

Оценка эффективности рассеяния лазерного излучения в следе ЛА

Мария Лобанова, Андрей Савин

**БГТУ «ВОЕНМЕХ»
Кафедра лазерной техники и технологий
Санкт-Петербург, Россия**

**ИКИ РАН, Москва
2009**

Содержание

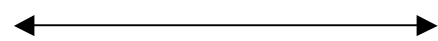
1. Предмет исследований: бортовые методы мониторинга собственного следа ЛА
2. Актуальность исследований методов бортового мониторинга вихревых следов
3. Цель: обоснование принципиальной возможности создания панорамного лидара для бортового мониторинга собственного следа
4. Расчет оптических характеристик вихревого следа на примере самолета ИЛ-86
5. Оценка соотношения сигнал - шум SNR
6. Заключение

1. Предмет исследований: бортовые методы мониторинга собственного следа ЛА

Бортовые компоненты



Наземные компоненты



Система
вихревого
зрения



Рабочее место диспетчера



Журнал-каталог
“Транспортная безопасность
и технологии 2007 №1”,
А.С. Белоцерковский
М.И. Каневский
«Все видят всех».
Система вихревого зрения.

2. Актуальность исследований методов бортового мониторинга вихревых следов

Кризис системы авиаперевозок:

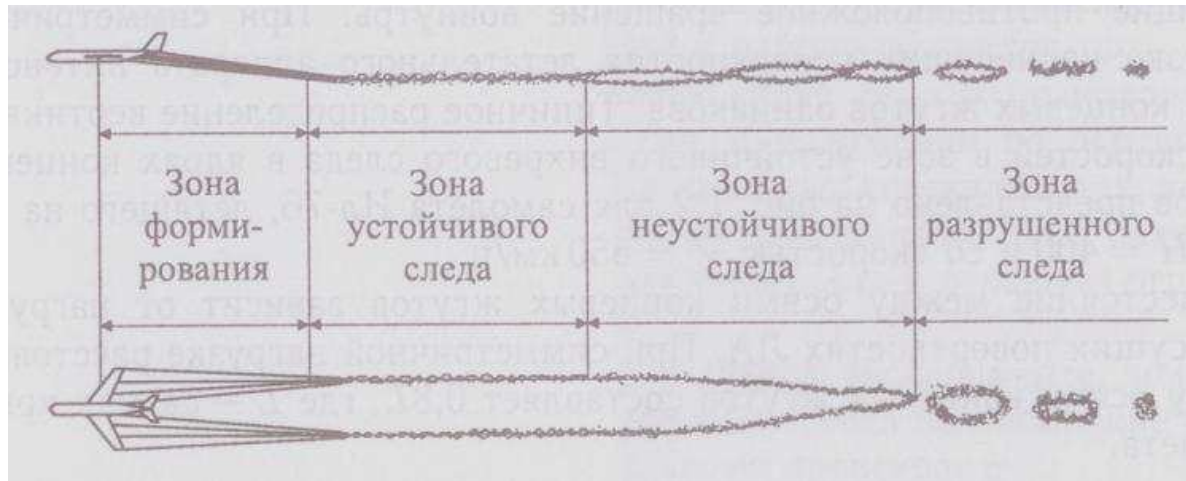
- снижена пропускная способность аэропортов
- экономические потери
- по прогнозам ICAO к 2020 году объем авиаперевозок утроится

Экологический аспект:

- меняется концентрация «парниковых» газов CO_2 , H_2O , O_3 , CH_4
- инициируется образование вихревых следов



3. Цель: обоснование принципиальной возможности создания панорамного лидара для бортового мониторинга собственного следа



«Ближний след»:
3 – 5 размахов крыла

«Дальний след»:
от 10 размахов крыла

На его возникновение и развитие существенным образом влияет:

- состояние атмосферы в зоне полета (температура, влажность окружающей среды, турбулентность, боковой ветер)
- аэродинамическая компоновка ЛА
- полетная конфигурация и скорость ЛА

3. Цель: обоснование принципиальной возможности создания панорамного лидара для бортового мониторинга собственного следа

Доплеровский лидар WindTracer Lockheed Martin (США)

