

*Повышение эффективности  
передачи данных в научных  
экспериментах дальнего  
космоса*

Михаил Николаевич Андрианов,

Владимир Иванович Костенко

ГЗ ФИАН N2 0023- 2019-0010

АКЦ ФИАН

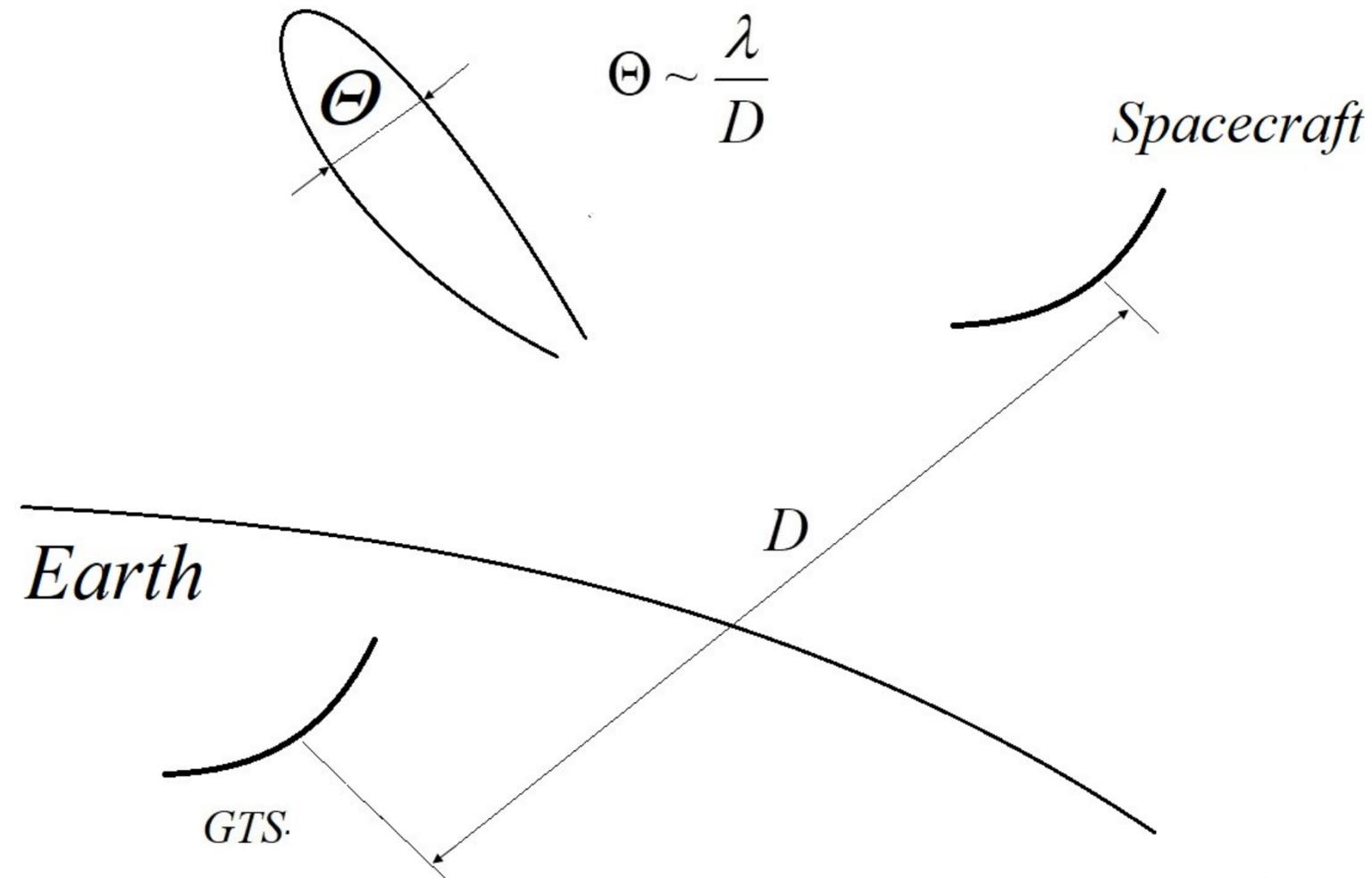
+7-926-551-79-85; mihai-andrian@asc.rssi.ru



тема «\_Астрофизика и космология, физика Солнца,  
рентгеновская и инфракрасная астрономия.»  
ГЗ ФИАН N2 0023- 2019-0010



