



Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего  
профессионального образования  
Санкт-Петербургский государственный  
университет аэрокосмического  
приборостроения

# Разработка волоконно-оптического пожарного извещателя оксида углерода и дыма

Выполнил студент гр. 2635М  
Мосенцов С.Н.

Руководитель:  
доцент, к.т.н. Москалец О.Д.

# Цель работы

- Теоретическое обоснование принципов работы, проектирование и расчет структурных элементов, входящих в сенсор.

# Задачи

- Исследовать механизм взаимодействия частиц дыма и оксида углерода с лазерным излучением;
- разработать оптическую линзовую систему чувствительного элемента;
- оценить энергетические дифракционные потери в чувствительном элементе;
- оценить итоговое затухание в системе.

# Поглощение излучения газами

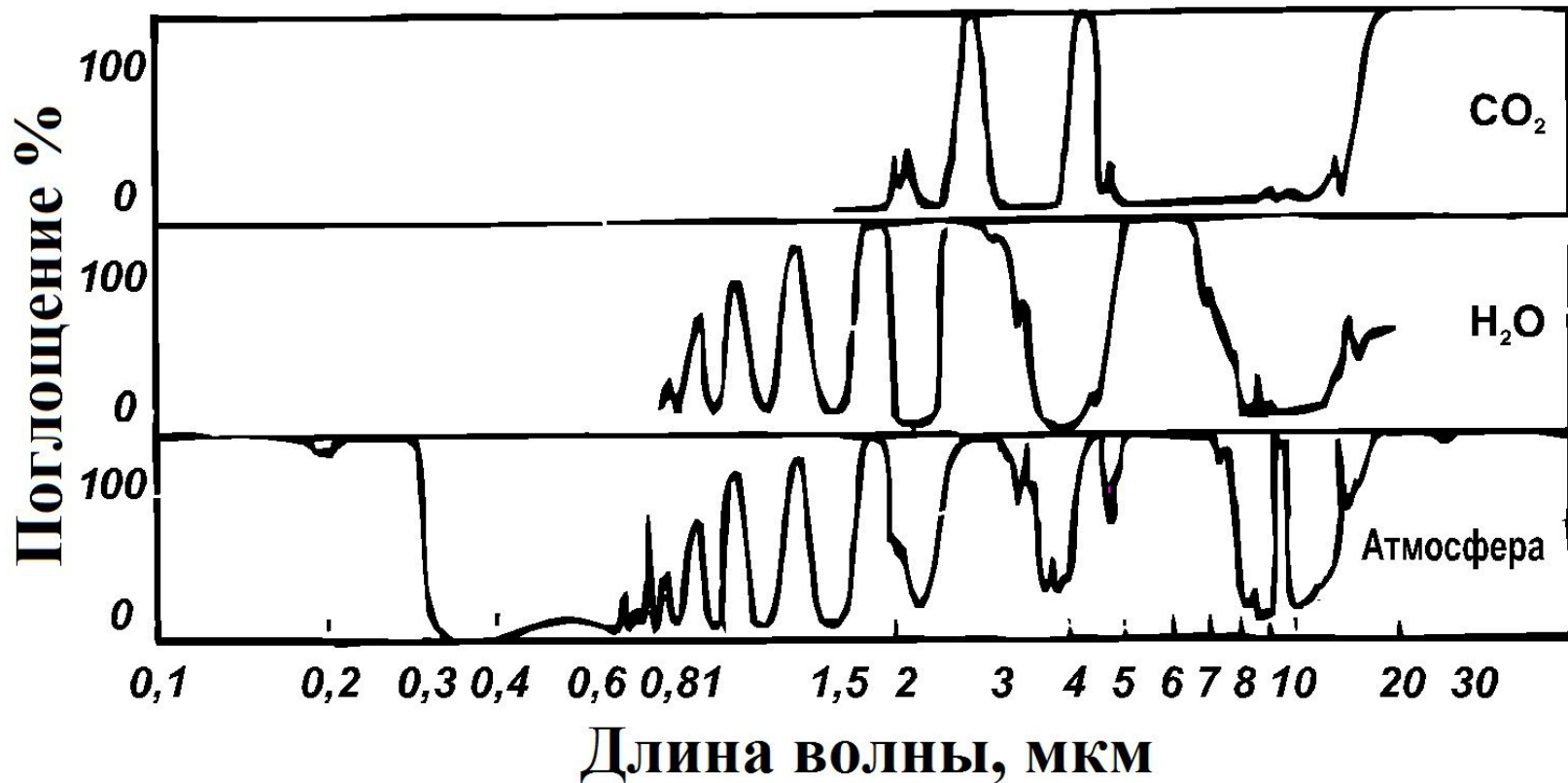


Иллюстрация 1 - Поглощение излучения в ближнем ИК-диапазоне.

