

Проведенный анализ подтверждает, что подход, примененный Кляус и Жолобовым для структурной оптимизации процесса формирования отверстий, основан на эффективном комбинировании классических методов многокритериальной оптимизации. Ключевая идея реализована через метод свертывания критериев с использованием комплексного показателя  $To + A$ , что позволяет свести задачу к однокритериальной. Данный подход концептуально соответствует компенсаторным методам, допуская взаимный учет времени обработки и энергозатрат, а его реализация поддерживается принципами Парето-оптимальности для выделения рациональных альтернатив и методом последовательных уступок для согласования противоречивых требований. Таким образом, комбинация этих методов обеспечивает формализацию выбора и объективную оценку технологических решений.

#### Литература

1. Кляус, О. Н. Структурная оптимизация процесса формирования отверстий лезвийным инструментом / О. Н. Кляус, А. А. Жолобов // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2023. – № 2 (79). – С. 34–43.
2. Михалевич, В. С. Методы многокритериальной оптимизации / В. С. Михалевич, В. Л. Волкович, В. А. Топчий. – М. : Наука, 2010. – 312 с.
3. Воробьев, А. И. Многокритериальная оптимизация и принятие решений / А. И. Воробьев. – М. : Физматлит, 2008. – 256 с.

### ИЗМЕРЕНИЕ ДИФРАКЦИОННЫХ ПОЛЕЙ В ОПТИЧЕСКИХ ВОЛНОВОДАХ

А. В. Шилов, А. Б. Сотский

*Могилевский государственный университет имени А. А. Кулешова,  
Республика Беларусь*

*Приведены результаты измерений угловых распределений интенсивности рассеянного поля, возникающего в результате поперечной дифракции гауссова пучка на фотонно-кристаллическом волокне. Представлен макет экспериментальной установки для детектирования указанных распределений. Полученные зависимости сопоставлены с результатами численного решения дифракционной задачи методом функций Грина.*

**Ключевые слова:** поперечная дифракция, гауссов пучок, фотонно-кристаллическое волокно, метод функций Грина.

### MEASUREMENT OF DIFFRACTION FIELDS IN OPTICAL WAVEGUIDES

A. V. Shilov, A. B. Sotsky

*Mogilev State A. Kuleshov University, Republic of Belarus*

*This paper presents results of measurements of the angular distributions of the scattered field intensity arising as result of the lateral diffraction of the Gaussian beam on a photonic-crystal fiber. An experimental setup is demonstrated. The obtained dependences are compared with the results of a numerical solution of the diffraction problem using the Green's function method.*

**Keywords:** transverse diffraction, Gaussian light beams, microstructured fiber, photonic crystal fiber, Green's function method.

На сегодняшний день интенсивно проводятся исследования, связанные с разработкой фотонно-кристаллических сенсоров параметров сред [1]. На работу таких

сенсоров существенно влияет отклонение геометрии реального фотонно-кристаллического волокна (ФКВ) от теоретической модели. В работе представлена экспериментальная реализация метода контроля параметров ФКВ, предложенного в [2]. Исследованы дифракционные поля, возникающие при поперечной дифракции на ФКВ гауссова пучка.

Схема экспериментальной установки приведена на рис. 1, а. Она включает одномодовый He–Ne лазер 1, излучающий гауссов пучок круговой поляризации, поляризатор А и анализатор П 2, микрообъектив 3, поворотный столик 4, гониометр 5, линейку фотоприемников 6. Столик 4 предназначен для закрепления исследуемого ФКВ и содержит микровинт, позволяющий менять положение оси ФКВ относительно оси пучка. Система поляризатор-анализатор 2 служит для задания поляризации пучка (ТЕ- или ТМ), а также для изменения интенсивности пучка.

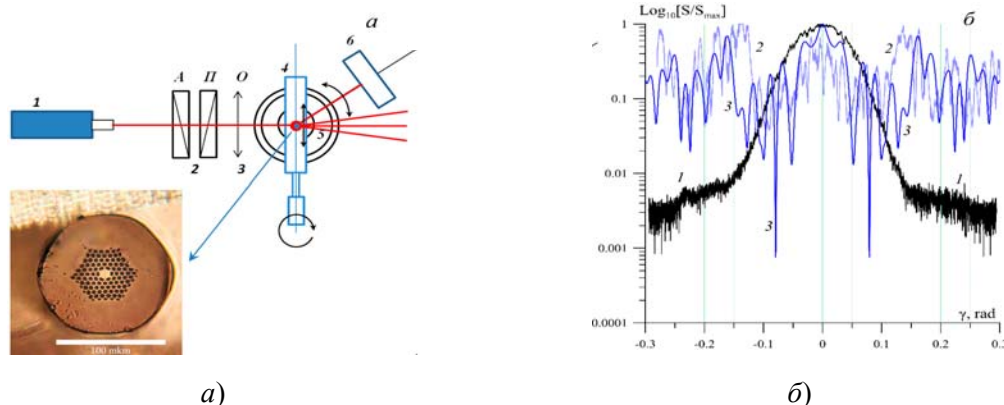


Рис. 1. Схема экспериментальной установки (а), измеренные угловые распределения интенсивности падающего гауссова пучка в перетяжке (1), пучка, рассеянного на ФКВ (2) и рассчитанное распределение интенсивности дифракционного поля (3). На вставке – снимок среза исследованного ФКВ