Длина волны: 2.0225 мкм

Дальность действия: 10 км

Энергия импульса около 2 мДж

Частота повторения импульсов 500 Гц

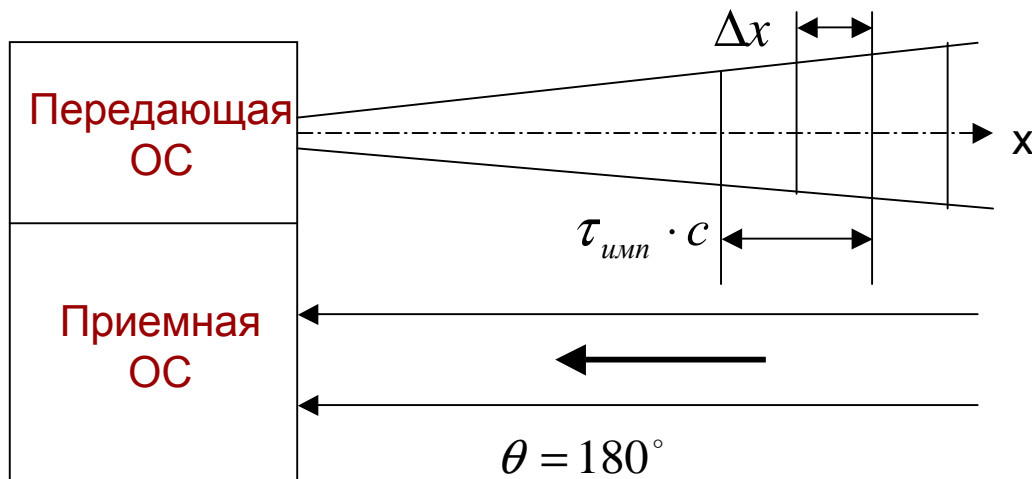
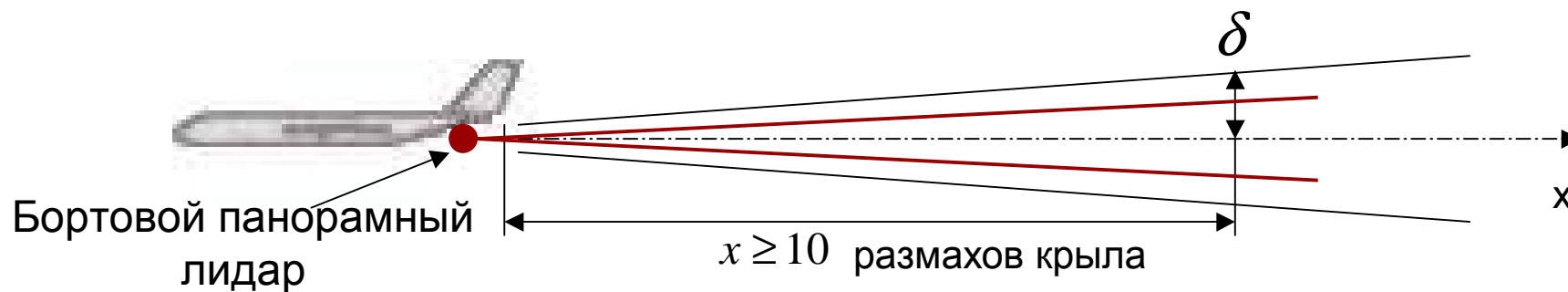
Ограничение:

измерения производятся вблизи аэропорта и не дают информацию на эшелоне на всем пути следования самолета

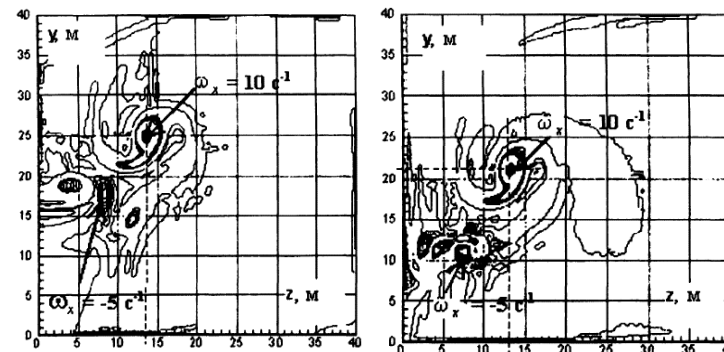


3. Цель: обоснование принципиальной возможности создания панорамного лидара для бортового мониторинга собственного следа