# Поглощение излучения газами

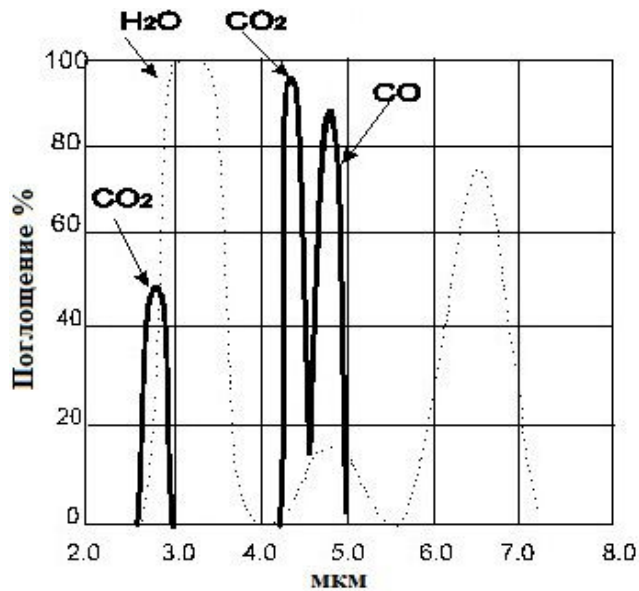


Иллюстрация 2 -

Поглощение излучения в ближнем ИК-диапазоне.

$$\Gamma = \frac{8 \cdot \pi^3 \cdot (n^2 - 1)^2}{3 \cdot N_m \cdot \lambda^4}, \quad (1)$$

где  $N_m$  - количество молекул газа,  
 $\lambda$  - длина ИК излучения,  
 $n$  - показатель преломления воздуха.

$$\Gamma = \frac{\Phi_0}{\Phi}, \quad (2)$$

где  $\Phi_0$  и  $\Phi$  - потоки излучений до и после прохождения через толщу поглощающих газов.

# Поглощение излучения газами

$N_M$  при 25 ppm для  $CO_2$  и 17,5 ppm для CO [4],

$L_{\text{пучка}} = 0,1$  м,  $d_{\text{пучка}} = 0,02$  м;

$n$  - показатель преломления воздуха;

$\Phi_0 = 1$  Вт;       $\lambda_1 = 4,2$  мкм и  $\lambda_2 = 4,7$  мкм.

$$\Gamma_{4.2} \approx 36.41$$

$$\Gamma_{4.7} \approx 33.168$$

$$\Phi_{4.2} \approx 0.027 \text{ Вт}$$

$$\Phi_{4.7} \approx 0.03 \text{ Вт}$$

$$\text{Ослабление} \approx 15.6 \text{ дБ}$$

$$\text{Ослабление} \approx 15.2 \text{ дБ}$$

# Поглощение излучения дымом

$$k = \frac{2.317 \cdot 10^{-3} \cdot \varepsilon'' \cdot M}{\left[ (\varepsilon' + 2)^2 + \varepsilon''^2 \right] \cdot \lambda \cdot C}, \quad (3)$$

где  $\varepsilon'$  и  $\varepsilon''$  – действительная и мнимая части комплексной диэлектрической проницаемости частиц дыма,

$M$  – концентрация частиц дыма,

$\lambda$  – длина волны оптического лазерного излучения,

$C = 2.3 \cdot 10^{-3}$  – постоянный коэффициент [5].