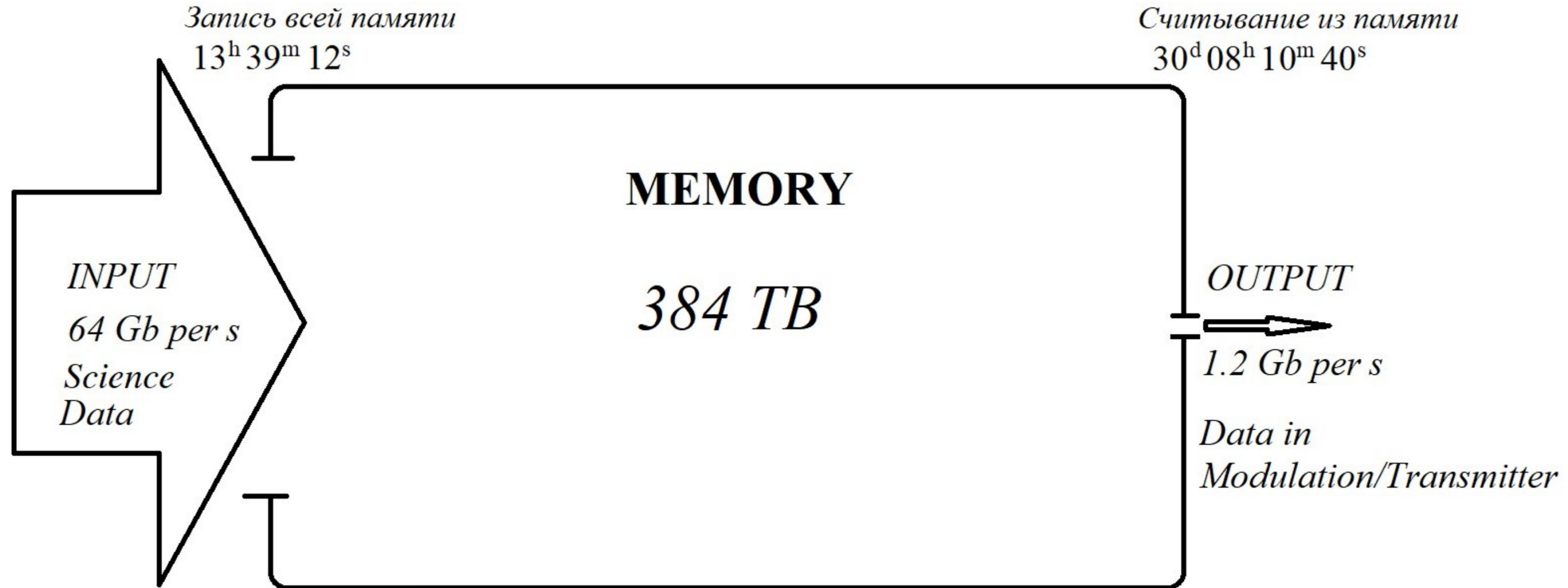
Телескопы сверхвысокого разрешения необходимы для изучения квазаров, черных дыр, активных ядер галактик и поиска кротовых нор



