особенности густой туман, могут оказать сильное влияние на качество связи. Разработано немало конструктивных решений, снижающих негативное влияние осадков и других атмосферных факторов. Так как погодные условия существенно разнятся в зависимости от места эксплуатации АОЛС, при проектировании систем требуется особый подход, учитывающий местоположение и особенности конкретного приложения, для которого создается система.

Поэтому для эффективного проектирования системы связи необходимо проанализировать ситуацию, поставить соответствующую задачу и обосновать оптимальность выбора таких параметров системы, как рабочая длина волны излучения, мощность передатчика, их количество, чувствительность приемника излучения, расходимость излучения, диаметр апертуры приемной антенны и др.

В настоящей работе рассмотрен вопрос расчета энергетического потенциала канала связи систем АОЛС, установлена взаимосвязь между указанными параметрами системы, а так же факторами, влияющими на качество работы АОЛС, которые должны быть учтены при проектировании.

Для того, чтобы система АОЛС корректно работала на заданной дистанции, необходимо, чтобы запас мощности системы превосходил суммарные потери мощности излучения на трассе, а так же внутри системы. Для этого при проектировании рассчитывают энергетический потенциал A системы связи:

$$A = 10 \log \left(\frac{P_t N}{P_r} \right)$$

где P_t – мощность передатчика, N – количество излучателей в передатчике, P_r – чувствительность приемника.

Величина энергетического потенциала при правильной установке оборудования однозначно и полностью описывает энергетику линии связи, поскольку включает в себя все основные технические характеристики оборудования и дальность линии связи. Эта величина также определяет устойчивость линии к погодным условиям. АОЛС работоспособна только при условии превышения ее энергетического потенциала над суммарными потерями передающего тракта : $\alpha < A$.

Таким образом, при проектировании системы необходимо уметь рассчитать полные потери излучения на пути от излучателя к приемнику.

Полные потери включают в себя потери на оптических системах α_t и α_r , суммарные потери излучения в чистой атмосфере α_{atm} , общие геометрические потери $\alpha_{\Sigma gh}$, потери за счет разъюстировки оборудования α_{align} , а так же дополнительные потери α_{met} , обусловленные различными метеоявлениями, которые теоретически могут возникать в районе использования АОЛС [1]:

$$\alpha = \alpha_t + \alpha_{\Sigma gh} + \alpha_{atm} + \alpha_{align} + \alpha_{met} + \alpha_r$$

Потери энергии излучения в оптической антенне и модуляторе передатчика включают в себя рассеяние, отражения от поверхностей, поглощение и прочие потери, и характеризуются коэффициентом передачи передающей системы:

$$\alpha_t = 10 \log \left(\frac{P_t}{P_{las}} \right),$$

где P_{las} – мощность лазера, а P_t – мощность на выходе передающей системы.

Потери излучения в приемной оптической антенне α_r вычисляются аналогичным образом.

Суммарные потери излучения в чистой атмосфере α_{atm} включают в себя потери из-за турбулентности внутри луча α_{turb} , фоновые потери α_{bgr} , и ослабление излучения за счет молекулярного поглощения и рассеяния α_{mol} :

$$\alpha_{\text{atm}} = \alpha_{\text{turb}} + \alpha_{\text{bgr}} + \alpha_{\text{mol}}.$$

Потери α_{turb} , вносимые турбулентностью атмосферы в работу АОЛС, как правило, не превышают 2 дБ/км [1].

Фоновые потери можно найти по выражению

$$\alpha_{\text{bgr}} = \xi S_r \angle \varphi \Delta \lambda,$$

где ξ – яркость фона $\left(\frac{\text{дБ}}{\text{см}^2 \cdot \text{ср} \cdot \text{мкм}} \right)$, S_r – площадь приемника (см^2), $\angle \varphi$ – угол зрения приемника (ср), $\Delta \lambda$ – диапазон длин волн принимаемый фотоприемником (мкм).

Потери за счет молекулярного поглощения и рассеивания α_{mol} практически не влияют на распространение излучения при правильном выборе рабочей длины волны, которая должна находиться на участках спектра атмосферы, занятых широкими окнами прозрачности или в промежутках между слабыми линиями поглощения, в микроокнах прозрачности.

Геометрические потери определяются как отношение радиуса луча в месте приема к радиусу приемной антенны:

$$\alpha_h = 20 \log \left(\frac{L \theta}{d_r} \right)$$

где θ – угол расходимости излучения – один из параметров передатчика, d_r – диаметр антенны приемника, L – расстояние между передатчиком и приемником.

Приведенные выражения справедливы для прямоугольной модели профиля пучка.

Дополнительные геометрические потери возникают из-за турбулентности атмосферы, приводящей к некоторому расширению пучка [2].

$$d_{h \text{ turb}} = d_{sp} (1 + T)^{\frac{1}{2}}$$

где $d_{h \text{ turb}}$ – диаметр пучка в плоскости приемной антенны с учетом турбулентности, d_{sp} – диаметр пучка в плоскости приемной антенны без учета турбулентности, T – параметр, учитывающий влияние турбулентности.