# Поглощение излучения дымом

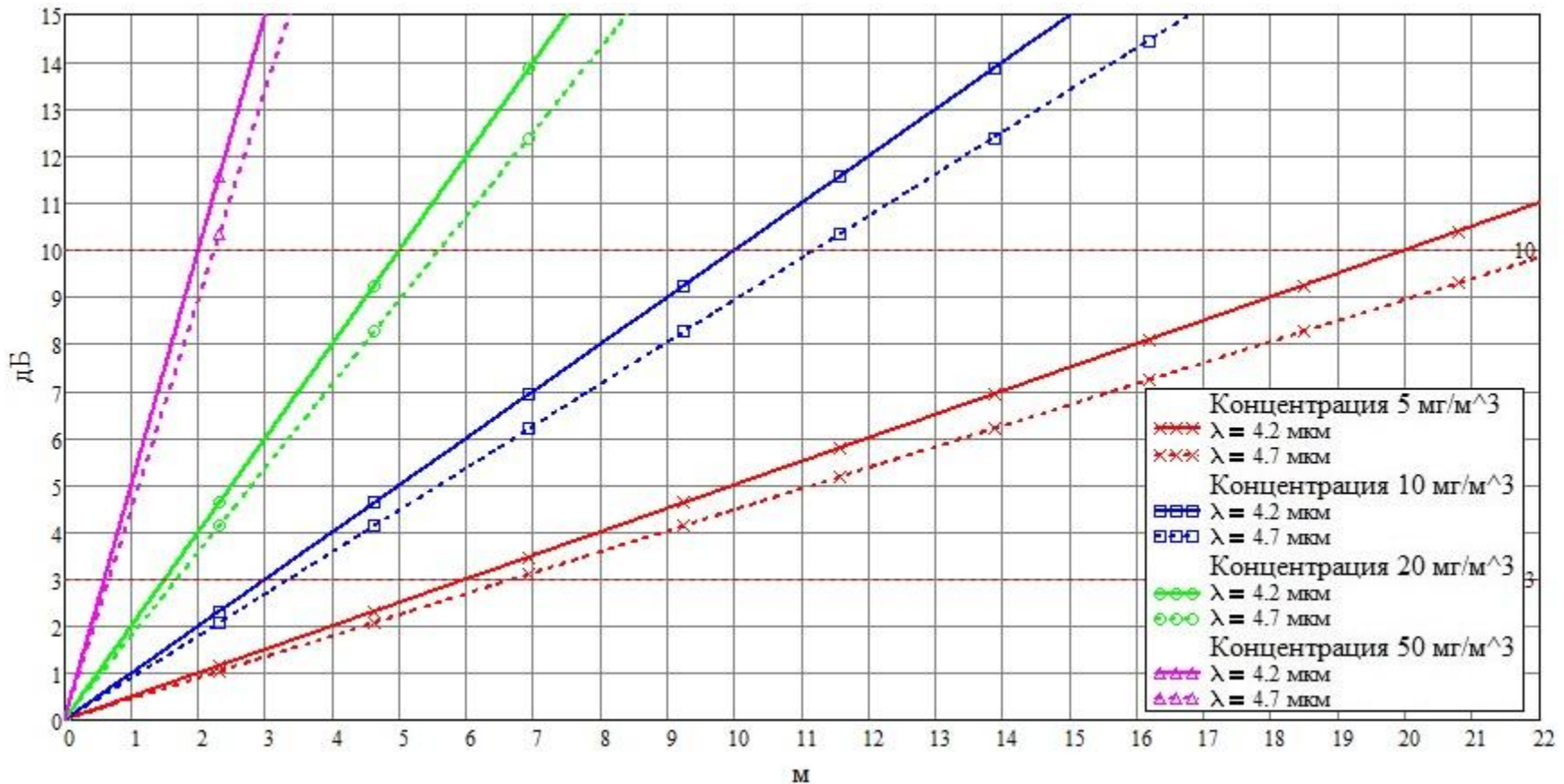


Иллюстрация 3 – Зависимость ослабления излучения от концентрации дымовых частиц.