Структурная схема наземно-Космического (*Earth-Space*) радиointерферометра

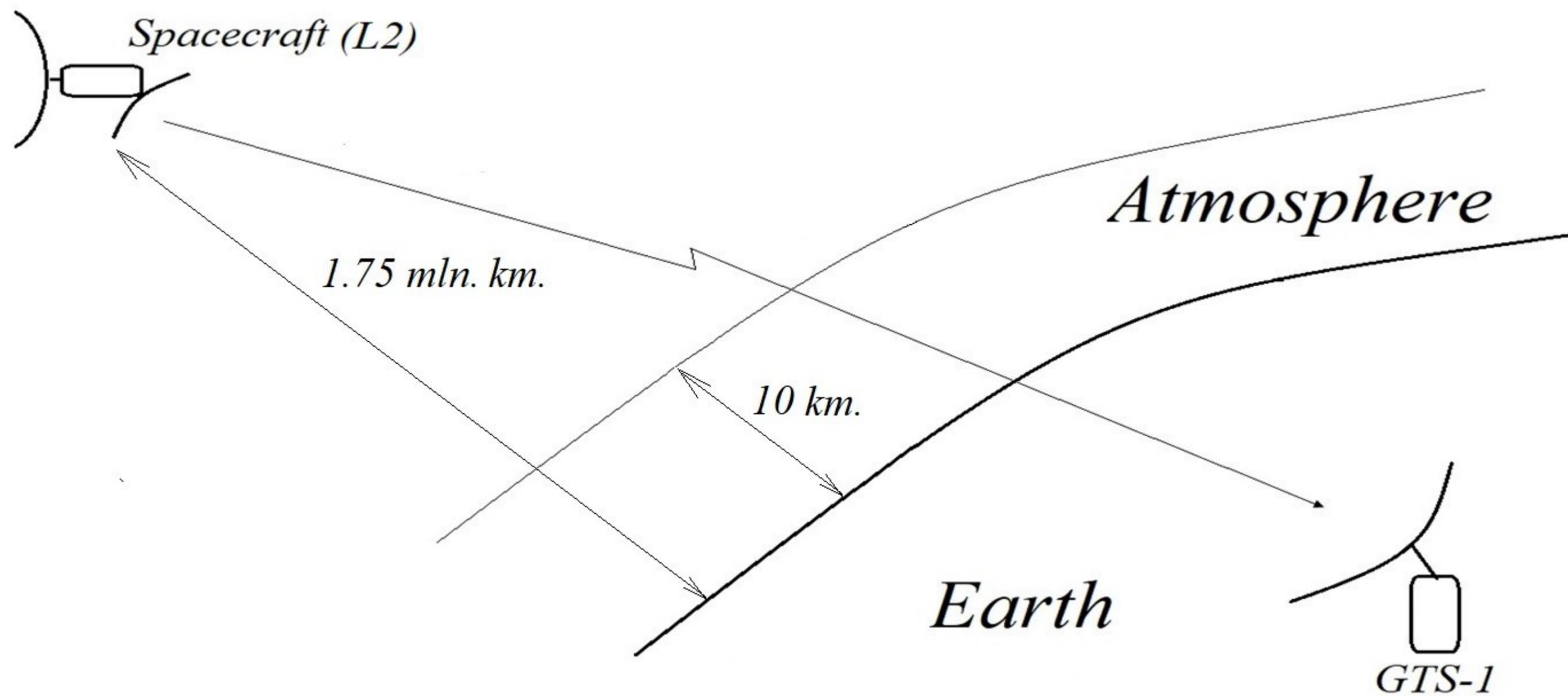


# Запись/считывание данных в/из бортовой памяти



$$\eta = \frac{OUTPUT}{INPUT} = \frac{1.2}{64} = 0.01875 = 1.875\%$$

$$\eta_{\text{Steam Locomotive}} = 7 \div 8\%$$





# Необходимо существенно увеличить скорость передачи данных по линии Космический аппарат - Наземная станция слежения (НСС) 20 Гбит/с

Более 90% беспроводных систем передачи данных реализуют передачу по каналам с мультипликативной помехой. Сигналы, распространяющиеся в этих каналах, претерпевают глубокие флуктуации и сильные замирания.

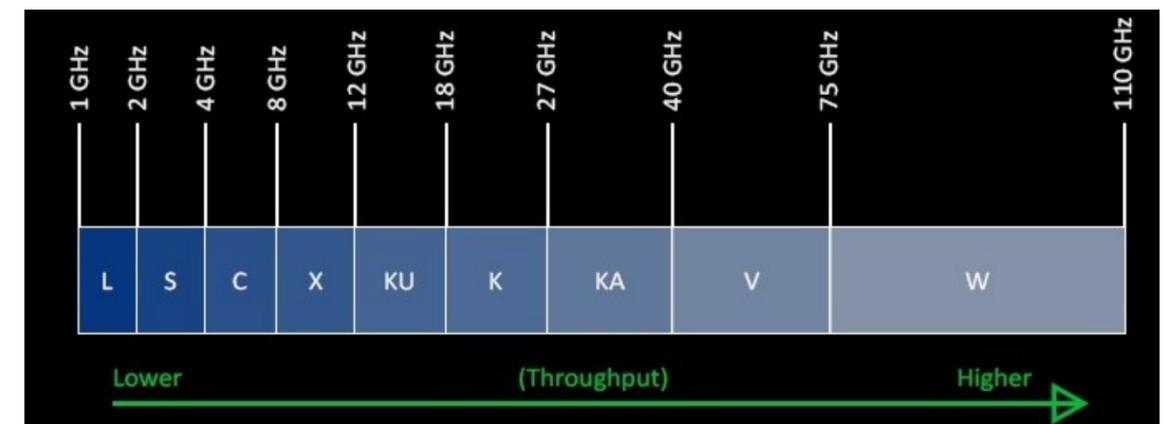
Сигналы миллиметрового диапазона, распространяющиеся в тропосфере, испытывают флуктуации амплитуды по логарифмически нормальному закону

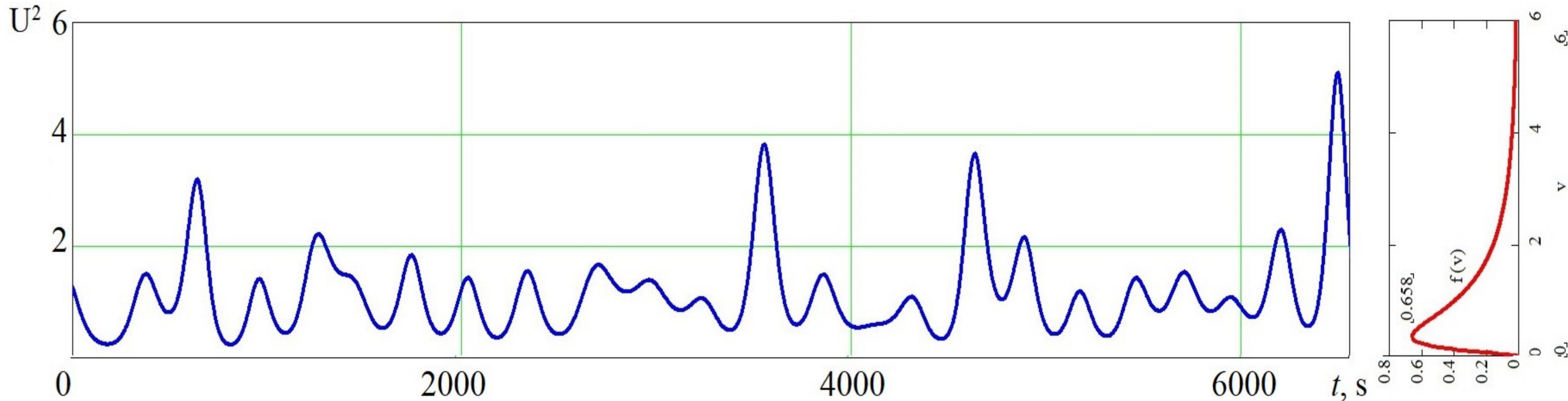
Повышение эффективности беспроводной передачи данных в условиях сильных и длительных замираний сигнала с помощью помехоустойчивого кодирования малоэффективно и приводит к существенному усложнению алгоритма обработки данных

Использование прерывания передачи данных в условиях мультипликативной помехи мало изучено. Его использовали, например, в метеорной связи. Представлен в работах некоторых ученых специалистов связи. Например, в работе (монографии, книге) Зюко о помехоустойчивых и эффективных системах связи [1].



