

Лазерные и телевизионные системы траекторных измерений

Лекция 3 Характеристики атмосферы,
2016 г.

9 семестр, кафедра РТПиАС, лектор:
доцент, к.т.н. Бугаев Юрий Николаевич

Структурная схема ЛТЛС



На параметры всех элементов системы мы можем как-то влиять, даже на цель, кроме атмосферы

Учет влияния атмосферы на итоговые ТТХ системы

- * При оценке потенциальных характеристик и вклада составляющих погрешностей измерений параметров движения цели, вероятности выполнения тактической задачи, качества изображения лазерно-телевизионных локационных измерительных систем (ЛТЛС) важнейшим этапом является учет влияния атмосферы на итоговые тактико-технические характеристики системы. Уже на самом первом этапе проектирования этот учет важен при выборе рабочих длин волн, хотя часто на выбор длины волны влияют и другие соображения, В частности при локации управляемых ЛА летчики очень болезненно реагируют на облучение в видимом диапазоне длин волн.

Характеристики атмосферы, влияющие на энергетический потенциал ЛТЛС

- * Рассмотрим характеристики атмосферы, влияющие на энергетический потенциал приемо-передающих каналов проектируемой ЛТЛС и имеющие важное значение для правильного выбора рабочих длин волн лазерных передатчиков, с точки зрения получения требуемой максимальной дальности действия системы.
- * Анализ проведен для тех длин волн лазерных передатчиков, для которых уровень достигнутых в отечественных разработках энергетических и других характеристик, важных для рассматриваемой задачи, потенциально соответствует требованиям к системе.

Длины волн лазерных передатчиков

- * Это длины волн $\lambda = 0,310$ мкм, $\lambda = 0,532$ мкм, $\lambda = 1,064$ мкм, $\lambda = 10,6$ мкм. Выбор этих диапазонов связан как с наличием окон прозрачности в атмосфере, так и наличия развитой элементной базы приемопередающей подсистемы ЛТЛС, так и потребностями заказчиков.
- * Сейчас модно использовать лазер с длиной волны 1,56 мкм- безопасный.

Ослабление лазерного излучения в атмосфере

- * Причиной ослабления лазерного излучения при прохождении через атмосферу служат несколько механизмов:
 - поглощение молекулами газов и водяного пара, присутствующими в атмосфере;
 - молекулярное рассеяние (рассеяние Релея);
 - рассеяние на аэрозолях (рассеяние Ми) и гидрометеорах.
- * Полный коэффициент пропускания атмосферой излучения лазера можно записать так:

$$\tau_{\text{атм}} = \tau_{\text{погл}} \cdot \tau_{\text{мол.расс}} \cdot \tau_{\text{аэроз.расс}}$$

Ослабление лазерного излучения в атмосфере

- * В зависимости от длины волны лазерного излучения некоторыми механизмами ослабления можно пренебрегать, другие становятся преобладающими
- * . В таблице 1.1 представлена сводка механизмов ослабления, которые учитывались в данном анализе для каждой из интересующих нас длин волн.

ТАБЛИЦА 1

$\lambda = 0,310$ мкм	$\lambda = 0,532$ мкм	$\lambda = 1,064$ мкм	$\lambda = 10,6$ мкм
– молекулярное рассеяние; – рассеяние на аэрозолях,	– молекулярное рассеяние; – рассеяние на аэрозолях,	– рассеяние на аэрозолях,	– поглощение молекулами CO_2 и водяного пара H_2O , присутствующими в атмосфере; – рассеяние на аэрозолях,

