



ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АКУСТИЧЕСКИХ И ВИБРАЦИОННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ОТКРЫТУЮ ОПТИЧЕСКУЮ ЛИНИЮ СВЯЗИ

¹Дехконов О., ²Киличов Ж.

¹Военный институт информационно-коммуникационных технологий и связи.

²Самаркандский государственный университет имени Шарафа Рашидова.

E-mail: jasurkilichov1987@gmail.com

Аннотация. В статье рассмотрена реализация экспериментального макета открытой оптической линии связи на базе микроконтроллерной платформы Arduino с использованием лазерного модуля в качестве передатчика и фотоприёмного устройства в качестве приёмника. Передача цифровой информации осуществляется путём модуляции интенсивности лазерного излучения и распространения сформированного оптического сигнала в свободном пространстве. Особое внимание уделено анализу влияния акустических и вибрационных воздействий на устойчивость открытого оптического канала.

Ключевые слова: открытая оптическая линия связи, Arduino, лазерный модуль, фотоприёмник, оптический сигнал, акустическое воздействие, вибрация, модуляция, оптическая мощность, помехоустойчивость.

Введение. Современные телекоммуникационные системы характеризуются постоянным ростом объёмов передаваемой информации и повышением требований к скорости, надёжности и устойчивости каналов связи. Одним из перспективных направлений передачи данных является использование оптических систем, в которых информационный сигнал передаётся посредством светового излучения.



Наряду с традиционными волоконно-оптическими линиями связи определённый интерес представляют открытые оптические линии, в которых световой поток распространяется непосредственно через свободное пространство между передающим и приёмным устройствами. Такие системы не требуют использования оптического волокна на открытом участке и позволяют реализовать передачу цифровых сигналов посредством направленного лазерного излучения [1].

Одним из преимуществ открытого оптического канала является высокая направленность лазерного луча. Кроме того, распространение светового сигнала не подвержено непосредственному влиянию радиочастотных электромагнитных помех. Вместе с тем отсутствие физической направляющей среды приводит к повышенной чувствительности системы к изменению взаимного положения оптического передатчика и фотоприёмника.

Особенно важными внешними факторами для такой линии связи являются механические и акустические воздействия. Вибрация элементов конструкции способна изменить направление лазерного луча или положение фотоприёмника, в результате чего изменяется уровень принимаемой оптической мощности. В исходном экспериментальном материале отмечено, что вибрация вызывает динамическое изменение положения лазерного луча и приводит к флуктуациям уровня сигнала [2].

Акустическое воздействие также может приводить к возникновению механических колебаний конструктивных элементов передающего и приёмного узлов. Поэтому исследование влияния акустических и вибрационных воздействий на характеристики открытой оптической линии представляет практический и научный интерес.

Разработанная открытая оптическая линия связи состоит из двух основных функциональных узлов: передающего и приёмного.



Передающий узел включает микроконтроллер Arduino, лазерный модуль и соответствующую управляющую цепь. Микроконтроллер формирует цифровой электрический сигнал в соответствии с передаваемой информацией. Этот сигнал поступает на лазерный модуль, который преобразует электрические импульсы в изменения интенсивности оптического излучения. Таким образом, лазерное излучение используется в качестве физического носителя передаваемой информации [3].

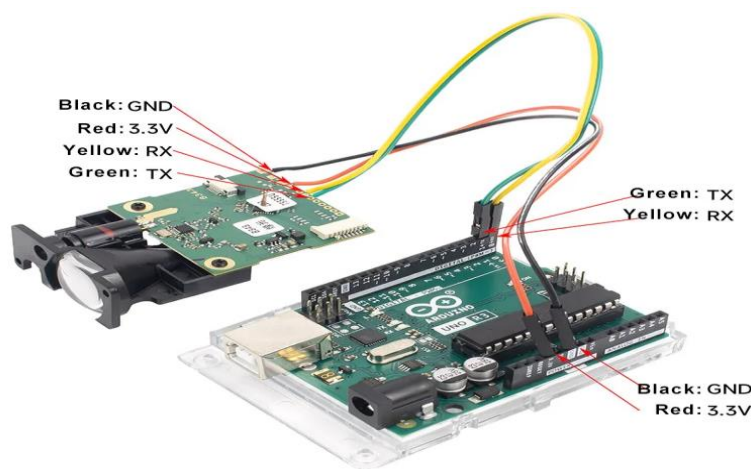


Рис. 1. Подключение лазерного модуля к микроконтроллерной платформе Arduino.