Принцип действия бортового панорамного лидара

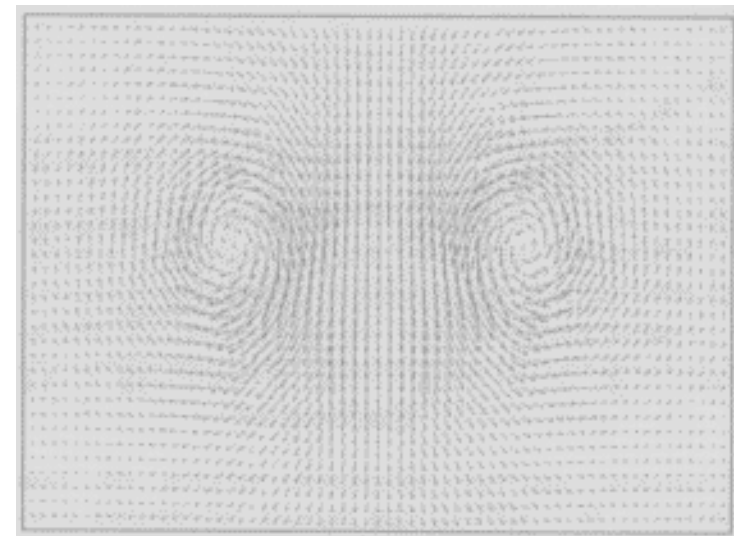
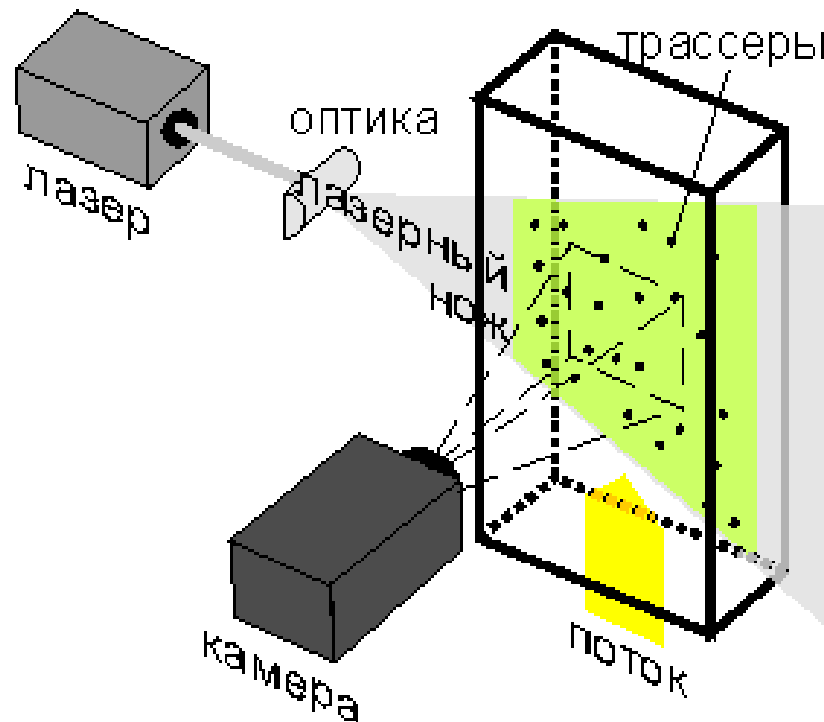


Δx - расстояние между импульсами



3. Цель: обоснование принципиальной возможности создания панорамного лидара для бортового мониторинга собственного следа

PIV – метод построения поля скорости



В данной работе приняты:
 $\tau = 10 \text{ нс}$ $E_0 = 0,001 \dots 1 \text{ Дж}$