# Оценка дифракционных потерь

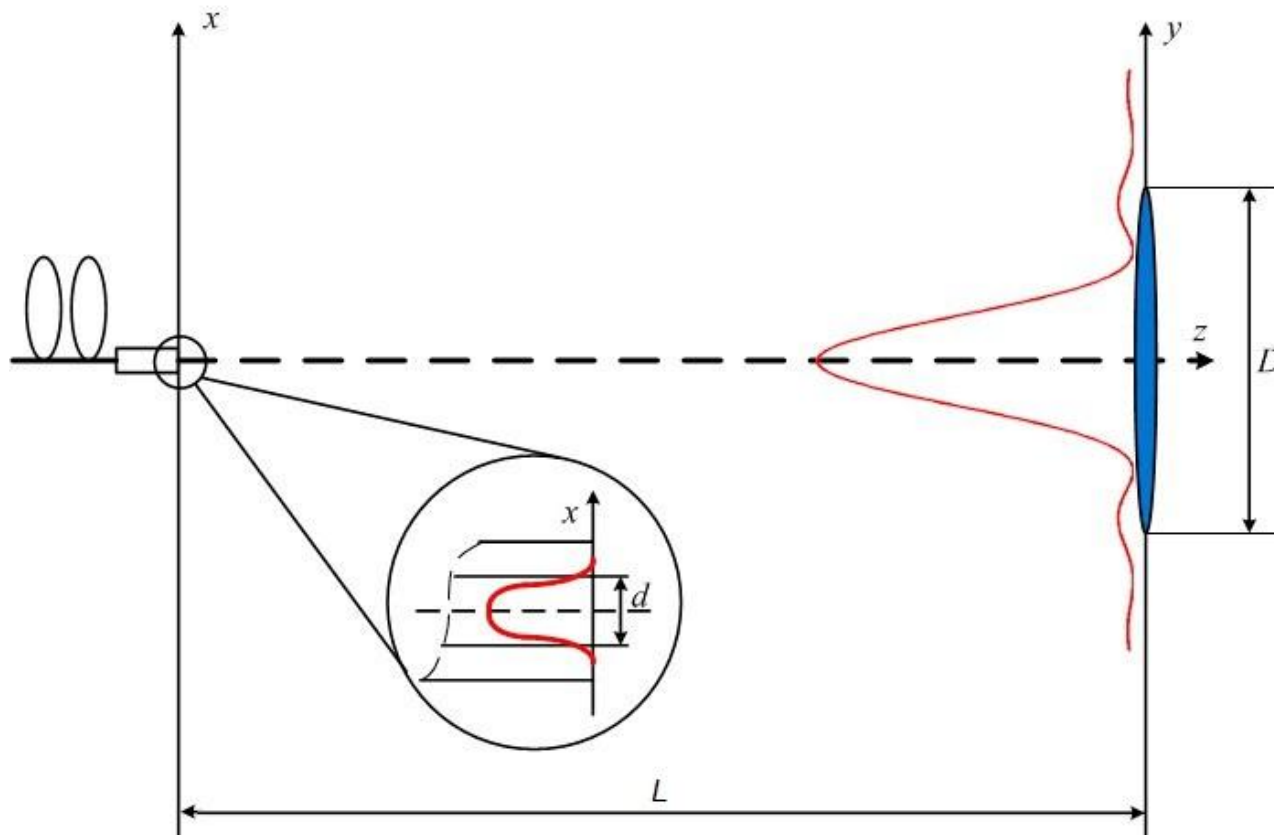


Иллюстрация 5 – Схематичное представление элементов конденсора.

# Оценка дифракционных потерь

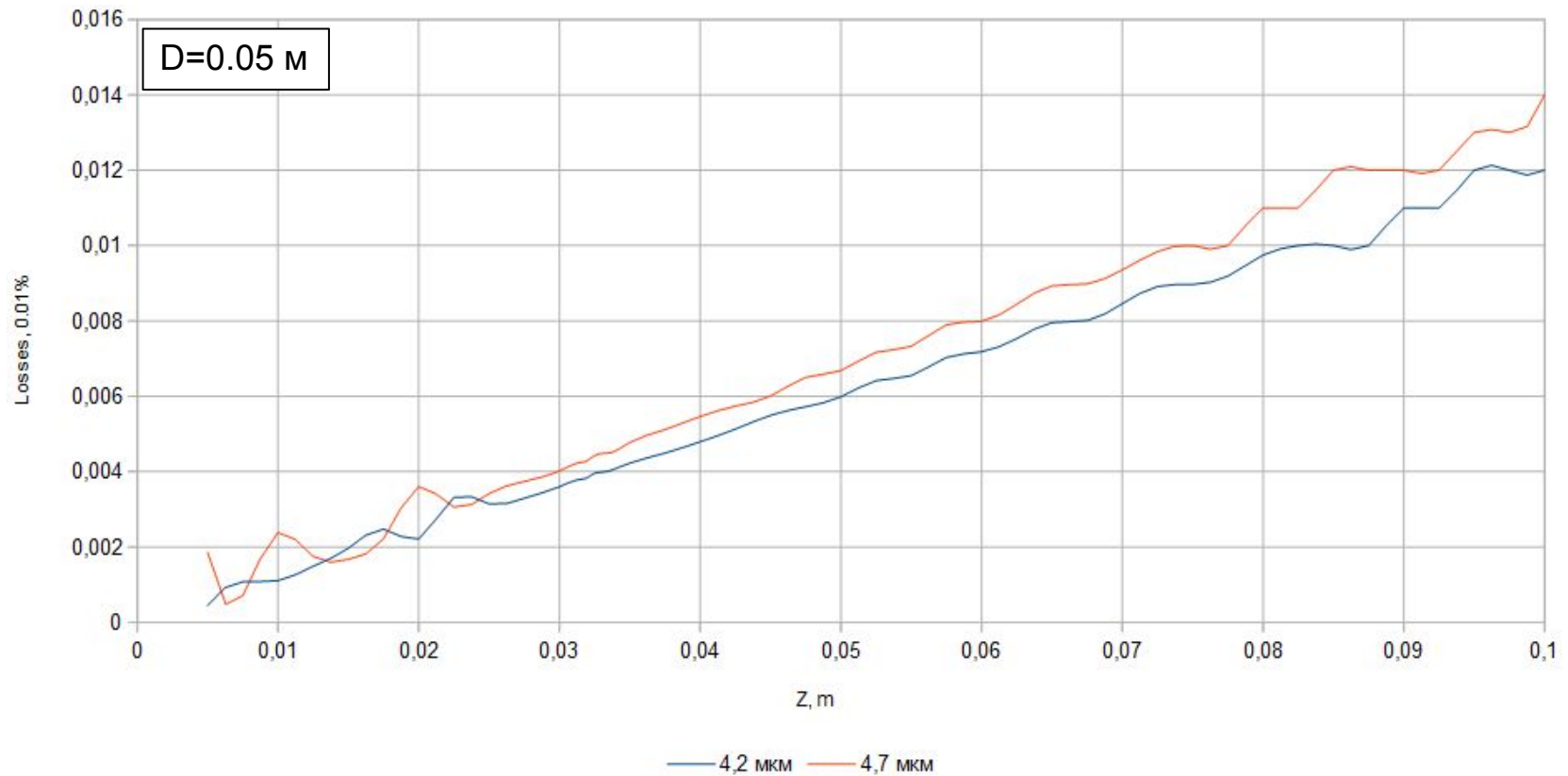


Иллюстрация 6 – Зависимость доли потерянного излучения от расстояния между входной и выходной апертурой конденсора.