20 Гбит/с





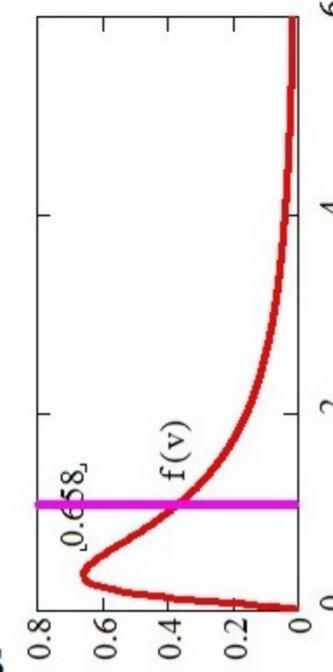
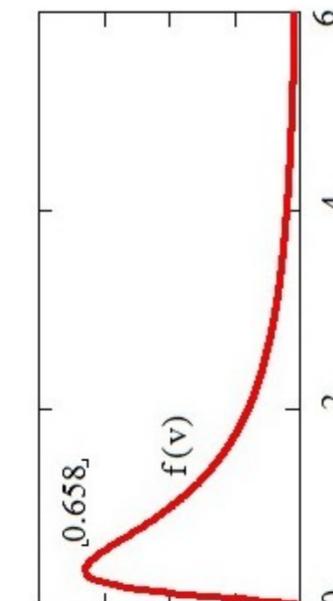
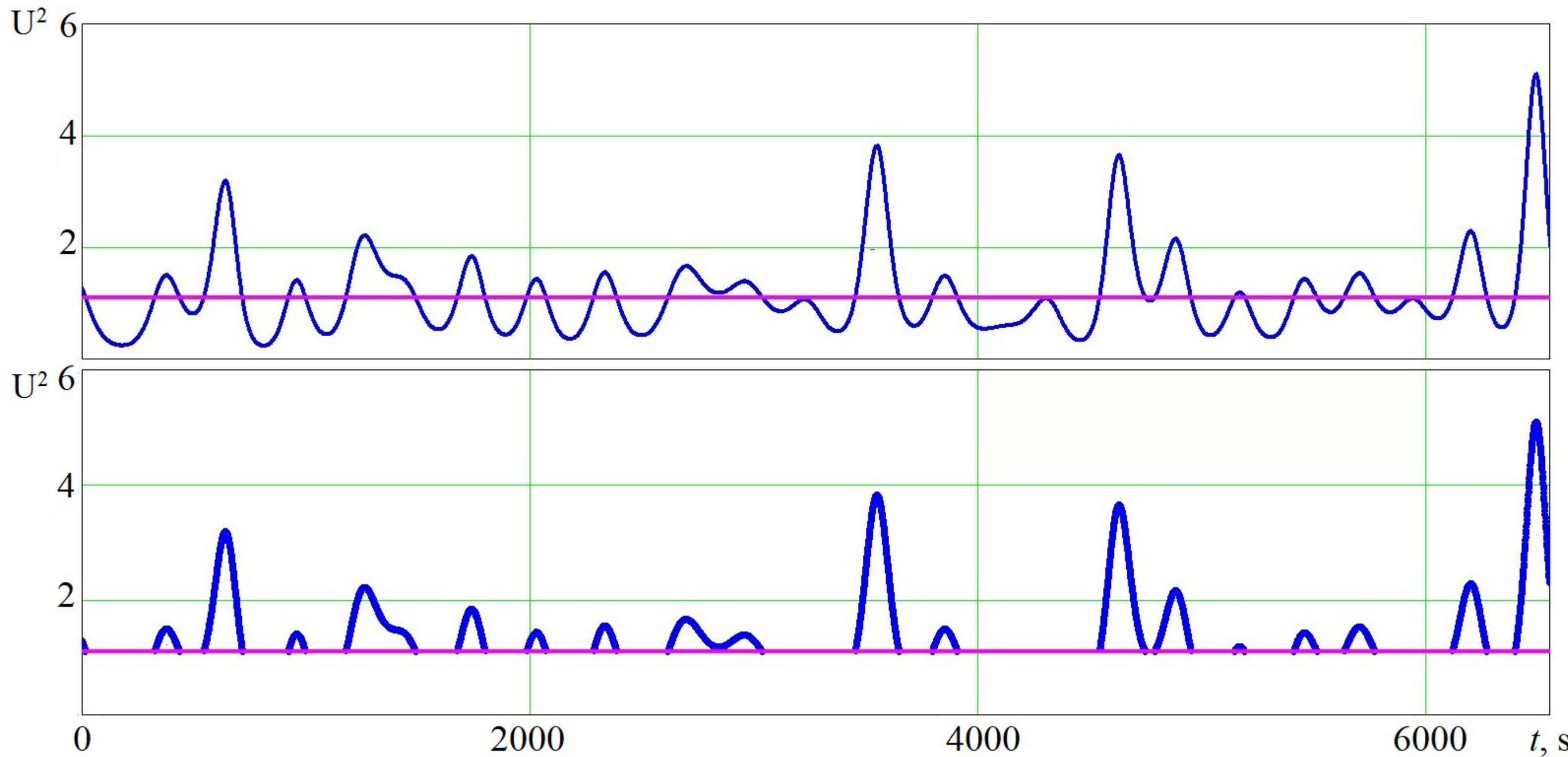
$$p(\gamma) = \frac{1}{2 \cdot \sqrt{2 \cdot \pi \cdot \sigma_\chi^2}} \cdot \frac{1}{\gamma} \cdot \exp \left[ - \frac{\left( \ln \sqrt{\frac{\gamma}{\gamma_0}} + \sigma_\chi^2 \right)^2}{2 \cdot \sigma_\chi^2} \right]$$