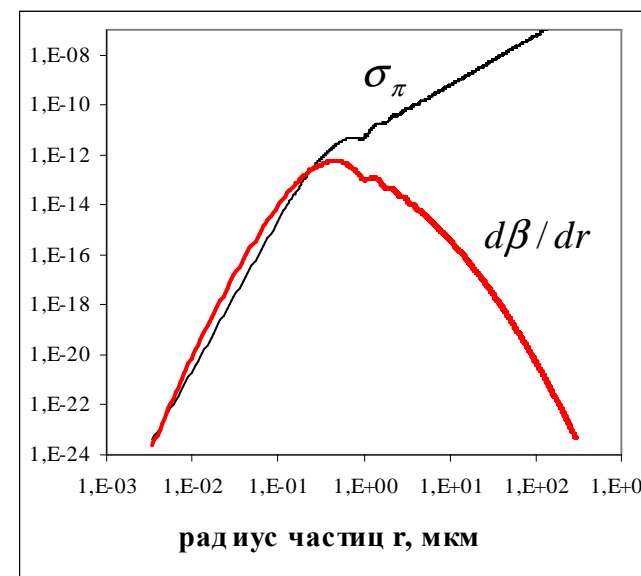
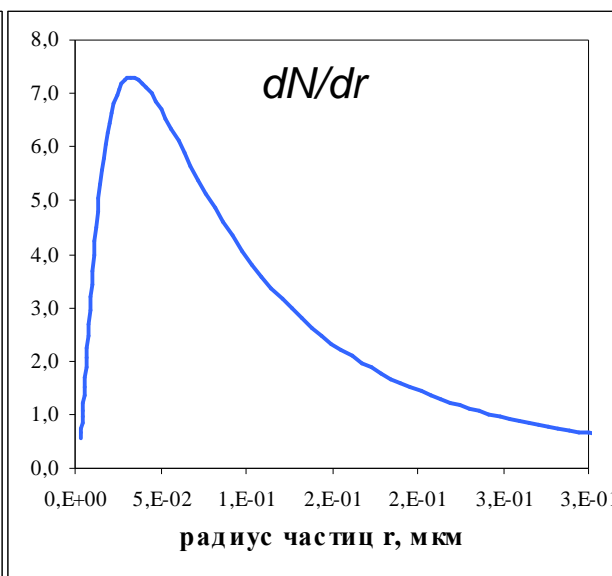
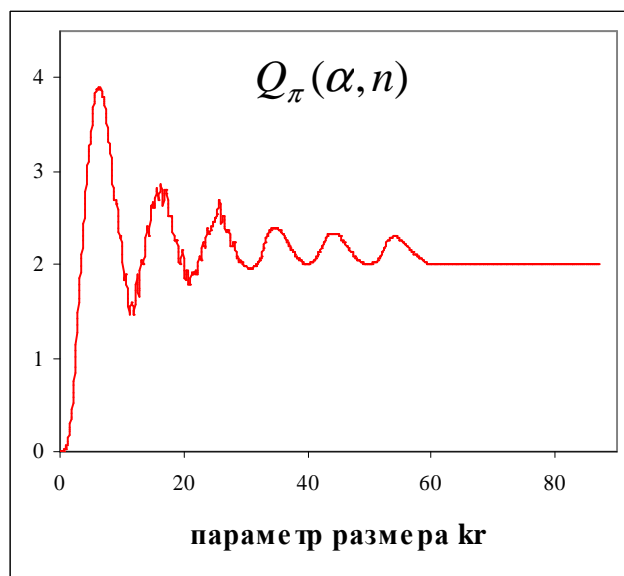
4. Расчет оптических характеристик вихревого следа на примере самолета ИЛ-86

КПП ($\lambda = 0,532 \text{ мкм}$)
 Вода $m = 1,33 - 1,8 \cdot 10^{-8} i$
 Лед $m = 1,311 - 1 \cdot 10^{-4} i$



Длина 59,94 м
 Высота 15,81 м
 Размах крыла 48,06 м
 Крейсерская скорость 950 м/с
 Расход топлива 11500 кг/ч