Ослабление за счёт поглощения

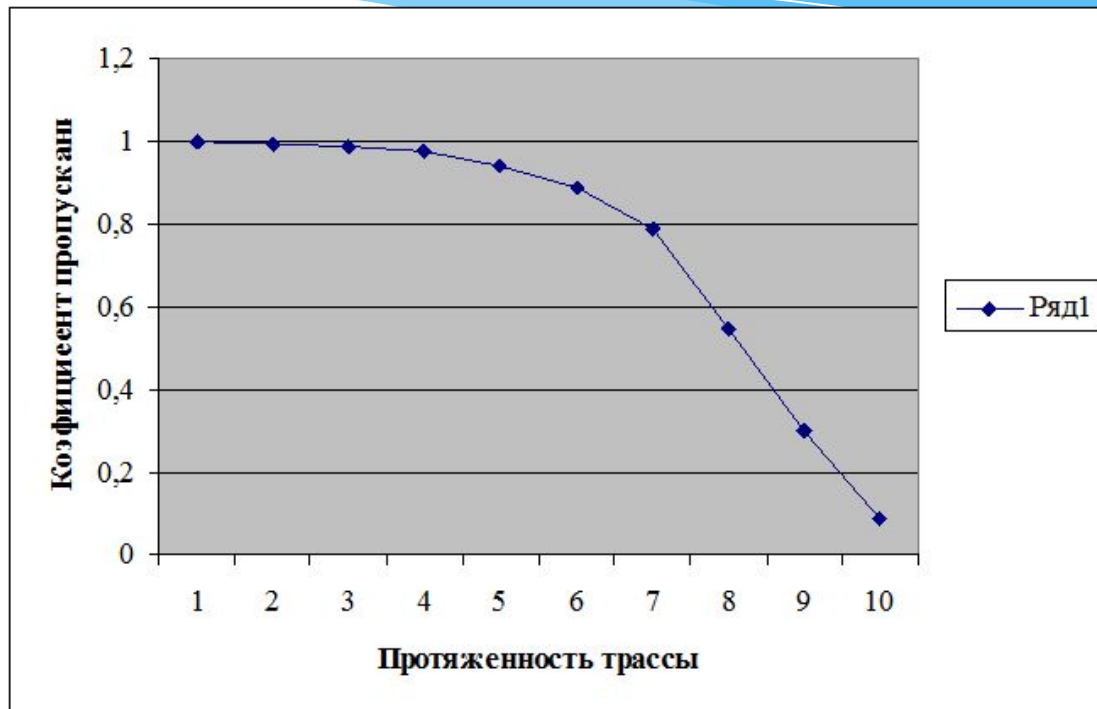
- * Поскольку механизм поглощения учитывается только для длины волны $\lambda = 10,6$ мкм, а в этом диапазоне основными поглощающими компонентами в атмосфере являются углекислый газ и пары воды, изложение в этом разделе ведётся для этого частного случая. Полный коэффициент поглощения излучения лазера в этом случае можно записать так:
- * $\tau_{\text{погл}} = \tau_{\text{H}_2\text{O}} * \tau_{\text{CO}_2}$
- * Значения $\tau_{\text{H}_2\text{O}}$ и τ_{CO_2} протабулированы для широкого диапазона изменения длины волны оптического излучения. В данном разделе приведены выдержки для интересующего нас участка спектра

- * Влиянием изменения температуры с высотой можно пренебречь. Поправки на изменение давления с высотой вводятся следующим образом.
- * Спектральное пропускание трассы, проходящей на высоте h и имеющей длину x , равно пропусканию эквивалентной трассы на уровне моря длиной x_0 , определяемой соотношением