# Вероятности ошибок в тропосферном канале при модуляции (Quadrature Phase Shift Key)

$$P_e(\gamma_0) = \frac{1}{4 \cdot \sqrt{2 \cdot \pi \cdot \sigma_x^2}} \cdot \int_0^{\infty} \frac{1}{\gamma} \cdot \exp \left[ - \frac{\left( \ln \sqrt{\frac{\gamma}{\gamma_0}} + \sigma_x^2 \right)^2}{2 \cdot \sigma_x^2} \right] \cdot \operatorname{erfc} \sqrt{\alpha \gamma} d\gamma$$

# Режим прерывистого излучения сигналов в тропосферном канале с логнормальными амплитудными флуктуациями



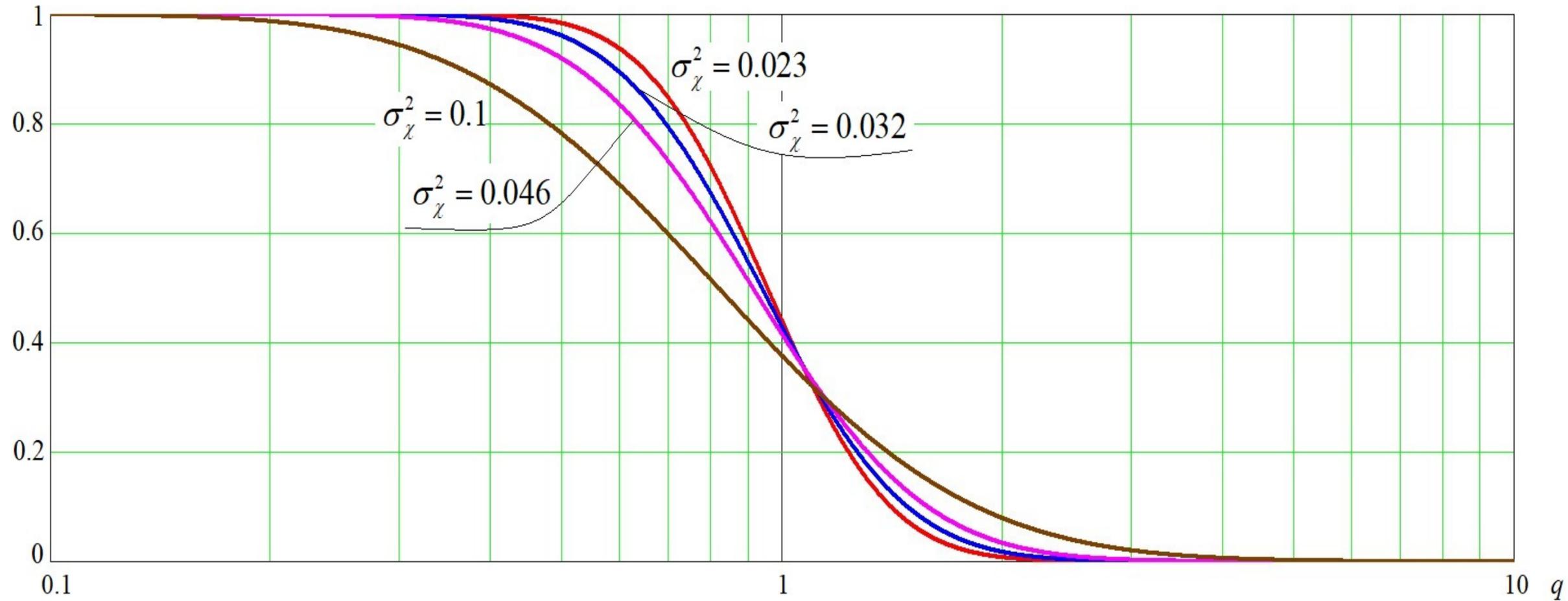


$$\eta(\gamma_t) = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_\chi^2}} \int_{\gamma_t}^{\infty} \frac{1}{\gamma} \cdot \exp\left[-\frac{\left(\ln\sqrt{\frac{\gamma}{\gamma_0}} + \sigma_\chi^2\right)^2}{2\sigma_\chi^2}\right] \cdot d\gamma = \frac{1}{2} \cdot \operatorname{erfc}\left(\frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{\ln\sqrt{\frac{\gamma_t}{\gamma_0}} + \sigma_\chi^2}{\sigma_\chi}\right)$$

