

Т е м а № 2. «Зенитная управляемая ракета 9М39»

**Занятие № 10. «Влияние
окружающей среды на работу
ОЭУ».**

Вопросы занятия:

1-ый вопрос: Общие вопросы распространения излучения в атмосфере.

2-ой вопрос: Колебания прозрачности атмосферы и их влияние на работу ОЭУ.

1-ый вопрос: Общие вопросы распространения излучения в атмосфере.

Атмосфера оказывает существенное влияние на оптическое излучение, которое приводит с одной стороны к его ослаблению, а с другой – к снижению информативности. Поэтому на стадии разработки оптико-электронных приборов необходимо обеспечить учет влияния среды распространения, так как только при условии определения характера взаимодействия излучения и среды, в которой оно распространяется, можно обеспечить оптимальный выбор структуры и осуществить правильный расчет основных узлов передающей и приемной частей ОЭУ.

Выполнение важнейших требований к ОЭУ, таких, например, как достижение заданной дальности действия, помехозащищенности и точности измерений, также зависит от того, насколько правильно учтено это взаимодействие.

Общее ослабление оптического излучения в атмосфере обусловлено двумя основными процессами:

- **поглощением газовыми компонентами**, в результате которого происходит преобразование энергии излучения в другие ее виды;
- **молекулярным и аэрозольным ослаблением или рассеянием**, состоящим в изменении направленности излучения.

Снижение информативности оптического сигнала связано с влиянием турбулентности атмосферы.

Поглощение вызвано наличием в атмосфере ряда веществ (паров воды, углекислого газа, озона и др.), имеющих спектральные полосы поглощения в оптической области. Поглощение оказывает основное влияние на инфракрасное и ультрафиолетовое излучение.

Рассеяние энергии излучения на частицах, из которых состоит среда, - это отклонение потока от первоначального направления. При этом может иметь место и поглощение энергии излучения веществом этих частиц.

Влияние турбулентности проявляется в случайных изменениях оптических свойств атмосферы. К ним, в первую очередь, относятся случайные изменения фазы световой волны вследствие флуктуаций показателя преломления атмосферы. Их **влияние проявляется в мерцании (случайном изменении яркости наблюдаемого источника) и дрожании (случайном изменении пространственного положения изображения наблюдаемого источника).**

Кроме того, возможны и другие явления, связанные с неоднородностью атмосферы, например, рефракция, изменение плотности потока по сечению пучка и т. д.

Иногда, при большой мощности и малой длительности оптического сигнала, возникают нелинейные эффекты.

Физика процессов поглощения и рассеяния основана на взаимодействии ЭМВ оптического диапазона с молекулами газов и атмосферными аэрозолями. Установлено, что **общее ослабление излучения в оптически однородной среде описывается экспоненциальным законом Бугера:**

$$I_l = I_0 \exp(-al) = I_0 \tau,$$

где I_l - сила излучения, прошедшего путь l ; I_0 - сила излучения в начале трассы; a - показатель ослабления; τ - коэффициент поглощения среды для $l = 1$ км.

Учитывая избирательный по спектру характер процессов поглощения и рассеяния, величину $\tau = \tau(\lambda) = I_l(\lambda)/I_0(\lambda)$ (1) называют спектральным пропусканием слоя среды.

Условиями применимости закона Бугера в общем случае являются:

- отсутствие собственного свечения среды в рассматриваемом спектральном диапазоне;
- отсутствие индуцированного свечения среды;
- строгая монохроматичность излучения;
- небольшая мощность излучения, т. е. отсутствие нелинейных взаимодействий излучения с веществом, из которого состоит среда распространения;
- достаточная длительность распространяющихся в среде оптических сигналов, так как при очень коротких световых импульсах возможны нелинейные эффекты взаимодействия излучения с веществом среды, а также ряд других явлений.

С учетом двух основных факторов ослабления, поглощения и рассеяния, выражение для $\tau(\lambda)$ можно представить как

$$\tau(\lambda) = \tau_p(\lambda) \tau_r(\lambda), \quad (2)$$

где $\tau_p(\lambda) = \exp[-k_n(\lambda)l]$; $\tau_r(\lambda) = \exp[-a_a(\lambda)l]$; $k_n(\lambda)$ - спектральный монохроматический коэффициент поглощения; $a_a(\lambda)$ - спектральный монохроматический коэффициент аэрозольного ослабления (рассеяния).