Приёмный узел включает фотоприёмный элемент, который регистрирует поступающее лазерное излучение и преобразует его обратно в электрический сигнал. Полученный сигнал передаётся на микроконтроллер принимающей стороны для дальнейшей обработки.

В исходном варианте установки в качестве фотоприёмного элемента предусматривается использование фотодиода либо фоторезистивного датчика. Микроконтроллер выполняет считывание сигнала и может использовать полученные данные для управления исполнительными устройствами или восстановления переданной информации.

Реализация открытой оптической линии. В разработанном макете лазерный передатчик и фотоприёмник расположены на определённом



расстоянии друг от друга. Между ними отсутствует физический проводной или волоконно-оптический канал. Сформированный лазерный луч распространяется через свободное пространство и направляется непосредственно на чувствительную поверхность фотоприёмника [4-5].

Передаваемые цифровые данные кодируются последовательностью включений и выключений либо изменением состояния лазерного излучателя. Фотоприёмный элемент фиксирует изменение интенсивности света и преобразует его в электрический сигнал.

Программное управление передающей и приёмной частями осуществляется в среде Arduino IDE. На передающей стороне формируется последовательность электрических импульсов, соответствующих передаваемым данным. На принимающей стороне производится считывание сигнала фотодатчика и его последующая обработка [6].

```
#include

SoftwareSerial laserSerial(2, 3); // RX = D2, TX = D3

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  laserSerial.begin(115200); // Установите скорость передачи данных, соответствующую скорости
  передачи данных вашего датчика.
  Serial.println("Запущено считывание данных с лазерного датчика Arduino");
}

void loop() {
  if (laserSerial.available()) {
    String data = laserSerial.readStringUntil('\n');
    Serial.println("Расстояние: " + данные);
  }
  задержка(100);
}
```

Рис. 2. Фрагмент программы считывания и обработки сигнала фотоприёмного устройства.

Практическая реализация макета подтверждает возможность передачи цифровой информации в пределах лабораторной установки. В качестве



передаваемых данных могут использоваться управляющие сигналы, цифровые последовательности или текстовая информация.

Экспериментальный макет позволяет исследовать процессы формирования, распространения, приёма и обработки оптических сигналов.

Экспериментальный макет открытой оптической линии связи.
Реальный экспериментальный макет выполнен на общей механической платформе и включает два пространственно разнесённых функциональных узла.

В одной части установки размещён электронный блок с элементами управления и отображения информации. На противоположной стороне установлен оптоэлектронный модуль. Между передающим и принимающим устройствами образуется открытый участок распространения лазерного излучения.



Рис. 3. Экспериментальный макет открытой оптической линии связи на базе Arduino с лазерным передатчиком и фотоприёмным модулем.

Передающий узел формирует модулированное оптическое излучение в соответствии с передаваемыми цифровыми данными. Лазерный луч распространяется в свободном пространстве и поступает на фотоприёмный модуль.



Фотоприёмник регистрирует изменения интенсивности лазерного излучения, преобразует их в электрический сигнал, после чего микроконтроллер осуществляет его дальнейшую обработку.

Конструкция макета позволяет изменять условия распространения лазерного сигнала и исследовать влияние внешних механических факторов на устойчивость открытого оптического канала.

Особенности влияния вибрационного воздействия. Одной из основных особенностей открытой оптической линии является необходимость точного взаимного расположения, передающего и приёмного элементов.

В волоконно-оптической линии световой поток распространяется внутри оптического волокна. Поэтому небольшое внешнее механическое смещение оборудования обычно не приводит непосредственно к выходу светового потока из области фотоприёмника.

В открытой оптической линии лазерный луч распространяется непосредственно через окружающую среду. Следовательно, его попадание на фотоприёмник зависит от положения и ориентации передающего и приёмного модулей.

При вибрационном воздействии могут возникать механические колебания такие как лазерного передатчика, крепления лазерного модуля, фотоприёмника, стойки фотоприёмного устройства и общей платформы экспериментальной установки.

В результате этих колебаний изменяется положение лазерного пятна относительно активной области фотоприёмника.

Если лазерный луч направлен непосредственно в центральную часть фотоприёмного элемента, малые механические колебания могут не оказывать существенного влияния на принимаемый сигнал. Однако при увеличении амплитуды вибрации или наличии первоначального пространственного



рассогласования часть лазерного излучения может выходить за пределы наиболее чувствительной области приёмника.

В таком случае принимаемая оптическая мощность начинает изменяться во времени. Это приводит к флуктуациям электрического сигнала на выходе фотоприёмника и может влиять на правильность распознавания передаваемых цифровых импульсов.

Акустическое воздействие на открытую оптическую линию может проявляться преимущественно через механические колебания её конструктивных элементов.

