

## **Лабораторный макет оптического канала**

*О.Н. Завьялова<sup>1,2</sup>, И.В. Персев<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*ЗАО НПО «Лептон»*

<sup>2</sup>*Московский физико-технический институт (государственный университет)*

Программы исследования и освоения космического пространства, предлагаемые NASA, ЕКА, Роскосмосом, CNSA включают в свой состав все большее количество миссий и экспериментов в дальнем космосе. Для этих проектов важное значение имеет дальняя космическая связь.

Данная работа посвящена подготовке эксперимента по построению прототипа оптического канала связи в лабораторных условиях. Задача состоит в проверке пропускной способности канала: требуется передать последовательности данных, принять их и записать на диск ПК, сравнить с переданными, и измерить количество ошибок в принятых последовательностях при различных отношениях SNR. Темп ошибок предполагается менять ослаблением интенсивности и искусственным внесением помех.

Передача данных ведется в двоичном коде: лазер передает промодулированное излучение в виде коротких импульсов - нулей и единиц (биты). Период этих импульсов характеризует скорость передачи данных: чем больше импульсов за секунду сможет сформировать лазер, тем больше битов будет передано. Рабочая длина волны излучателя 1.55 мкм.

Установка состоит из генератора последовательностей, излучателя, имитатора

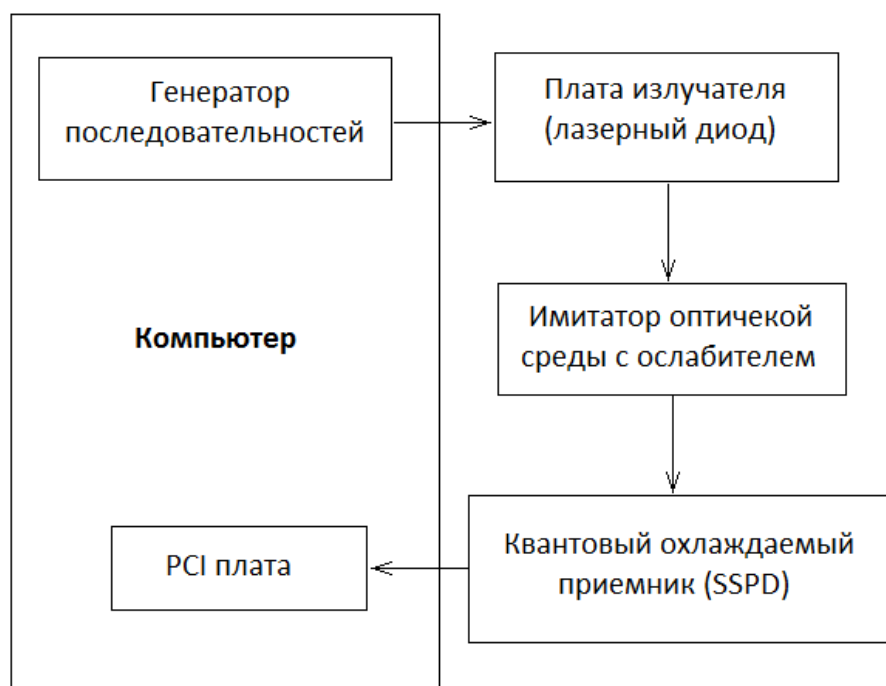


Рис. 1. Схема установки.

оптической среды, приемника и платы приемника (Рис. 1).

Для распознавания сигнала достаточно чтобы на приемник пришло 5-10 фотонов. Необходимо выяснить коэффициент ослабления сигнала для такого значения на выходе.

Генератор последовательностей подает на вход канала исходных сигнал в двоичном коде. В качестве излучателя предлагается лазерный диод фирмы CyOptics под номером D2570H29. Он работает на  $1554.126 \pm 0.1$  нм. Максимальная выходная мощность лазерного излучения 16мВт. Далее лазер, на заданной скорости передачи (100Мбит\сек), передает сигнал в оптическую среду.

Количество фотонов, испускаемых излучателем за время короткого импульса  $dt$ , при мощности излучателя  $P_0$ :

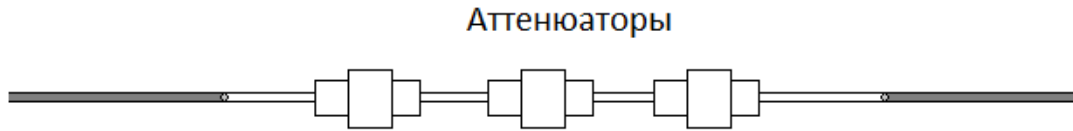
$$N_{ph}^0 = \frac{P_0 dt}{w}$$

$w$  – энергия фотона на длине волны  $\lambda=1.55\mu\text{км}$ .