Исходя из этого, для определения общего коэффициента пропускания атмосферы, что необходимо при определении основных характеристик ОЭУ, необходимо определить величину коэффициентов $k_n(\lambda)$ и $a_a(\lambda)$ при рассматриваемых метеоусловиях.

Факторы, вызывающие ослабление излучения:

- поглощение оптического излучения в атмосфере.
- рассеяние оптического излучения в атмосфере.

ОЭУ работают в условиях, когда излучение наблюдаемого источника поступает в приемное устройство ослабленным за счет влияния атмосферы. **Общее ослабление излучения в оптически неоднородной среде также описывается экспоненциальным законом Бугера,** аналитическое выражение которого в этом случае имеет следующий вид:

$$I_l(\lambda) = I_0(\lambda) \exp\left[-\int_0^l k_n(\lambda) dl\right],$$

где I_l – интенсивность потока излучения, прошедшего трассу, длиной l ; I_0 – интенсивность потока излучения в начале трассы.

Спектральный коэффициент поглощения $kn(\lambda)$ можно рассчитать на основании учета поглощения излучения с данной длиной волны каждой линией спектра. Кроме того, величину $kn(\lambda)$ можно определить экспериментально.

К основным процессам, сопровождающим распространение инфракрасного излучения в атмосфере, относится селективное поглощение парами воды, углекислым газом, озоном и метаном. В диапазоне длин волн свыше 1 мкм и на высотах до 12 км наибольшее значение имеет селективное поглощение оптического излучения молекулами водяных паров и углекислого газа.

Квантовая механика позволяет определить $kn(\lambda)$ в чисто вращательных спектрах молекул, но для $\lambda < 10$ мкм необходимо учитывать также их колебательные спектры, и в первую очередь молекул водяного пара.

Концентрация водяных паров в атмосфере является переменной величиной. Она зависит от географического положения, высоты, времени года, местных метеорологических условий и находится в пределах 0,001 – 4 % (по объему). С увеличением высоты содержание водяного пара в атмосфере резко уменьшается. Считается, что на высотах, превышающих 12 км, его влиянием можно пренебречь.

Экспериментально установлено, что в ультрафиолетовой области спектра основные линии поглощения создаются озоном. В совокупности эти линии создают так называемую картину поглощения излучения в атмосфере. Эта картина может несколько изменяться в зависимости от концентрации и состояния отдельных поглощающих веществ.