Звуковая волна распространяется в воздушной среде и создаёт изменения акустического давления. Воздействуя на корпус, стойки и крепления экспериментальной установки, акустическое поле способно вызывать небольшие механические колебания.

Особое значение это имеет для элементов, определяющих направление лазерного луча. Если под действием звукового поля возникает колебание стойки передатчика либо фотоприёмника, положение лазерного пятна относительно чувствительной области приёмного устройства также может изменяться.

Методика исследования акустических и вибрационных воздействий. Для анализа влияния внешних механических факторов предлагается проводить исследования в несколько этапов.

На первом этапе устанавливается исходный режим работы открытой оптической линии. Лазерный передатчик ориентируется таким образом, чтобы обеспечивалось устойчивое попадание лазерного луча на фотоприёмник. При отсутствии внешнего воздействия фиксируется базовый уровень принимаемого сигнала.



На втором этапе создаётся вибрационное воздействие на отдельные конструктивные элементы экспериментального макета. При этом регистрируется изменение показаний фотоприёмного устройства.

На третьем этапе проводится исследование акустического воздействия. Источник звукового сигнала располагается вблизи экспериментального макета таким образом, чтобы акустическое поле воздействовало на элементы его конструкции.

В ходе эксперимента могут последовательно изменяться частота и уровень акустического воздействия, а на фотоприёмной стороне регистрироваться изменение выходного сигнала.

Для сравнительного анализа экспериментальные результаты целесообразно представить в таблице 1.

Таблица 1.

Условия исследования	Характер воздействия	Ожидаемое проявление
Исходное состояние	Внешнее воздействие отсутствует	Стабильный уровень принимаемого сигнала
Акустическое воздействие	Воздействие звукового поля на конструкцию	Колебания уровня принимаемого сигнала
Вибрационное воздействие	Механические колебания элементов макета	Флуктуации сигнала фотоприёмника
Смещение передатчика	Нарушение пространственного совмещения	Уменьшение уровня сигнала
Значительная вибрация	Выход части луча за область фотоприёмника	Снижение устойчивости приёма



Условия исследования	Характер воздействия	Ожидаемое проявление
Сильное рассогласование	Луч не попадает на чувствительную область	Потеря оптического соединения

Разработанная экспериментальная установка демонстрирует возможность передачи цифрового сигнала по открытому оптическому каналу посредством лазерного излучения.

Передаваемые данные формируются микроконтроллером Arduino и преобразуются лазерным модулем в последовательность оптических импульсов. После распространения в свободном пространстве сигнал регистрируется фотоприёмным устройством и преобразуется обратно в электрическую форму.

Анализ конструкции показывает, что одним из основных факторов, определяющих устойчивость такого соединения, является взаимное пространственное положение лазерного передатчика и фотоприёмника.

Механическая вибрация изменяет положение оптических элементов и может вызывать смещение лазерного пятна. В исходном материале данный эффект определён как динамическое изменение положения оптического луча, сопровождаемое флуктуациями уровня принимаемого сигнала.

Акустическое воздействие также может влиять на оптический канал посредством возбуждения механических колебаний элементов конструкции. Поэтому характер воздействия акустического поля в рассматриваемом макете связан с акустико-механическим преобразованием.

Заключение. В работе рассмотрена реализация открытой оптической линии связи на базе микроконтроллерной платформы Arduino с применением лазерного модуля и фотоприёмного устройства.



Разработанный экспериментальный макет обеспечивает передачу цифрового сигнала посредством модуляции лазерного излучения и его распространения в свободном пространстве. Акустическое воздействие на рассматриваемый макет может проявляться посредством возбуждения механических колебаний конструктивных элементов передающей и приёмной частей. В результате акустические колебания способны преобразовываться в изменения положения оптического луча и вызывать изменение уровня сигнала на выходе фотоприёмного устройства.

Список литературы.

1. Ghassemlooy Z., Rajbhandari S. Optical Wireless Communications: System and Channel Modelling with MATLAB. CRC Press, 2019.
2. Senior J., Jamro M. Optical Fiber Communications: Principles and Practice. Pearson Education, 2020.
3. Arduino Official Documentation. Arduino Reference and Technical Guide. Arduino.cc, 2023.
4. Majumdar A. K., Ricklin J. C. Free-Space Laser Communications: Principles and Advances. Springer, 2008.
5. Majumdar A. K. Advanced Free Space Optics (FSO): A Systems Approach. Springer, 2015.
6. Kaushal H., Jain V. K., Kar S. Free Space Optical Communication. Springer, 2017.