

К. А. Бендюков^{1✉}, Д. М. Никулин¹, Н. А. Митюшенко²

Разработка стенда для контроля торцевых поверхностей оптоволокон в процессе обработки

¹Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация

²Университет ИТМО, г Санкт-Петербург, Российская Федерация
e-mail: bkirja@mail.ru

Аннотация. Эффективность ввода оптического излучения в оптоволокно зависит не только от различных оптических и линзовых систем, но и от качества торцевых поверхностей оптоволокон. Различные торцевые дефекты увеличивают потери оптического излучения при вводе его в оптоволокно и дальнейшей передаче оптического сигнала на дальние расстояния. Контроль качества торцевых поверхностей после их шлифовки и полировки проводится с помощью оптических микроскопов и видеомикроскопов. При обнаружении дефектов оптоволокно возвращается на повторную полировку. Разрабатываемый стенд позволяет контролировать дефекты на торцах оптоволокон в процессе его шлифовки и полировки. Стенд также позволяет выводить изображение торца оптоволокон на экран монитора для последующего анализа количественных характеристик дефектов.

Ключевые слова: оптико-электронный стенд, оптоволокно, торцевая поверхность

К. А. Bendyukov^{1✉}, D. M. Nikulin¹, N. A. Mityushenko²

Development of a stand for monitoring the end surfaces of optical fiber during processing.

¹Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation

²ITMO University, Saint-Petersburg, Russian Federation
e-mail: bkirja@mail.ru

Abstract. The efficiency of introducing optical radiation into an optical fiber depends not only on various optical and lens systems, but also on the quality of the end surfaces of the optical fiber. Various end defects increase the loss of optical radiation when it is introduced into the fiber and further transmission of the optical signal over long distances. Quality control of end surfaces is carried out using optical microscopes and video microscopes after their grinding and polishing. If defects are found, the fiber is returned for re-polishing. The developed stand allows you to control defects on the ends of the fiber during its grinding and polishing. The stand also allows you to display an image of the end of the fiber on the monitor screen for subsequent analysis due to the quantitative characteristics of defects.

Keywords: optoelectronic stand, optical fiber, end surface

Введение

Контроль качества торцевых поверхностей оптоволокон в процессе их полировки является актуальной задачей и позволит своевременно вносить изменения в технологический процесс полировки. Изображение торца оптоволокон бу-

дет выводится на экран монитора, что позволит не только качественно, но и количественно оценить его на дефекты.

Конструкция стенда предусматривает его использование на рабочем месте, на котором осуществляется полировка торцов оптоволоконна.

Методы и материалы

Обоснование требований к оптической системе стенда для контроля торцевых поверхностей оптоволоконна строится, опираясь на ГОСТ 11141-84 [1], который распространяется на оптические детали из стекла, кристаллов, ситаллов, полимерных материалов, оптической керамики, металлов и волоконно-оптические изделия. Для оценки оптических характеристик разрабатываемого оптико-электронного стенда для контроля торцевых поверхностей оптоволоконна примем следующие значения параметров оптических компонентов:

- фокусное расстояние первой линзы системы $f'_1 = 50$ мм;
 - фокусное расстояние второй линзы системы $f'_2 = 100$ мм;
 - размер предмета $2y = 2,5$ мм – диаметр контролируемого волокна.
- Увеличение объектива системы β рассчитывается по формуле:

$$\beta = \frac{f'_2}{f'_1} = \frac{100}{50} = 2^\times. \quad (1)$$

Размер полученного изображения рассчитывается по формуле:

$$2y' = 2y \times \beta_{1,2} = 2 \times 2,5 = 5 \text{ мм}. \quad (2)$$

Для контроля всей площади торца оптоволоконна размер матрицы должен быть не менее полученного по формуле (2) изображения, чему удовлетворяет КМОП-матрица $\frac{1}{2}$ дюйма (размерами $6,4 \times 4,8$ мм) с максимальным разрешением 1920×1080 [2].

Зная данные параметры, рассчитаем размеры пикселя приемной матрицы по горизонтали и вертикали по формулам:

$$\delta' = \frac{a'}{N_{\text{гор}}} = \frac{6,4}{1920} = 0,0033. \quad (3)$$

$$\delta' = \frac{b'}{N_{\text{верт}}} = \frac{4,8}{1080} = 0,0044. \quad (4)$$

Из формул (3) и (4) следует, что размер пикселя предлагаемой КМОП-матрицы равен $3,3 \times 4,4$ мкм. Разрешение стенда в плоскости торца оптоволоконна рассчитывается по формуле:

$$\delta = \frac{\delta'}{\beta} = \frac{0,0044}{2} = 0,0022 \text{ мм} = 2,2 \text{ мкм.} \quad (5)$$

Таким образом, на один пиксель приходится 2,2 мкм реального размера изображения. Оценочное разрешение разрабатываемого оптико-электронного стенда позволяет контролировать, как видно из табл. 1, дефекты по первому классу точности, соответствующие ГОСТ 11141-84.