# Оценка дифракционных потерь

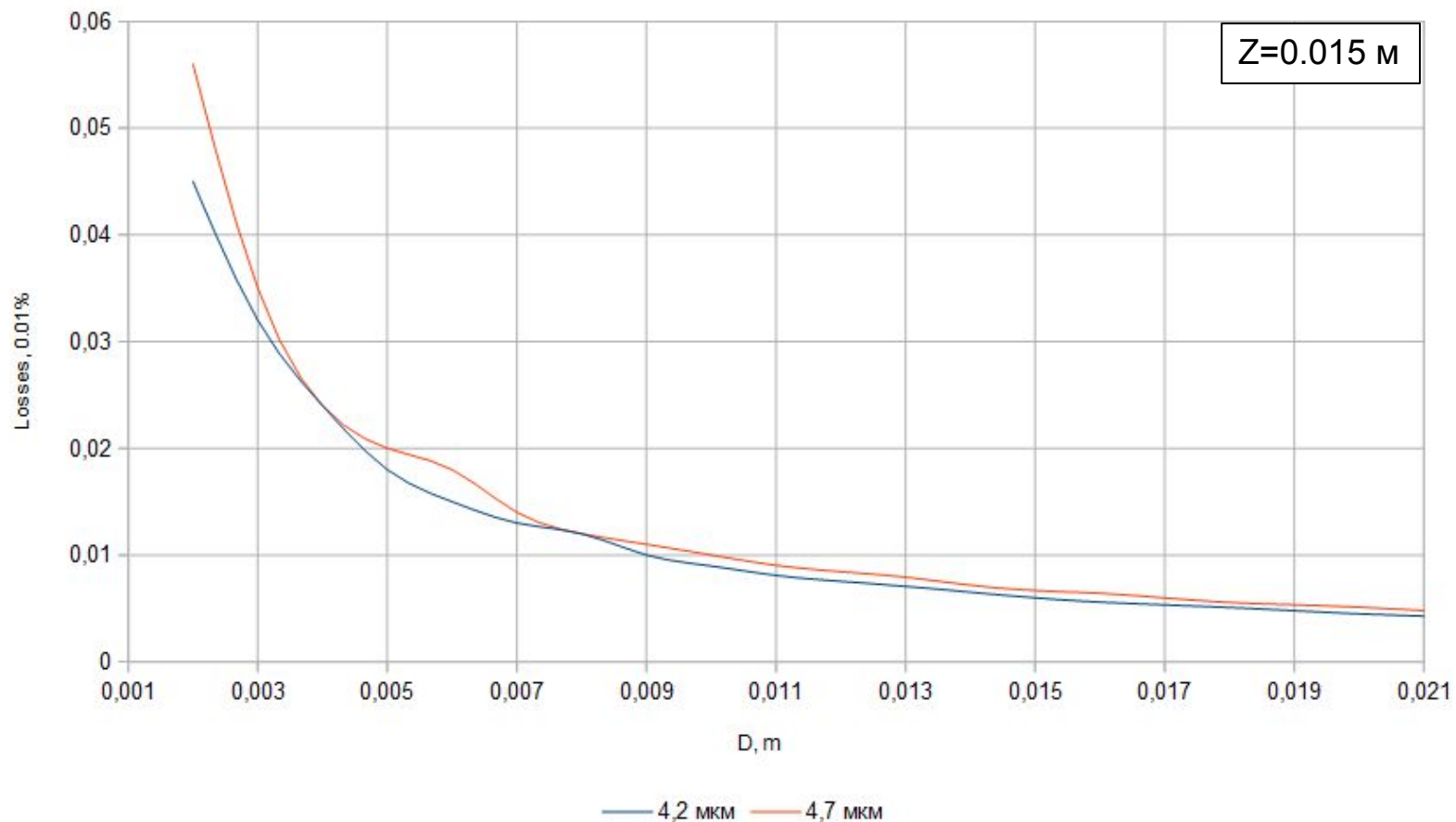


Иллюстрация 7 – Зависимость доли потерянного излучения от размера выходной апертуры конденсора.

# Оценка дифракционных потерь

Параметры системы:

1. Длина волны оптического излучения:  $\lambda_1 = 4.2 \cdot 10^{-6}$ ,  $\lambda_2 = 4.7 \cdot 10^{-6}$  (м)
2. Диаметр линз:  $d = 0.02$  (м)
3. Протяженность контролируемой извещателем зоны:  $L = 0.05$  (м)