*если*  $q = \frac{\gamma_t}{\gamma_0}$  *Нормированный уровень порога*

$$\eta(q) = \frac{1}{2} \cdot \operatorname{erfc}\left(\frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{\ln\sqrt{q} + \sigma_\chi^2}{\sigma_\chi}\right)$$

# Коэффициент использования радиолинии



$$\sigma_{\chi}^2 = 0.023 \quad \varphi = 90^\circ \quad l = 10 \text{ km}$$

$$\sigma_{\chi}^2 = 0.032 \quad \varphi = 45^\circ \quad l = 14.13 \text{ km}$$

$$\sigma_{\chi}^2 = 0.046 \quad \varphi = 30^\circ \quad l = 20 \text{ km}$$

$$\sigma_{\chi}^2 = 0.1 \quad \varphi = 13^\circ \quad l = 43.8 \text{ km}$$

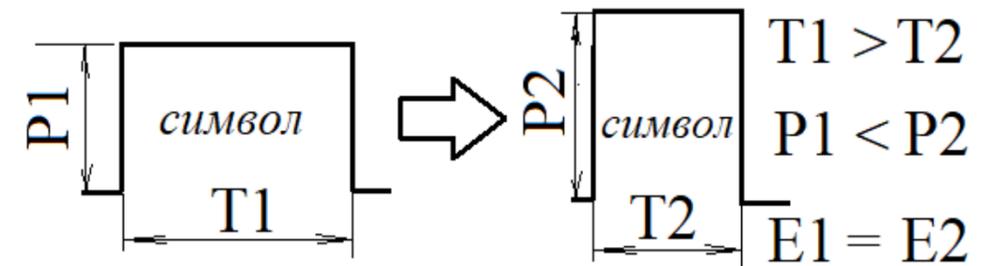
# Вероятности ошибок в тропосферном канале в режиме прерывистого излучения



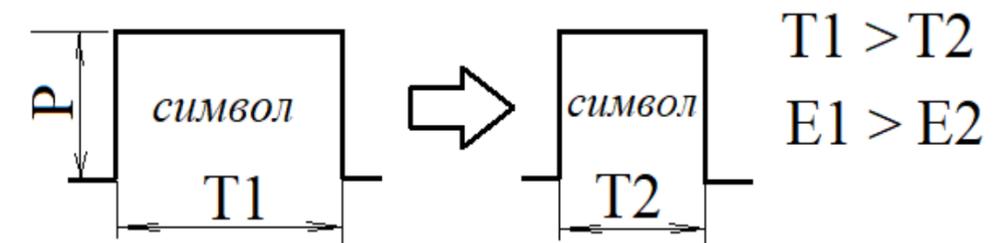
$$P_e(\gamma_0) = \frac{1}{4 \cdot \sqrt{2} \cdot \pi \cdot \sigma_x^2} \cdot \int_0^{\infty} \frac{1}{\gamma} \cdot \exp \left[ - \frac{\left( \ln \sqrt{\frac{\gamma}{\gamma_0}} + \sigma_x^2 \right)^2}{2 \cdot \sigma_x^2} \right] \cdot \operatorname{erfc} \sqrt{\alpha \gamma} d\gamma$$