Далее сигнал проходит через оптическую среду. Так как канал предназначается для связи в космическом пространстве на больших расстояниях, то в лаборатории для достижения эффекта "удаленности" потребуется ввести ряд регулируемых ослабителей оптического излучения.

В эксперименте рассматривается два способа ослабления оптического сигнала.

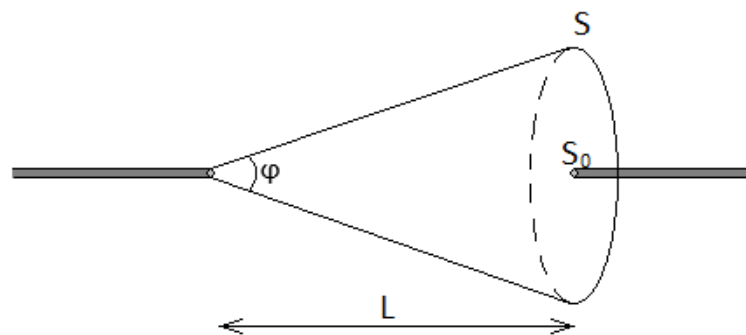
Первый способ передачи осуществляется по оптическому волокну, которое соединяет источник и фотоприемник. Для уменьшения сигнала используется ряд аттенюаторов (Рис.2).



**Рис. 2. Установка с оптоволоком и аттенюаторами.**

Соотношение пришедших на фотоприемник фотонов к числу излучённых лазером является коэффициентом ослабления канала. На графике показана зависимость уровня ослабления от количества принятых фотонов при мощности излучателя 5мВт и длительности импульса  $dt=10^{-8}$ сек. Добавляя и убирая аттенюаторы можно изменять количество принимаемых фотонов.

Второй способ передачи осуществляется по открытому воздушному каналу (Рис. 3).



**Рис. 3. Установка, работающая с открытым каналом.**

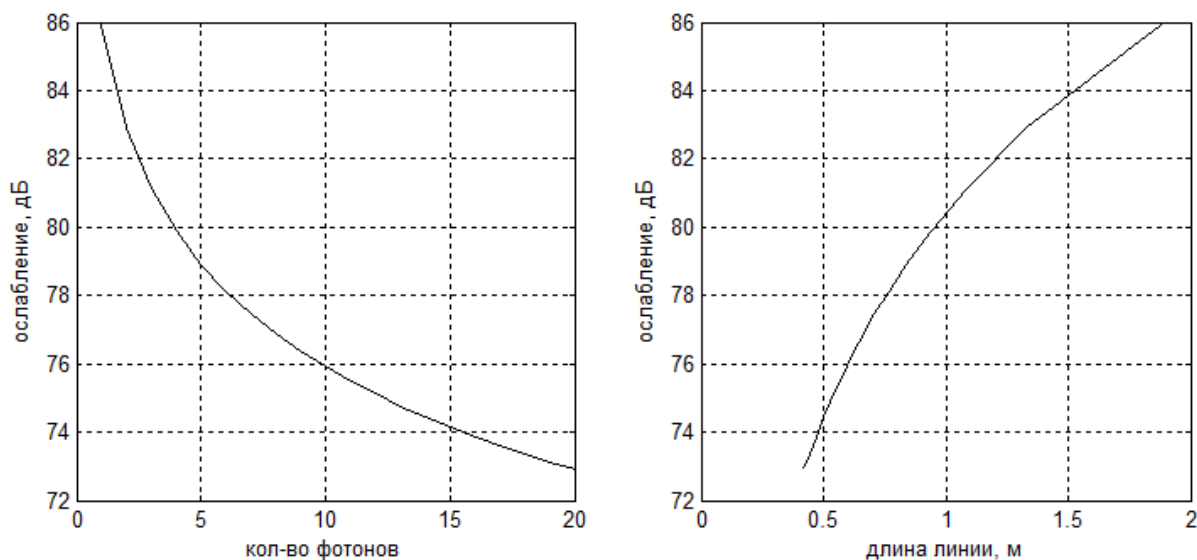
Лазерный диод, используемый в качестве источника, имеет на выходе одномодовое волокно. Угловая апертура одномодового волокна  $\varphi/2=6^\circ$ . На приеме так же находится вывод одномодового волокна, которое соединено с фотоприемником. Коэффициентом ослабления в данном случае будет является отношением площадей приемного волокна и оптического пятна, которое образуется на расстоянии приемника.

$$S = \pi L^2 \operatorname{tg}^2 \left( \frac{\varphi}{2} \right);$$

Площадь сечения одномодового волокна  $S_0=10\text{мкм}$ .