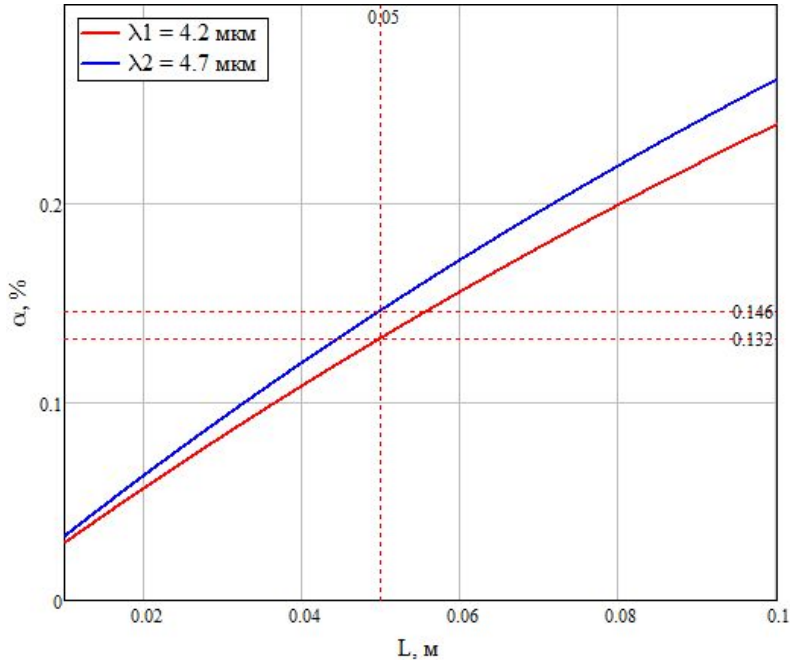


Иллюстрация 8 – Графическое положение точек решения.

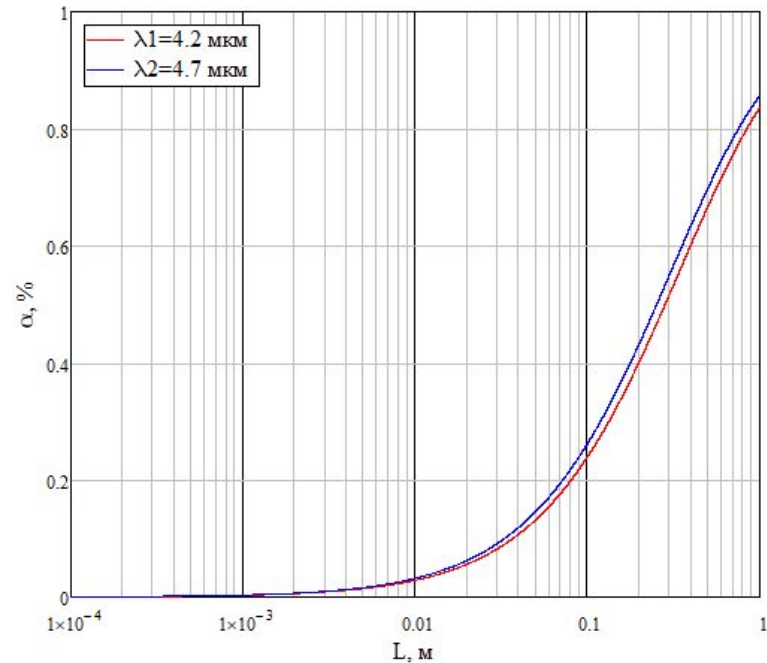


Иллюстрация 9 – Общий вид функции решения для заданных параметров.