$$E = P \cdot T$$

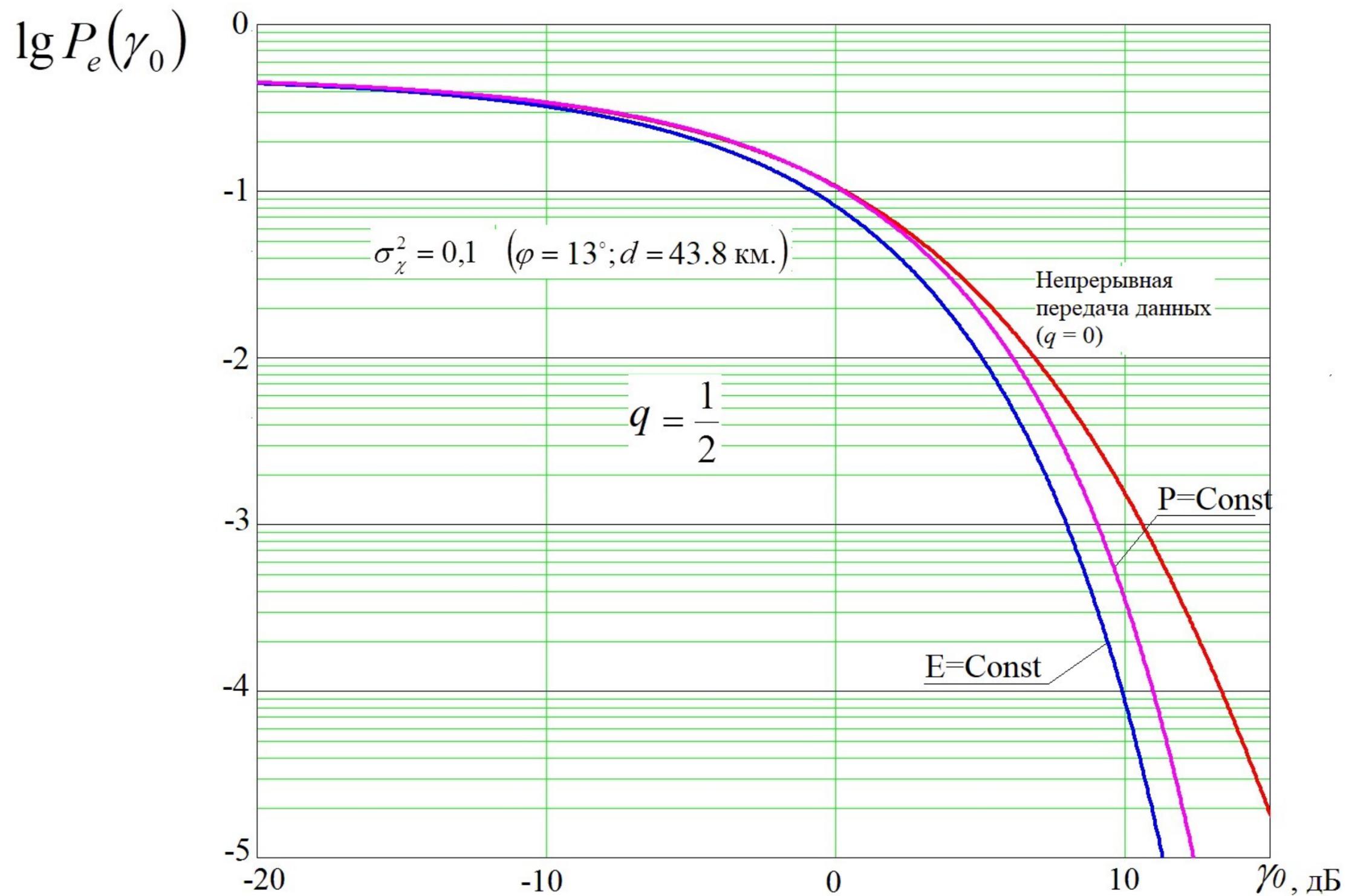
$$P_e(\gamma_0) = \frac{1}{4 \cdot \eta(q) \sqrt{2} \cdot \pi \cdot \sigma_x^2} \cdot \int_{q \gamma_0}^{\infty} \frac{1}{\gamma} \cdot \exp \left[ - \frac{\left( \ln \sqrt{\frac{\gamma}{\gamma_0}} + \sigma_x^2 \right)^2}{2 \cdot \sigma_x^2} \right] \cdot \operatorname{erfc} \sqrt{\alpha \gamma} d\gamma$$



$$P_e(\gamma_0) = \frac{1}{4 \cdot \eta(q) \sqrt{2} \cdot \pi \cdot \sigma_x^2} \cdot \int_{q \gamma_0 \eta(q)}^{\infty} \frac{1}{\eta(q) \gamma} \cdot \exp \left[ - \frac{\left( \ln \sqrt{\frac{\gamma}{\gamma_0 \cdot \eta(q)}} + \sigma_x^2 \right)^2}{2 \cdot \sigma_x^2} \right] \cdot \operatorname{erfc} \sqrt{\alpha \gamma} d\gamma$$



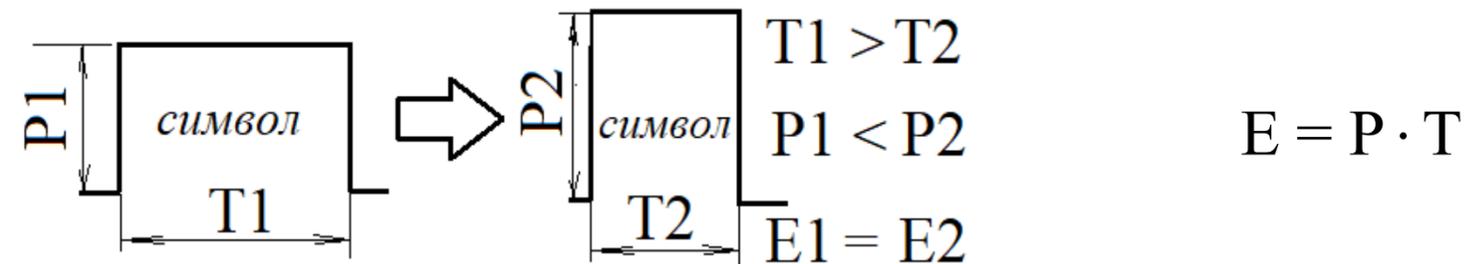
# Вероятности ошибок в тропосферном канале в режиме прерывистого излучения