Логнормальное распределение, $n=1 \text{ м}^{-3}$, $r_0=0,09 \text{ мкм}$



4. Расчет оптических характеристик вихревого следа на примере самолета ИЛ-86

$$\frac{d\delta}{dx} \sim \frac{|u_1 - u_2|}{|u_1| + |u_2|}$$

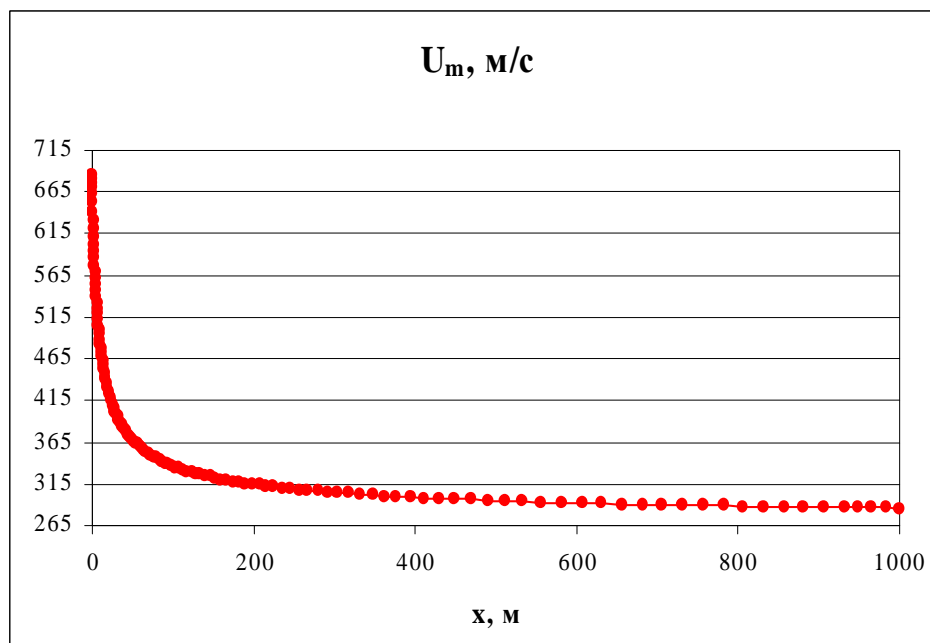
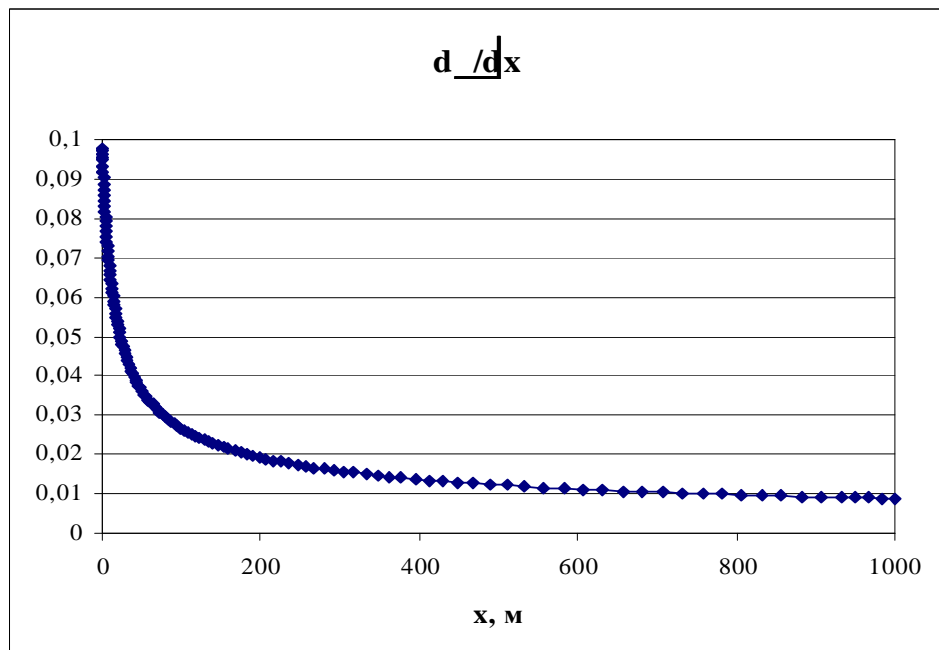
$$\int_0^m u dm = \int_0^F \rho u^2 dF$$