# Выбор оптического волокна

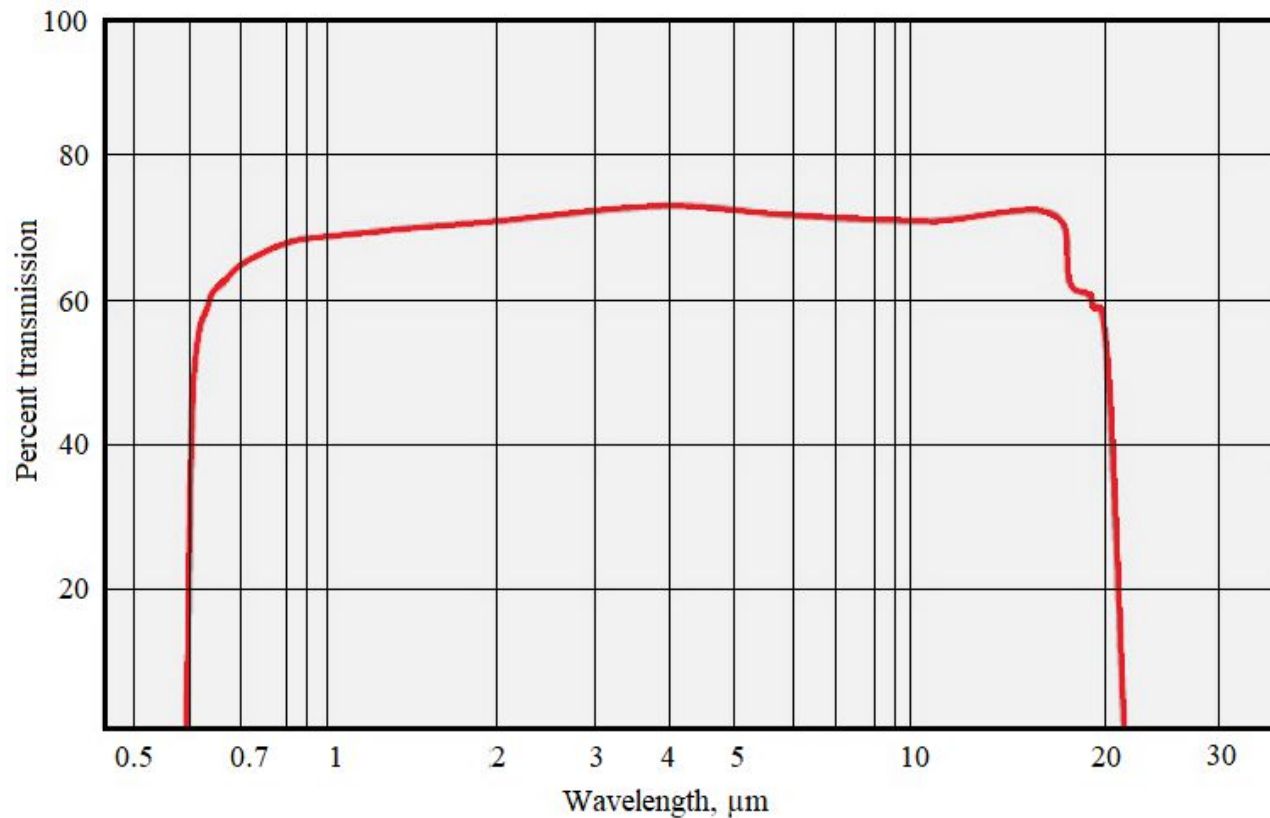


Иллюстрация 10 – Функция пропускания волокна поставщика «Специальные системы. Фотоника».

[9] Окна из селенида цинка (ZnSe) [Электронный ресурс]: сайт компании «Специальные Системы. Фотоника» - 2018 – URL: [http://sphotonics.ru/catalog/uf\\_ik-optika/Zinc\\_Selenide\\_Windows/](http://sphotonics.ru/catalog/uf_ik-optika/Zinc_Selenide_Windows/)