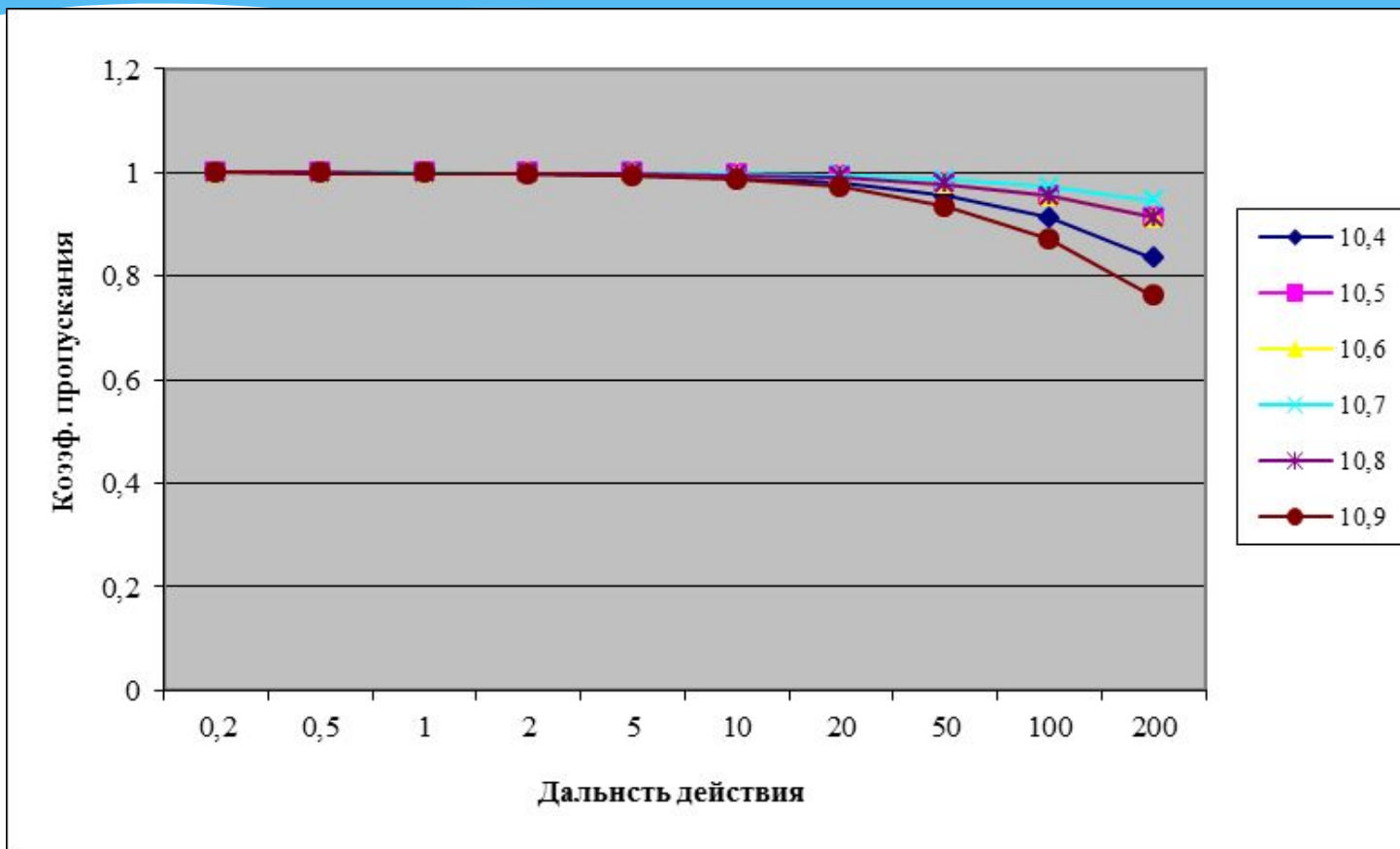
$$x_0 = x \cdot \left(\frac{P}{P_0} \right)^k,$$

- * где P/P_0 - отношение давления на высоте h к давлению на уровне моря. Показатель степени $k \approx 0,5$ для паров воды и $\approx 1,5$ для углекислого газа.

Спектральное пропускание паров воды для горизонтальной трассы на уровне моря



Спектральное пропускание углекислого газа для горизонтальной трассы на уровне моря