Ключевыми элементами измерительной схемы являются гониометр ГС-5, позволяющий прецизионно устанавливать углы ориентации волокна относительно оси падающего пучка и матрица фотоприемников, закрепленная на оси вращения гониометра. Матрица находится в специальной каретке с возможностью перемещения вдоль направляющего плеча, что позволяет поворачивать плоскость матрицы в диапазоне углов обратного рассеивания от  $0^\circ$  до  $135^\circ$ . Фокусное расстояние объектива равно  $9,6 \text{ mm}$ . Радиус сфокусированного пучка в перетяжке  $w = 4,3 \text{ }\mu\text{m}$ . Это значение было определено предварительно из распределения интенсивности дальнего поля пучка. Измерение интенсивности осуществлялось линейкой фотоприемников Hamamatsu S13496 с расстоянием между соседними пикселями  $7 \text{ }\mu\text{m}$ . Перетяжка пучка, прошедшего объектив совмещалась с центром ФКВ. Измеренные и рассчитанные методом функций Грина [2] угловые распределения интенсивности рассеянного поля гауссова пучка ТМ-поляризации для кварцевого ФКВ, изготовленного в оптическом центре “Centro de Investigaciones en Optica” (Leon, Mexico), приведены на рис. 1б. При расчетах использована модель регулярного ФКВ со средним периодом гексагональной решетки  $\Lambda = 5,65 \text{ }\mu\text{m}$  и средним диаметром воздушных каналов  $d = 3,9 \text{ }\mu\text{m}$ , определенными по фотографии поперечного среза ФКВ (рис. 1, а).

Согласно рис. 1, б, распределение рассеянного поля в дальней зоне имеет сложный характер в отличие от распределения гауссова пучка в свободном пространстве. Следует отметить качественное согласие эксперимента и теории в поведении рас-

пределений нормированного вектора Пойнтинга  $S/S_{\max}$ . Для получения более близкого согласия теории и эксперимента необходимо уточнить теоретическую модель с учетом разброса диаметров воздушных каналов ФКВ.

Представлен макет экспериментальной установки для детектирования угловых распределений рассеянного поля в дальней зоне, возникающего в результате дифракции светового гауссова пучка на микроструктурном волокне при его поперечном освещении. Полученные зависимости сопоставлены с результатами численного решения дифракционной задачи методом функций Грина.

#### Литература

1. Lossy mode resonances in photonic crystal fibers / M. S. Sicacha [et al.] // Journal of the European Optical Society. – 2021. – Vol. 17, № 24. – P. 1–12.
2. Сотский, А. Б. Дифракция светового пучка на микроструктурном волокне / А. Б. Сотский, О. А. Бельская, Л. И. Сотская // Компьютерная оптика. – 2014. – Т. 38, № 1. – С. 11–19.

## РАЗРАБОТКА ЕМКОСТНОЙ ПАНЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ НА БАЗЕ ARDUINO UNO

С. Р. Киселев, Н. В. Вабищевич

*Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой,  
г. Новополоцк, Республика Беларусь*

*Представлена разработка прототипа емкостной панели управления на базе платформы Arduino Uno, включающая в себя несколько сенсорных зон и оснащенная системой автономного питания и системой помехоустойчивости, а также встроенным программным обеспечением. Практическая значимость устройства обусловлена возможностью его использования в образовательных программах учебных дисциплин инженерно-технического профиля.*

**Ключевые слова:** Arduino Uno, емкостный сенсор, радиомодуль nRF24L01, Python.

## DEVELOPMENT OF A CAPACITIVE CONTROL PANEL BASED ON ARDUINO UNO

S. R. Kiselev, N. V. Vabishchevich

*Polotsk State University named after Euphrosyne of Polotsk, Novopolotsk,  
Republic of Belarus*

*This paper presents the development of a prototype capacitive control panel based on the Arduino Uno platform. It includes several touch zones and is equipped with a self-contained power supply, noise immunity, and embedded software. The practical significance of the device lies in its potential use in educational programs for engineering and technical disciplines.*

**Keywords:** Arduino Uno, capacitive sensor, nRF24L01 radio module, Python.

В настоящее время емкостные сенсоры, действие которых основано на изменении электрической емкости проводников при касании их телом человека, являются одним из наиболее востребованных направлений развития интерфейсов взаимодействия человека и техники и широко применяются в электронике, медицине, робототехнике, автомобильной отрасли и т. д. [1]. При этом усилия исследователей и инженеров направлены на разработку достаточно дешевых, компактных и автономных устройств, которые возможно использовать как в реальных технических устройствах, так и в образовательных проектах.