# Выбор оптического волокна

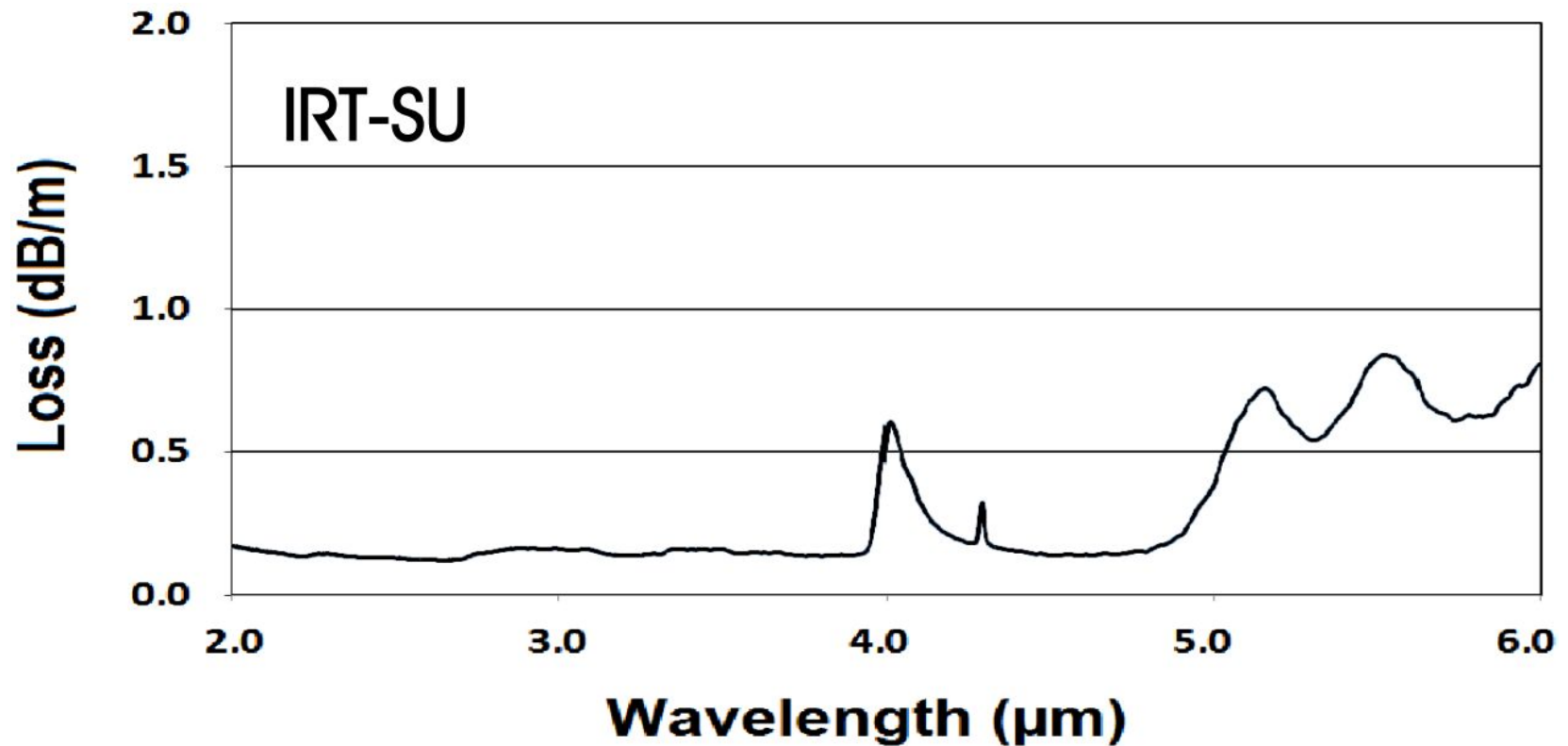


Иллюстрация 11 – Функция затухания света в волокне поставщика «CorActive».

[10] IR FIBERS [Электронный ресурс]: сайт компании «Coractive» - 2016 - URL: [http://sphotronics.ru/catalog/uf\\_ik-optika/Zinc\\_Selenide\\_Windows/](http://sphotronics.ru/catalog/uf_ik-optika/Zinc_Selenide_Windows/)

# Расчет итогового затухания

$$\begin{aligned} P_{\text{вых}}^{\text{сенси}} &= P_{\text{вх}} \cdot \left[ L_{\text{фр}}^{\text{ов}} \cdot L_{50/50} \cdot L_{\text{ов1}} \cdot L_{\text{фр}}^{\text{ов}} \cdot L_{\text{л}} \cdot L_{\text{л}} \cdot L_{\text{фр}}^{\text{ов}} \cdot L_{\text{ов2}} \cdot L_{\text{фр}}^{\text{ов}} \right] = \\ &= P_{\text{вх}} \cdot \left[ \left( L_{\text{фр}}^{\text{ов}} \right)^4 \cdot L_{50/50} \cdot L_{\text{ов1}} \cdot \left( L_{\text{л}} \right)^2 \cdot L_{\text{ов2}} \right], \end{aligned} \quad (4)$$

$$P_{\text{вых}}^{\text{ов3}} = P_{\text{вх}} \cdot \left[ L_{\text{фр}}^{\text{ов}} + L_{50/50} + L_{\text{ов3}} + L_{\text{фр}}^{\text{ов}} \right] = \left[ \left( L_{\text{фр}}^{\text{ов}} \right)^2 \cdot L_{50/50} \cdot L_{\text{ов3}} \right], \quad (5)$$

где  $P_{\text{вх}}$  - мощность входного излучения [Вт];

$P_{\text{вых}}^{\text{сенси}}$  - выходная мощность излучения, прошедшего через сенсор [Вт];

$L_{\text{фр}}^{\text{ов}}$  - потери за счёт френелевского отражения на стыке ОВ-воздух [дБ];

$L_{50/50}$  - потери на сварном сплиттере [дБ];

$L_{\text{ов1}}$ ,  $L_{\text{ов2}}$  и  $L_{\text{ов3}}$  - потери в ОВ<sub>1</sub>, ОВ<sub>2</sub> и ОВ<sub>3</sub> [дБ/км];

$L_{\text{л}}$  - потери на линзе [дБ];

$P_{\text{вых}}^{\text{ов3}}$  - выходная мощность излучения, прошедшего через ОВ<sub>3</sub> [Вт].



# Расчет итогового затухания

При  $P_{\text{ex}} - 1$  [Вт],  $L_{\text{фр}}^{\text{ов}} - 0.912$  [дБ],  $L_{50/50} - 0.5$  [дБ] и  $L_{\text{л}} - 0.76$  [дБ],

$$P_{\text{вых}}^{\text{с енс}} = P_{\text{ex}} \cdot \left[ \left( L_{\text{фр}}^{\text{ов}} \right)^4 \cdot L_{50/50} \cdot \left( L_{\text{л}} \right)^2 \right] = 1 \cdot \left[ 0.912^4 \cdot 0.5 \cdot 0.76^2 \right] \approx 0.2 \text{ [Вт]},$$

$$P_{\text{вых}}^{\text{овз}} = P_{\text{ex}} \cdot \left[ \left( L_{\text{фр}}^{\text{ов}} \right)^2 \cdot L_{50/50} \right] = 1 \cdot \left[ (0.912)^2 \cdot 0.5 \cdot \right] \approx 0,42 \text{ [Вт]} .$$

# Заключение

- По данным зависимости затухания ИК-излучения от длины волны в атмосфере, определены длины волн максимального поглощения CO и CO<sub>2</sub>;
- Построено семейство графиков, наглядно отражающих интенсивность поглощения ИК-излучения в дымовых завесах разных концентраций;
- Определен вклад дифракционных потерь в общую картину затухания;
- Произведен расчет затухания оптического сигнала для  $\lambda_{CO_2}$  и  $\lambda_{CO}$ ;
- Спроектированный извещатель является абсолютно взрывобезопасным и может найти применение на объектах с повышенной взрывоопасностью.

**Спасибо за внимание!**