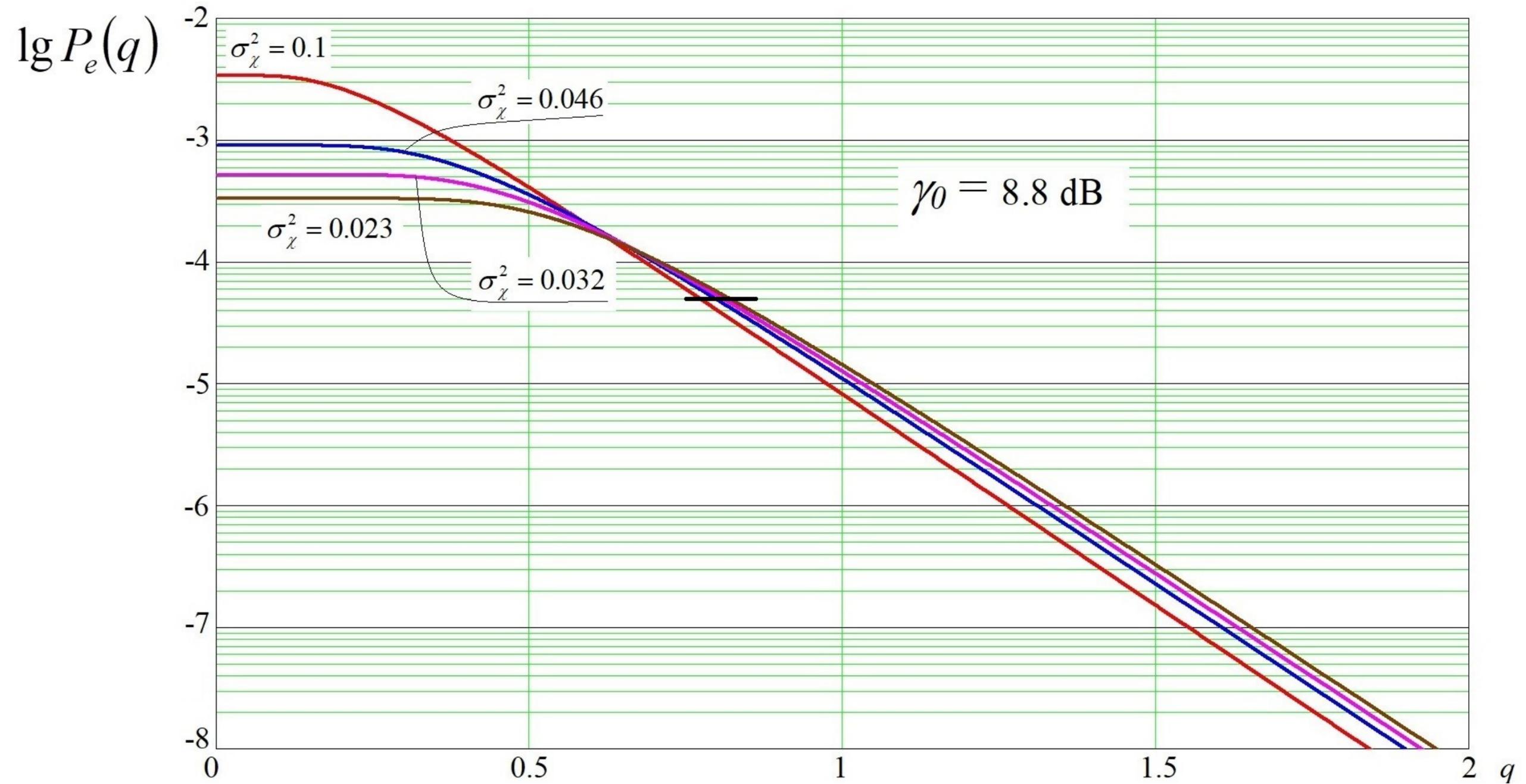
# Вероятности ошибок в тропосферном канале в режиме прерывистого излучения при фиксированной энергии символа



$$P_e(q) = \frac{1}{4 \cdot \eta(q) \sqrt{2 \cdot \pi \cdot \sigma_x^2}} \cdot \int_{q \gamma_0}^{\infty} \frac{1}{\gamma} \cdot \exp \left[ - \frac{\left( \ln \sqrt{\frac{\gamma}{\gamma_0}} + \sigma_x^2 \right)^2}{2 \cdot \sigma_x^2} \right] \cdot \operatorname{erfc} \sqrt{\alpha \gamma} d\gamma$$



# Вероятности ошибок в тропосферном канале в режиме прерывистого излучения от $q$ при фиксированной энергии символа



$$P_e(\gamma_0) = \frac{1}{2} \cdot \text{erfc} \sqrt{\alpha \gamma_0} = 4.909 \cdot 10^{-5}$$



1. Применение радиоволн миллиметрового диапазона позволяет обеспечить более высокую скорость передачи данных вследствие возможности использовать более широкую полосу частот для передачи данных.
2. Радиоволны коротковолнового миллиметрового диапазона обеспечивают более высокое антенное усиление, позволяют применять VSAT технологию.
3. Применение технологии прерывистой передачи данных при неизменной энергии символа путём снижения его длительности обеспечивает монотонное снижение вероятности ошибки при возрастании нормированного уровня порога ( $q$ ).



Спасибо за внимание,  
ДОКЛАД ОКОНЧЕН.