Поглощающие молекулы

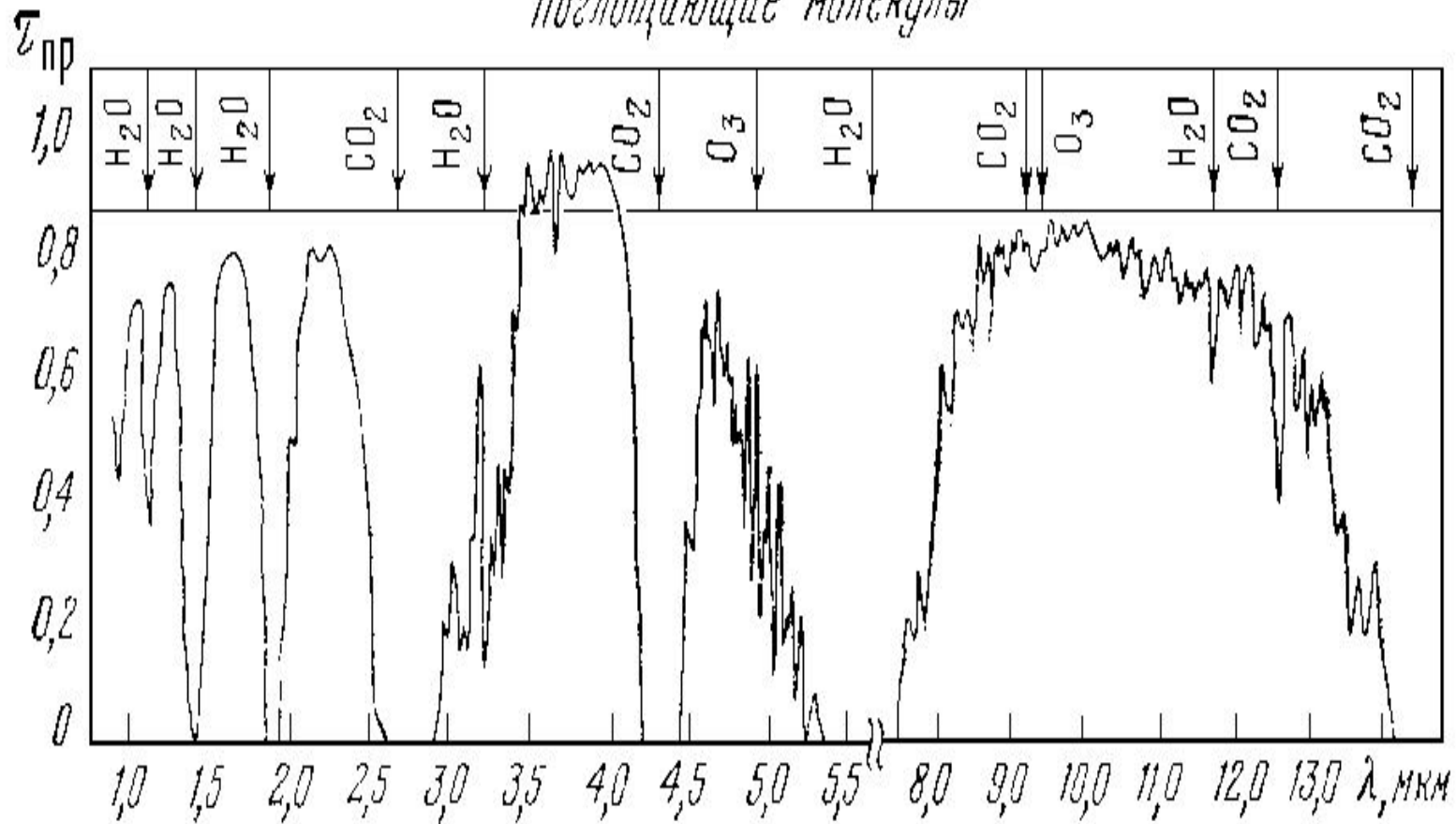


Рис. 1. Спектральное пропускание ИК-излучения атмосферой

На рис. 1. изображена кривая, характеризующая спектральное пропускание атмосферы на горизонтальной трассе, проходящей на уровне моря, протяженностью 1,8 км. В верхней части рисунка показано, молекулами каких газов поглощается инфракрасное излучение. Участки, характеризующиеся высоким пропусканием, называются "атмосферными окнами". Для правильного расчета схем и параметров ОЭУ необходимо знать положение этих окон прозрачности атмосферы. Наибольшие значения в современной инфракрасной технике имеют окна 0,95 - 1,05; 1,15 - 1,35; 1,5 - 1,8; 2,1 - 2,4; 3,3 - 4,2; 4,5 - 5,1; 8 - 13 мкм.

С увеличением высоты трассы уменьшается плотность воздуха и количество поглощающих компонентов, что приводит к заметному расширению окон прозрачности.

Таким образом, поглощение излучения носит ярко выраженный селективный характер и проявляется в виде полос поглощения или их совокупности, разделенных окнами пропускания, где ослабление незначительно. Внутри окон пропускания также происходит ослабление лучистой энергии, причиной которого является **рассеяние.**

Различают следующие виды рассеяния:

молекулярное (на частицах с $d \ll \lambda$);

дифракционное (на частицах с $d = \lambda$);

геометрическое (на частицах с $d \gg \lambda$).