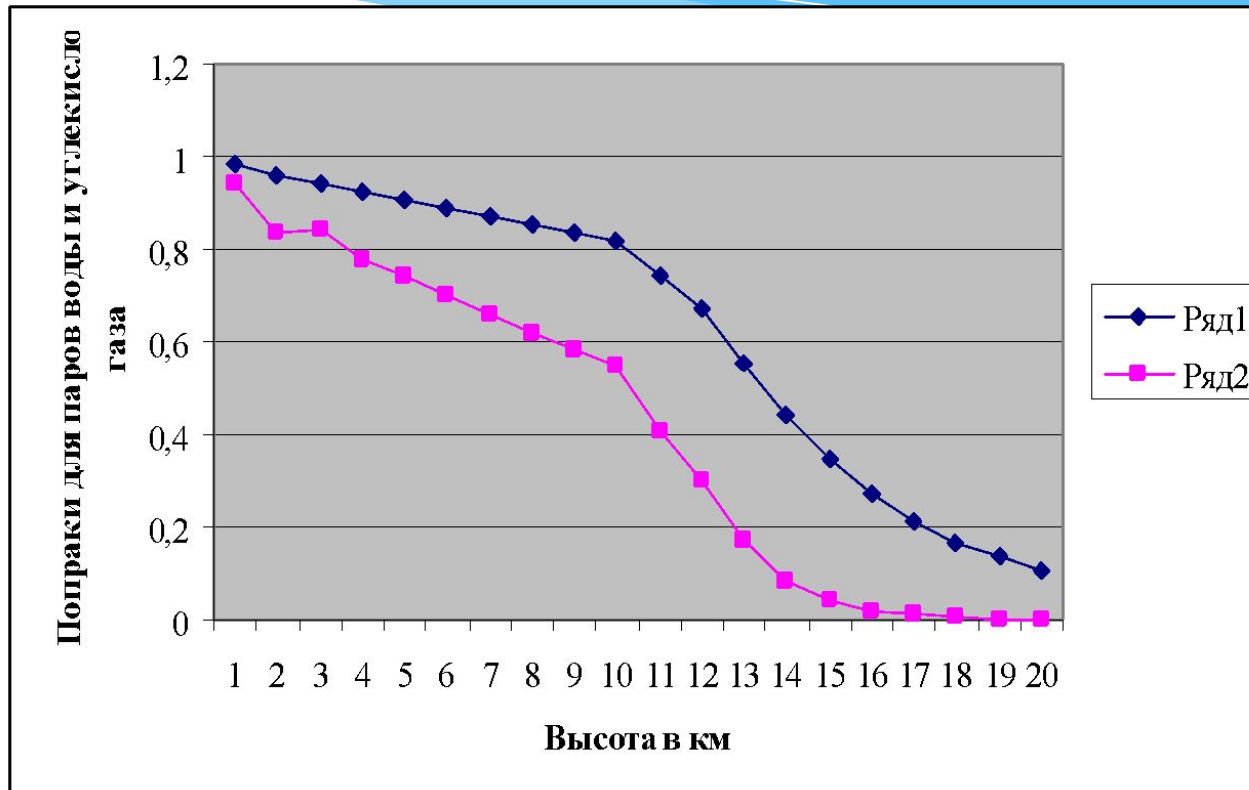
Оценка пропускания

- * Для целей оценок достаточную точность получаем, действуя следующим образом:
- * поскольку пары воды и углекислый газ сконцентрированы в приземном слое толщиной 30 км, расчет проводим для этого слоя, разделив его на десять слоев толщиной по 3 км для расчета поглощения углекислым газом и на 12 слоев (см. таблицу 4) для расчета поглощения парами воды. Для каждого слоя определяем коэффициент пропускания на основе данных, приведенных в таблицах этого раздела (таблицы 2; 3; 4; 5). Суммарный коэффициент пропускания получаем как произведение парциальных коэффициентов каждого слоя.
- * Для участка трассы, лежащей выше слоя 30 км, считаем пропускание равным единице.

Ослабление за счет молекулярного рассеяния

- * Поскольку величина рассеяния света в атмосфере на молекулах атмосферных газов пропорциональна λ^{-4} , эффекты молекулярного рассеяния проявляются в коротковолновой части оптического диапазона. В нашем случае учитываем этот эффект на длине волны $\lambda = 0,310$ мкм и $0,532$ мкм.

Поправки на высоту при расчете поглощения излучения водяным паром и углекислым газом



Поправка $(P/P_0)^k$ для паров воды

Поправка $(P/P_0)^k$ для углекислого газа

Объемный коэффициент полного рассеяния

- * Объемный коэффициент полного рассеяния с учетом анизотропии имеет вид:

$$\beta_m(\lambda, H) = \frac{8\pi^3(n^2 - 1)^2}{3N\lambda^4} \frac{6 + \delta}{6 - \delta^2}$$

где $N(H)$ – число молекул в единице объема,
 $n(H)$ – показатель преломления среды,
 λ – длина волны излучения,
 H – высота в атмосфере,
 δ – фактор, учитывающий анизотропию рассеяния (для воздуха $\delta = 0,035$).