НУ: $x = 0$

$$\delta = r_a = 0,89 \text{ м}$$

$$u_m = u_0 = 686,521 \text{ м/с}$$

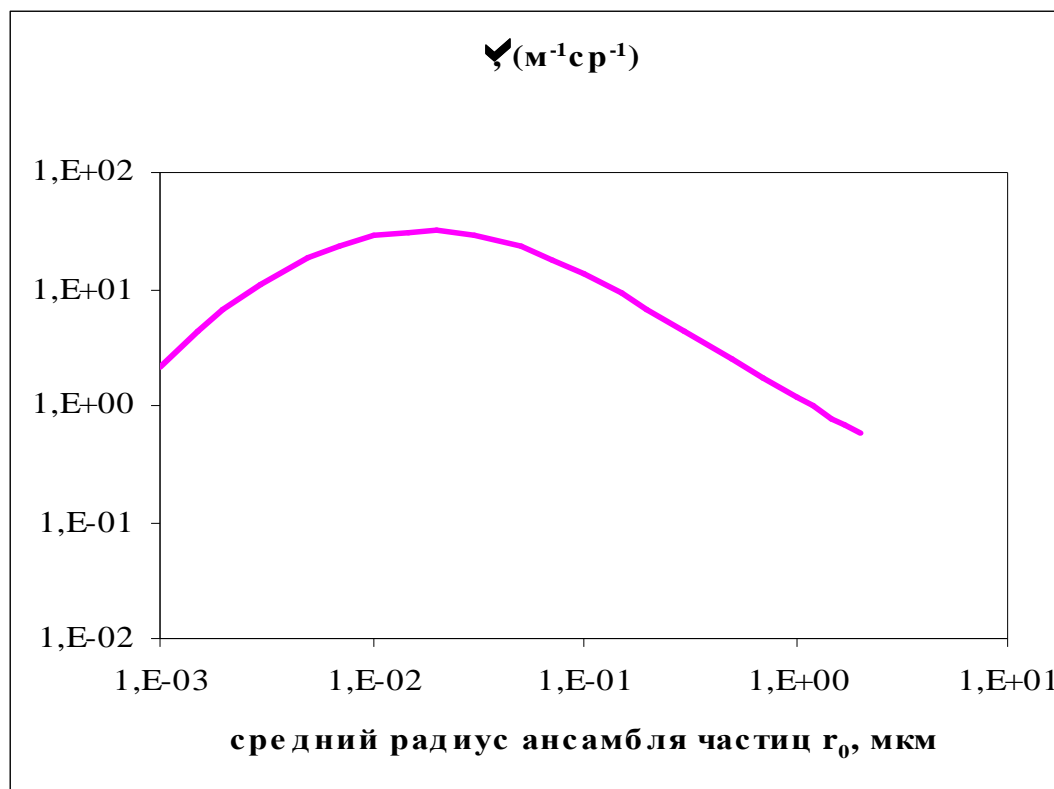
Область дальнего следа для ИЛ-86 начинается с 480 метров



4. Расчет оптических характеристик вихревого следа на примере самолета ИЛ-86

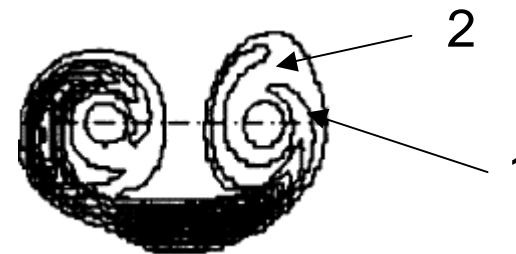
Плотность жидкой воды в следе, $x=500\text{м}$:

$$\rho_w = \rho_{H_2O} - \rho_s(T) = 1,004 \cdot 10^{-4} \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$



$$r_0 = 0,1 \dots 1 \text{ мкм}$$

$$\beta_{\text{среднее}} = 5,558 \text{ м}^{-1} \text{ см}^{-1}$$



В результате расчетов:

$$\beta_1 = \beta_{\text{среднее}}$$

$$\beta_2 = 0$$

$$\Delta\beta = \beta_1 - \beta_2$$

5. Оценка соотношения сигнал - шум SNR

SNR – Signal to Noise Ratio; $SNR = \frac{P(\lambda, R)}{N(R)}$

Основное лидарное уравнение для рассеяния

$$P(\lambda, R) = E_0 \cdot \beta(\lambda, R) \cdot c \cdot K(\lambda) \cdot \frac{\pi D^2}{4R^2} \cdot \exp\left(-2 \int_0^R \alpha(r) dr\right) \cdot g(R) \quad [\text{Вт}]$$

После упрощений: $P(\lambda, R) = E_0 \cdot \beta(\lambda, R) \cdot c \cdot K(\lambda) \cdot \frac{\pi D^2}{4R^2} \cdot \tau \quad [\text{Дж}]$