Величина дополнительных геометрических потерь на расхождение пучка под влиянием турбулентности атмосферы находится из отношения ширины пятна в плоскости приемной антенны с учетом турбулентности к ширине пятна без учета турбулентности [2]:

$$\alpha_{h \text{ turb}} = 10 \log \left(\frac{d_{h \text{ turb}}}{d_{sp}} \right)$$

Работа систем АОЛС существенным образом зависит от метеоусловий. Учет потерь α_{met} , вызванных метеоявлениями, характерными для места предполагаемой эксплуатации системы, играет ключевую роль в расчете энергетического бюджета линии.

Мощность сигнала при распространении в рассеивающей среде, согласно закону Бугера, уменьшается экспоненциально по длине трассы.

Отношение мощности сигнала на расстоянии L к его первоначальной величине определяется выражением

$$\frac{P_r}{P_t} = \exp(-\gamma L),$$

где γ (1/км) – общий коэффициент затухания, учитывающий влияние поглощения и рассеивания, на трассе передатчик – приемник.

Основным параметром, описывающим процесс взаимодействия оптического излучения с атмосферой, является метеорологическая дальность видимости (МДВ) V (км). Она определяется как расстояние, на котором видимое излучение источника света уменьшается в 50 раз по отношению к первоначальной величине:

$$V = \frac{\ln 50}{\gamma} = \frac{3,91}{\gamma}.$$

Факторы затухания рассеивания, обычно измеряемые в дБ/км, определяются как [3]

$$S = \frac{10 \log \left[\frac{I_0}{I(L)} \right]}{L} = 4,34\gamma.$$

Таким образом, МДВ (в км) и затухание рассеивания (в дБ/км), имеют тесную взаимосвязь между собой, которая выражается соотношением:

$$S(\text{дБ/км}) = \frac{17}{V(\text{км})}.$$

Тогда дополнительные потери на неблагоприятных метеоявлениях α_∂ будут определяться выражением

$$\alpha_\partial = SL.$$

Пользуясь выражением для расчета энергетического потенциала системы, можно вычислить запас мощности системы на преодоление ослабления неблагоприятными метеоявлениями A_{met} :

$$A_{\text{met}} = A - \alpha_\Sigma = 10 \log \left(\frac{P_t N}{P_r} \right) - \alpha_\Sigma,$$

где α_Σ – потери в линии связи, не зависящие от метеоусловий, то есть имеющие место в любом случае, даже при самой благоприятной погоде:

$$\alpha_\Sigma = \alpha_t + \alpha_{\Sigma \text{ об}} + \alpha_{\text{атм}} + \alpha_r.$$

Для любой конкретной аппаратуры АОЛС, обеспечивающей запас мощности A_{met} , и дальности связи L , можно рассчитать минимальное, или критическое, значение МДВ V_{\min} , при котором при ухудшении погодных условий происходит нарушение работоспособности канала АОЛС [4]:

$$V_{\min} = L \frac{\ln(50)}{\ln(K)},$$

где K – резерв мощности, $K = 10^{\frac{A_{\text{met}}}{10}}$, тогда

$$V_{\min} = \frac{L}{A_{\text{met}}} \frac{10 \ln(50)}{\ln(10)} = \frac{1}{0,06} \frac{L}{A_{\text{met}}}.$$

Отсюда, при известном значении V , для конкретного запаса мощности A_{met} , можно рассчитать максимально возможную дальность линии связи. Если известны статистические метеоданные, то при проектировании и расчете энергетического бюджета линии логично отталкиваться от как можно меньшего значения V для данной местности, что обеспечит высокую устойчивость системы к метеоявлениям.

Большая величина энергетического бюджета позволяет обеспечить работу системы при меньших дальностях видимости.

Для расчета дальности действия АОЛС в зависимости от МДВ и параметров компонентов, входящих в систему, было выведено следующее выражение:

$$L = \sqrt[3]{\frac{P_t N}{P_r} \frac{d_r^2 \tau_t \tau_r V \tau_{\text{атм}}}{50 \Theta^2}},$$

где τ_t , τ_r , – коэффициенты ослабления, которые соответствуют потерям в оптических антеннах, $\tau_{\text{атм}}$ – потери в чистой атмосфере.

Из этого соотношения видно, что на дальность действия системы влияют мощность передатчика и их количество, чувствительность приемника, расходимость излучения, а так же потери, вносимые различными факторами.

Таким образом, установленные взаимосвязи между параметрами компонентов систем АОЛС и характеристиками атмосферного канала связи позволяют выполнить расчет энергетического бюджета линии связи. Основной проблемой являются неблагоприятные метеоявления, такие как туман, способ-

ные вызвать значительное снижение МДВ. Для их преодоления требуется увеличение мощности или количества излучателей, либо чувствительности приемника, либо выбор излучателя с меньшей расходимостью. При наличии данных по МДВ для заданной местности, которыми обычно располагают местные аэропорты, представленная методика позволяет оптимально подобрать компоненты системы исходя из выдвинутых технических требований.

Библиографический список.

1. Милютин Е. Р. Энергетический бюджет атмосферной оптической линии связи // Вестник связи. 2010. №2.
2. Милютин Е. Р. Определение геометрических потерь в атмосферных оптических линиях связи // Вестник связи. 2005. №10.
3. Медвед Д. Б. Влияние погодных условий на беспроводную оптическую связь // Вестник связи. 2001. №4.
4. Сидорович В. Г., Рагульский В. В. О доступности атмосферных оптических линий связи // Оптика и спектроскопия. 2002. т. 93. №1.