Коэффициент ослабления оптического луча

- * Далее, коэффициент ослабления оптического луча, прошедшего путь с начальной высотой H_0 (высота размещения лазерной станции) и конечной высотой H , за счет молекулярного рассеяния равен

$$\tau_{\text{мол.расс}} = e^{-\int_{H_0}^H \sigma_m(\nu) \rho_m(z) dz}$$

Коэффициент ослабления оптического луча

- * Значения $\beta_m(\lambda, H)$ – протабулированы, кроме того, поскольку зависимость от высоты определяется стандартной моделью атмосферы, интеграл в последнем выражении по вертикальной трассе для всего слоя атмосферы может быть вычислен и представлен в виде

$$\int_{H_0}^{\infty} \beta_m(\lambda, h) dh = Z \cdot \beta_m(\lambda, 0),$$

Где: Z – приведенная высота атмосферы,
 $\beta_m(\lambda, 0)$ – значение на высоте H_0 .

Значения для $\beta_m(\lambda, 0)$ берем из таблицы.

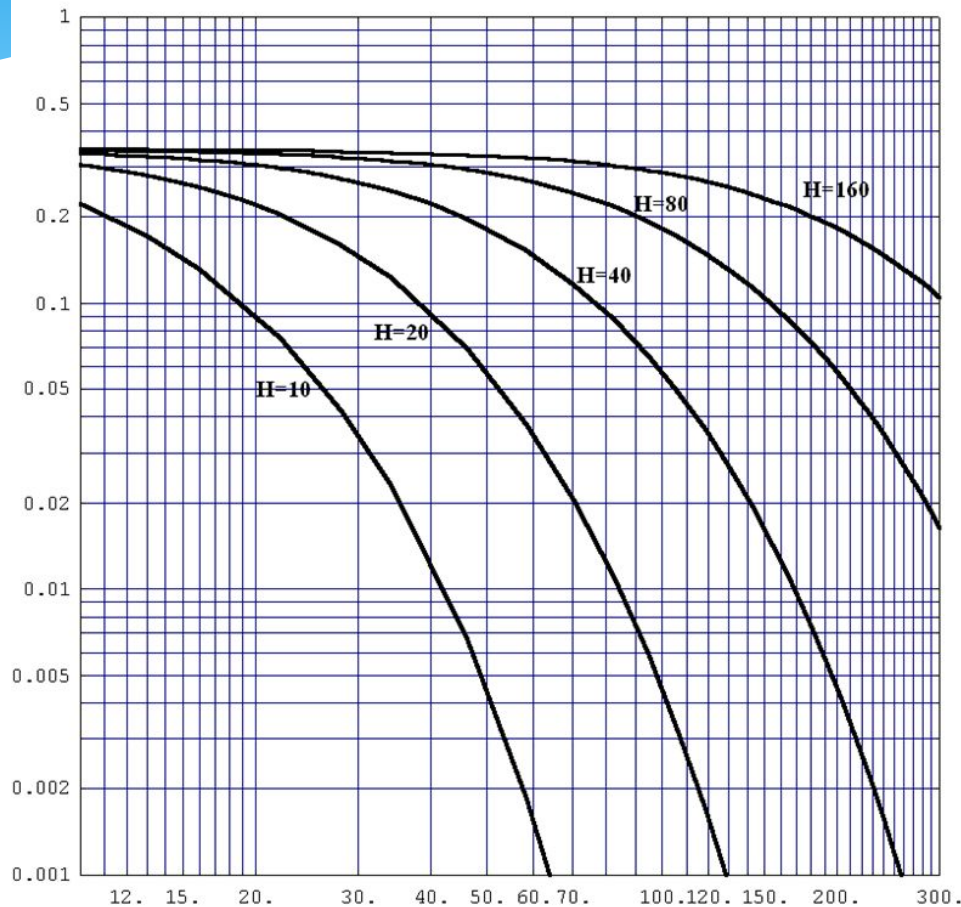
На уровне моря они равны:

$$\beta_m(\lambda=0,532 \text{ мкм}, 0) = 13,52 \times 10^{-3}, \text{ км}^{-1}.$$

Окончательное выражение для расчетов

- * **Окончательное выражение для расчетов** $\tau_{\text{мол,расс}}$
для наклонных трасс:
$$\tau_{\text{мол.расс}} = e^{-\frac{Z \cdot \beta_m(\lambda, 0)}{\sin \theta}},$$