Шум – случайная величина

$$N_{\Sigma} = \sqrt{\sum N_i^2}$$

$$N_s = \sqrt{2h\nu P(\lambda, R)} \quad - \text{Квантовый шум (дробовый шум) сигнала} \quad [\text{Дж}]$$

$$N_r = h\nu \cdot n_{h\nu} = h \frac{c}{\lambda} \cdot \frac{n_e}{\eta} \quad - \text{Шум считывания камеры} \quad [\text{Дж}]$$

5. Оценка соотношения сигнал - шум SNR

$$SNR = \frac{P(\lambda, R)}{N(\lambda, R)} = \frac{E_0 \cdot \Delta\beta(\lambda, R) \cdot c \cdot K(\lambda) \frac{\pi D^2}{4R^2} \frac{\tau}{N_{pix}}}{\sqrt{2P(\lambda, R)h \frac{c}{\lambda} + (h \frac{c}{\lambda} \cdot \frac{n_e}{\eta})^2}}$$

ICCD-камера
Hamamatsu C10054-22



Параметры системы:

$$E_0 = 0,001 \dots 1 \text{ Дж}$$

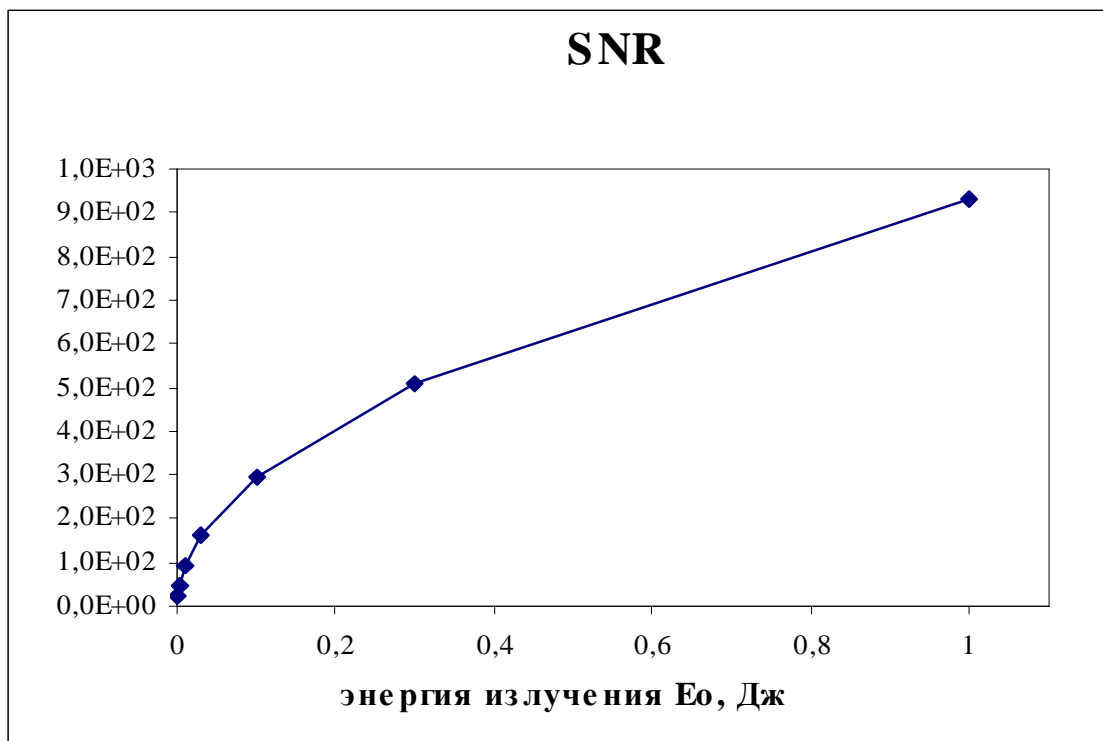
$$D = 0,1 \text{ м}$$

$$R = 500 \text{ м}$$

$$K = 0,8$$

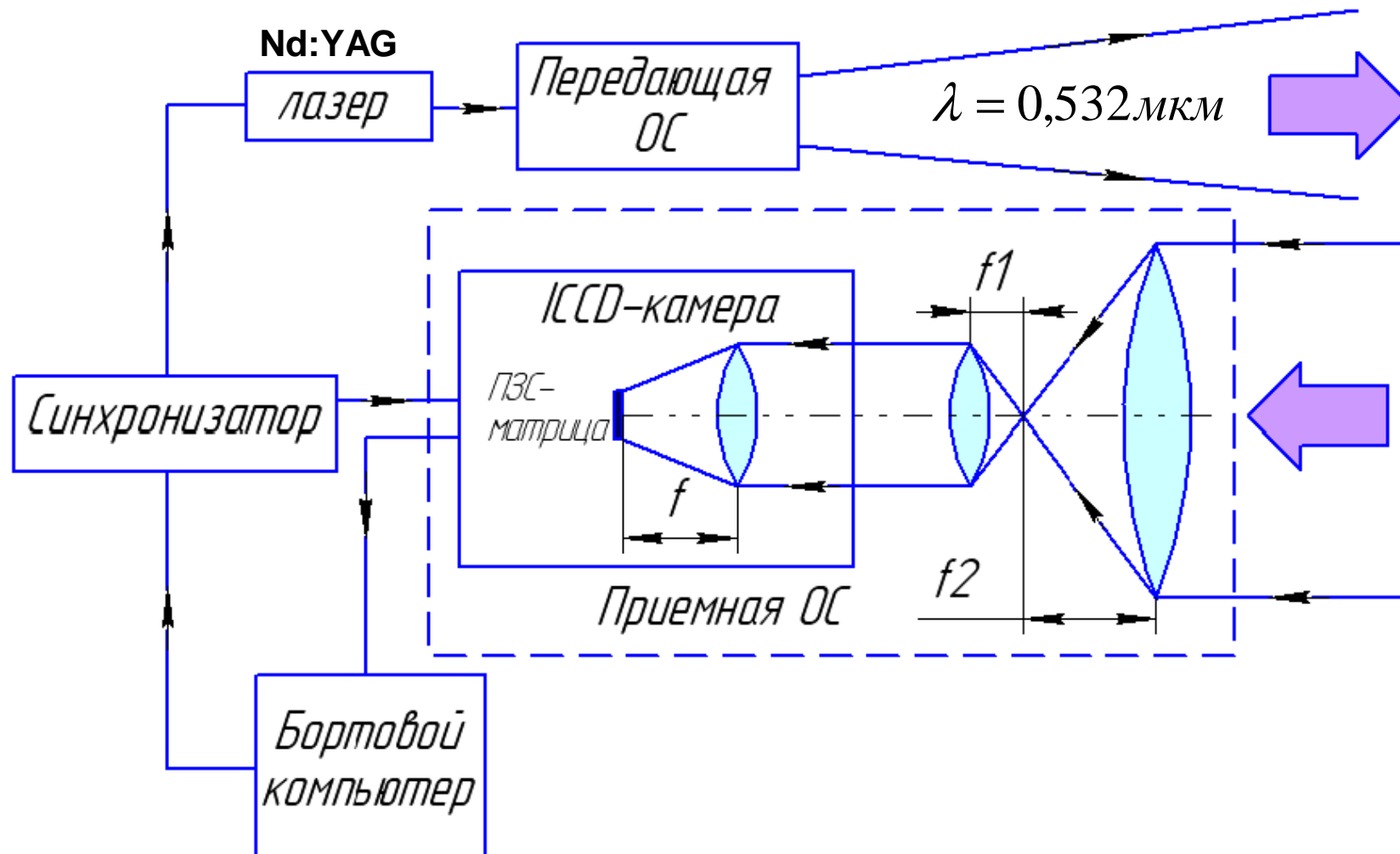
$$N_{pix} = 659 \times 494$$

$$\tau = 5 \text{ нс}$$



5. Оценка соотношения сигнал - шум SNR

Структурная схема бортового панорамного лидара



5. Заключение

1. Проведен анализ существующих технологий дистанционного мониторинга вихревого следа за ЛА
2. Обоснована необходимость и принципиальная возможность создания панорамного лидара для бортового мониторинга собственного следа
3. Разработана математическая модель бортового панорамного лидара для мониторинга собственного следа, позволяющая проводить численное моделирование его работы на эшелоне