Молекулярное поглощение обусловлено тем, что уровни энергии колебательных и вращательных движений молекул воды, углекислого газа и озона расположены именно в области частот оптического диапазона. Спектральный коэффициент молекулярного рассеяния $\sigma_{\text{рл}}$ определяется из выражения

$$\sigma_{\text{рл}} = 0,83 N A^3 \lambda^4 [\text{см}^{-1}],$$

где N – число молекул в 1 см^3 ; A – площадь поперечного сечения молекулы в см^2 ; λ – длина волны излучения в сантиметрах.

Аэрозольное рассеяние включает в себя не только рассеяние на частице, но и поглощение излучения ее веществом.

Анализ многочисленных расчетов и экспериментов показывает, что в ИК-области спектра оптического излучения молекулярным рассеянием можно пренебречь, а **при работе в видимой и ультрафиолетовой областях этот фактор должен обязательно учитываться.**

2-ой вопрос: Колебания прозрачности атмосферы и их влияние на работу ОЭУ.

При распространении оптического излучения в атмосфере наблюдается не только его ослабление, но и колебания его параметров - интенсивности, фазы, угла прихода и т. д. Эти колебания обусловлены турбулентными явлениями - колебаниями температуры, влажности, плотности воздуха, а, следовательно, и его показателя преломления. В результате турбулентных явлений в атмосфере создаются оптические неоднородности, геометрические размеры которых изменяются от миллиметров до нескольких сотен метров.

Колебания амплитуды и фазы волны в оптическом пучке приводят к изменению его структуры, расширению, колебаниям направления пучка и интенсивности сигнала.

Колебания интенсивности приходящего оптического сигнала называются мерцанием. Мерой колебания интенсивности служит дисперсия колебаний излучения источника σ_m^2 . Мерцание можно уменьшить путем увеличения диаметра входного зрачка оптической системы ОЭУ, однако, только до некоторого предела.

Мерцание имеет низкочастотный спектр. Максимум этого спектра лежит на частоте

$$f_m = 0,32v_{\perp} / \sqrt{\lambda}.$$

где обозначает v_{\perp} скорость ветра в направлении, перпендикулярном направлению излучения.

С увеличением зенитного расстояния Z наблюдаемого внеатмосферного источника амплитуда мерцания возрастает, так как увеличивается масса воздуха. Это возрастание подчиняется закону $\sec Z$. Частота мерцаний в этом случае уменьшается с ростом Z . Так у горизонта f_m обычно не превышает 5...10 Гц, а вблизи зенита она достигает иногда 1000 Гц.

Другим фактором являются колебания фазы и угла прихода излучения. Изменение оптической длины хода лучей из-за турбулентности приводит к колебаниям фазы вдоль и поперек пучка.

Поперечные колебания нарушают пространственную когерентность на волновом фронте, искривляют и изгибают пучок, вызывают дрожание изображения. Колебания вдоль пучка уменьшают временную когерентность пучка.

Среднее квадратическое отклонение угла прихода на приземных трассах (дрожание изображения) составляет единицы и десятки угловых секунд. Как и мерцание, дрожание возрастает по закону $\sec Z$, т. е. увеличивается с ростом зенитного расстояния Z при наблюдении звезд или других внеатмосферных излучателей.

Спектральная плотность мощности (распределение дисперсии по частотам) дрожания имеет низкочастотный характер. Максимум этого спектра наблюдается на ча

$$f = 0,22 v_{\perp} / D$$

где v_{\perp} - скорость ветра в направлении, перпендикулярном направлению излучения.

Выводы :

1. Общее ослабление оптического излучения при распространении в атмосфере обусловлено его поглощением в газовых компонентах и аэрозольным рассеянием.
2. Поглощение оптического излучения вызвано наличием в атмосфере ряда веществ (паров воды, углекислого газа, озона и др.), имеющих спектральные полосы поглощения в оптической области и оказывает основное влияние на ослабление инфракрасного и ультрафиолетового излучения.
3. Совокупность полос поглощения создает картину поглощения излучения в атмосфере, вследствие чего необходимо знать положение окон прозрачности при расчете ОЭУ.
4. Колебания прозрачности атмосферы приводят к колебаниям амплитуды и фазы оптического излучения, что вызывает изменение его структуры, расширению пучка, колебаниям его направления и интенсивности.