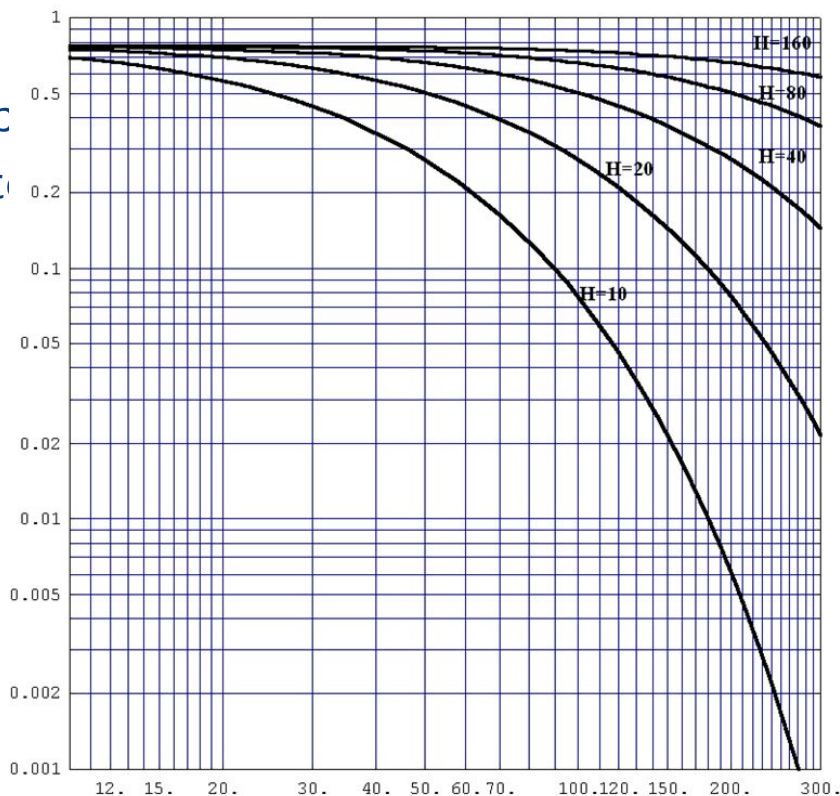
Зависимость коэффициента пропускания атмосферы на длине волны $\lambda = 0.310$ мкм



Зависимость коэффициента пропускания атмосферы на длине волны $\lambda = 0.310$ мкм (молекулярное рассеяние)

ЗАВИСИМОСТЬ КОЭФФИЦИЕНТА ПРОПУСКАНИЯ АТМОСФЕРЫ ОТ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ДАЛЬНОСТИ ДО ЦЕЛИ

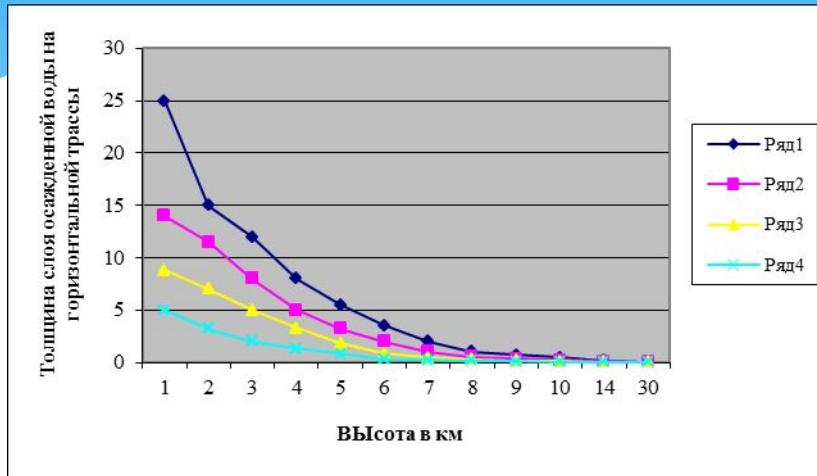
- * Метеор
- * Н – выс



V=23 км

Зависимость коэффициента пропускания атмосферы в одну сторону на длине волны $\lambda = 0.532$ мкм (аэрозольное рассеяние)