Варьировать этот коэффициент можно изменением расстояния между источником и волокном приемника. Для уменьшения шумов, необходимо закрыть воздушный канал от внешних источников излучения.

На рисунке 4 показаны графики зависимости количества принимаемых фотонов от

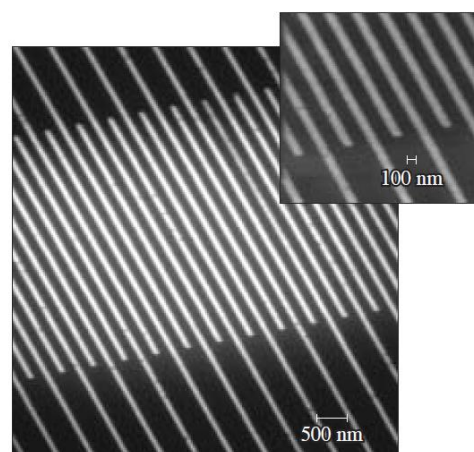


**Рис. 4. Графики зависимости количества принимаемых фотонов от коэффициента ослабления и длины линии.**

коэффициента ослабления и длины линии.

В качестве приемника используется сверхчувствительный однофотонный детектор (Superconducting Single Photon Detector – SSPD) изготовлен фирмой Scontel. Рабочая температура SSPD 4,2 К. В ближнем ИК диапазоне ( $\lambda=1,55\text{ мкм}$ ) квантовая эффективность (QE) SSPD составляет 10% и может быть увеличена до 30% при понижении рабочей температуры до 2 К. По многим параметрам SSPD превосходит существующие однофотонные детекторы видимого и ближнего ИК-диапазонов, такие как лавинные фотодиоды, работающие на сверхпроводящем переходе. NEP порядка  $10^{-21}\text{Вт/Гц}^{-1/2}$ .

SSPD представляет собой тонкопленочную наноструктуру – очень узкую и длинную полосу сверхпроводника (толщина 3-5нм, ширина 100нм), изогнутую в виде меандра, изготовленную из пленки NbN (нитрид ниобия), заполняющую площадь  $10\times 10\text{мкм}^2$ , нанесенной на сапфировую подложку. Рабочая температура SSPD 4,2 К. В ближнем ИК диапазоне ( $\lambda=1,55\text{ мкм}$ ) квантовая



эффективность (QE) SSPD составляет 10% и может быть увеличена до 30% при понижении рабочей температуры до 2К. По многим параметрам SSPD превосходит существующие однофотонные детекторы видимого и ближнего ИК-диапазонов, такие как лавинные фотодиоды, работающие на сверхпроводящем переходе.

Принцип действие SSPD в виде меандра основан на возникновении резистивной области в небольшой части сверхпроводящей полоски, находящейся при температуре существенно ниже критической, но несущий транспортный ток, близкий к критическому. Квант света, поглощенный полоской, приводит к разрешению куперовских пар и образованию лавины из квазичастиц. В области поглощения сверхпроводимость на короткое время подавляется и образуется «горячее пятно». При образовании горячего пятна сверхпроводящий ток перераспределяется по сечению полоски, и на краях полоски плотность тока начинает превышать критическую плотность тока. В результате полоска переходит в резистивное состояние, и это сопровождается импульсом напряжения на детекторе.

## **Литература**

1. *A. Korneev, V. Matvienko, O. Minaeva, I. Milostaya, I. Rubtsova, G. Chulkova, K. Smirnov, V. Voronov, G. Gol'tsman, W. Slysz, A. Pearlman, A. Verevkin, and Roman Sobolewcki, Quantum Efficiency and Noise Equivalent Power of Nanostructured, NbN, Single-Photon Detectors in the Wavelength Range From Visible to Infrared, IEEE Transactions on applied superconductivity. – vol. 15 – no. 2 – 2005*