Значения слоя осажденной воды на горизонтальной трассе на разных высотах



Горизонтальная дальность R, км

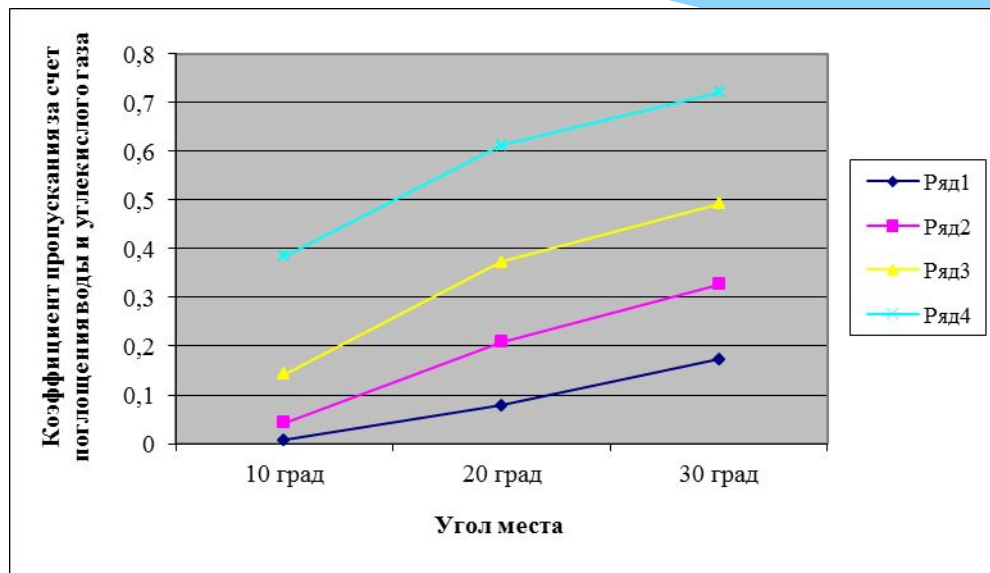
Ряд 1 - максимум для экваториальной зоны

Ряд2 - тропические зоны, весь год

Ряд 3 - умеренные зоны, лето

Ряд 4 - умеренные зоны, зима

Коэффициент пропускания атмосферы за счет поглощения парами воды и углекислым газом для нескольких типичных углов места.



Ряд 1 - максимум для экваториальной зоны

Ряд2 - тропические зоны, весь год

Ряд 3 - умеренные зоны, лето

Ряд 4 - умеренные зоны, зима

Ослабление за счет аэрозольного рассеяния

- * Расчет коэффициента пропускания атмосферы (в одну сторону) за счет аэрозольного рассеяния проводим по стандартной методике

$$\tau_{\text{аэроз.расс.}} = \exp \left[- \left(\frac{3.91}{V} \right) \left(\frac{0.55}{\lambda} \right)^q \cdot \frac{b \cdot \sqrt{R^2 + H^2}}{H} \left(1 - e^{-\frac{H}{b}} \right) \right],$$

Где:

V – метеорологическая дальность видимости в атмосфере, км;

H – высота цели, км;

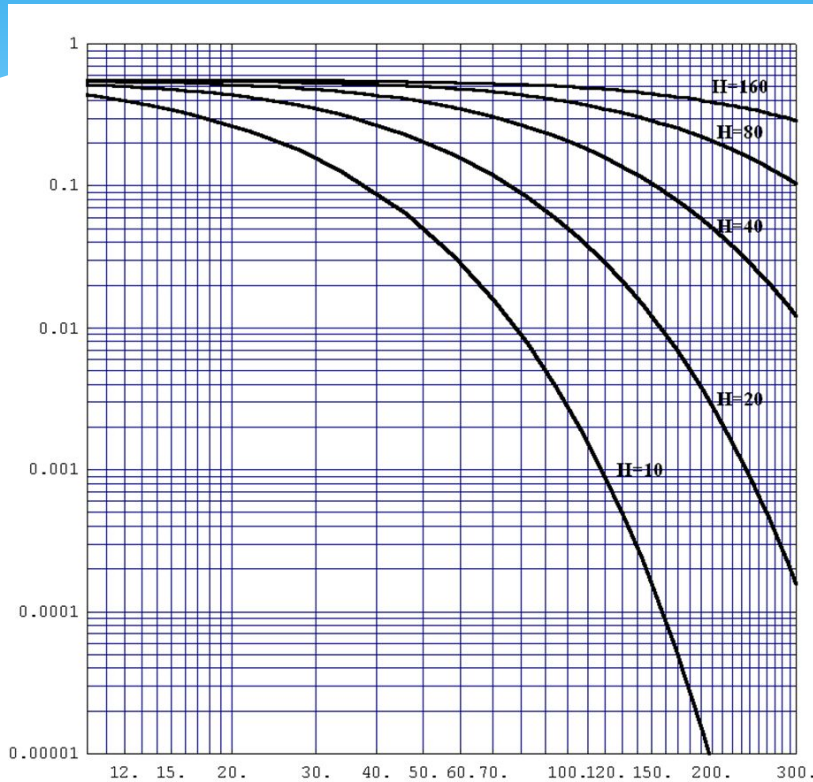
R – горизонтальная дальность до цели, км;

b – табличный параметр, км

λ – длина волны излучения, мкм.

$$q = 0.585 \cdot V^{1/3},$$

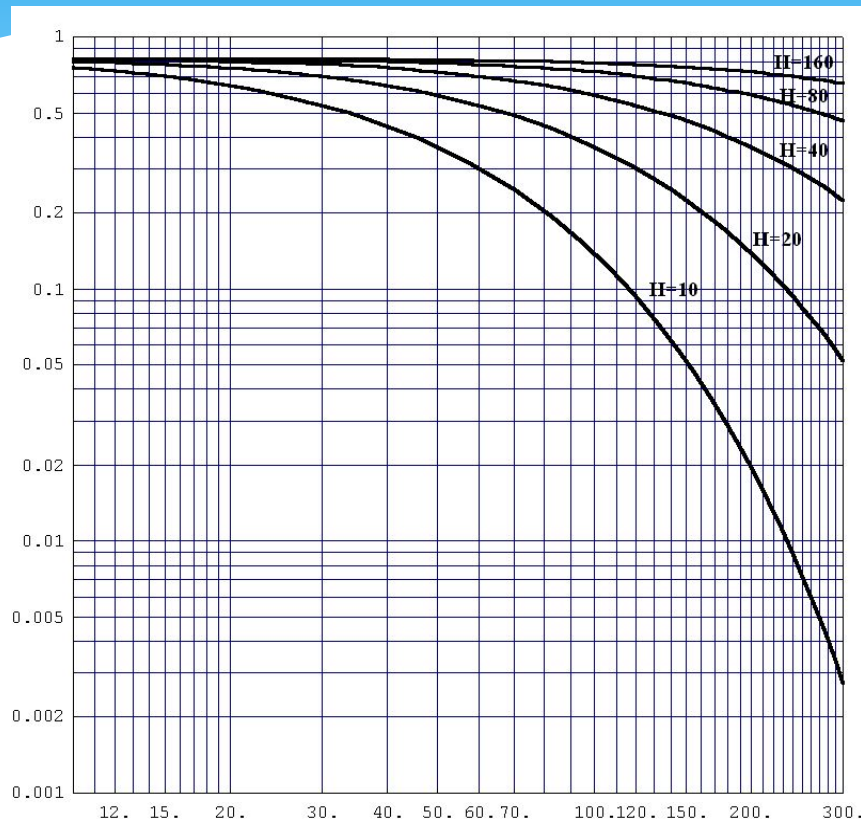
ЗАВИСИМОСТЬ ПОЛНОГО КОЭФФИЦИЕНТА ПРОПУСКАНИЯ АТМОСФЕРЫ



(учитывается молекулярное рассеяние и рассеяние на аэрозолях)

Зависимость полного коэффициента пропускания атмосферы в одну сторону на длине волны $\lambda = 0.532$ мкм

Зависимость полного коэффициента пропускания атмосферы в одну сторону на длине волны $\lambda = 1.064$ мкм



Метеорологическая дальность видимости, МДВ=5 км

Зависимость полного коэффициента пропускания атмосферы в одну сторону на длине волны $\lambda = 1.064$ мкм