Таблица 1

Класс чистоты	Царапины		Точки		Скопления дефектов	
	Ширина, мм, не более	Суммарная длина, мм, не более	Диаметр, мм, не более	Число, не более	Диаметр ограниченного участка, мм	Суммарная площадь царапин и точек, мм ² , не более
I	0,004		0,020		1,0	0,004
II	0,006	2,0×O _ø *	0,050	0,5×O _ø	1,2	0,006
III	0,010		0,100		2,0	0,020

* O_ø – световой диаметр

Структурная схема разрабатываемого стенда состоит из объектива, светоделительного блока, окуляра, приемной матрицы и дисплея для вывода информации. Стенд предусматривает в своей конструкции использование двух каналов наблюдения – визуального и цифрового. Цифровая информация выводится с помощью приемной матрицы и дисплея, на котором оператор сможет наблюдать торец оптоволокна для контроля дефектов, которые могут возникнуть в процессе обработки, а также измерять размер дефекта с помощью программного обеспечения. Наличие визуального канала наблюдения оставляет вариативность в выборе метода контроля, так как окуляр будет снабжен сеткой для измерения размеров (рис. 1).

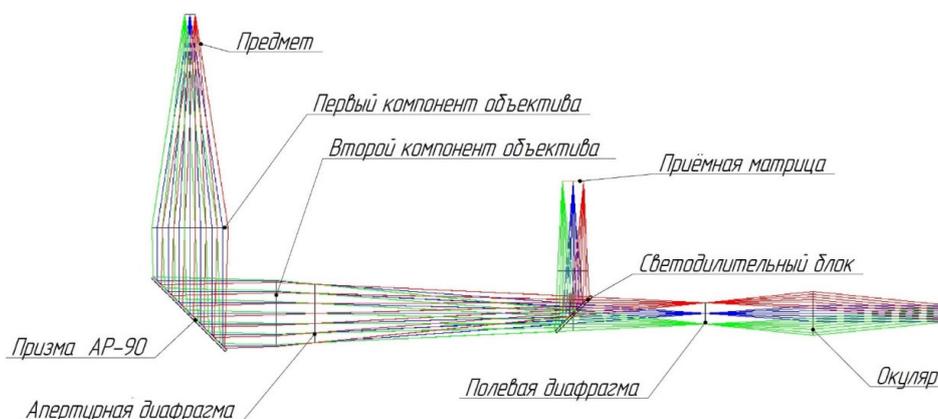


Рис. 1. Принципиальная схема разрабатываемого стенда

Далее описывается процесс разработки оптической системы, использованной для стенда. Она имеет следующие характеристики: $\beta=2^x$, линейное поле в пространстве предметов 2,5 мм, числовая апертура в пространстве предметов 0,15.

Объектив состоит из двух пар склеенных линз. Расчет каждой из линз проводился в программе ZEMAX.

Расчет проводился на минимум сферической aberrации, а также была исправлена кома.

Дополнительно был рассчитан окуляр. При синтезе окуляра основными aberrациями, которые необходимо исправить, были сферическая aberrация, кривизна поля и астигматизм (рис. 2).

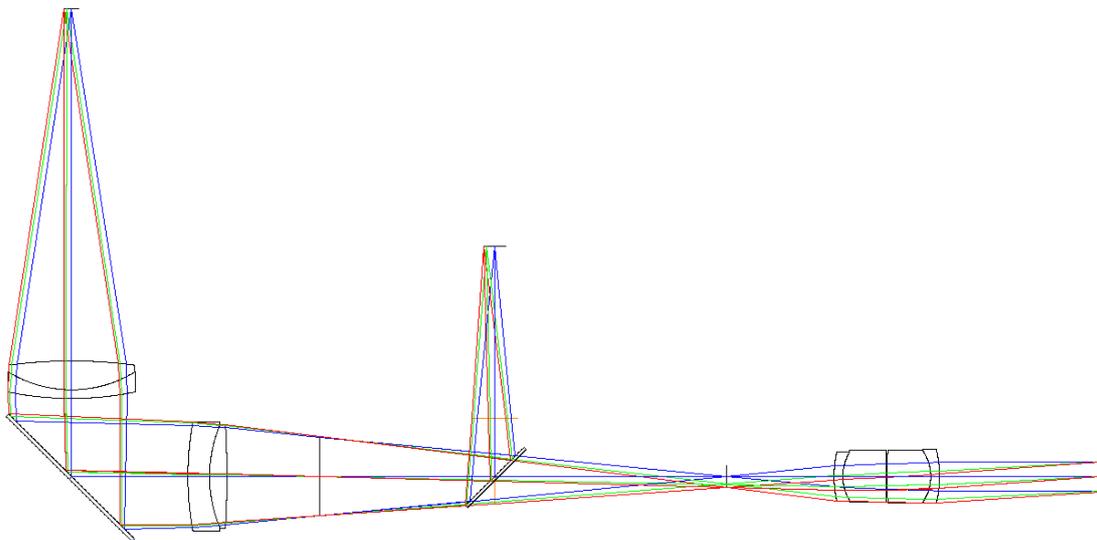


Рис. 2. Оптическая система разработанного стенда

Для проекционного канала достаточно получить необходимый радиус пятна рассеивания (рис. 3).

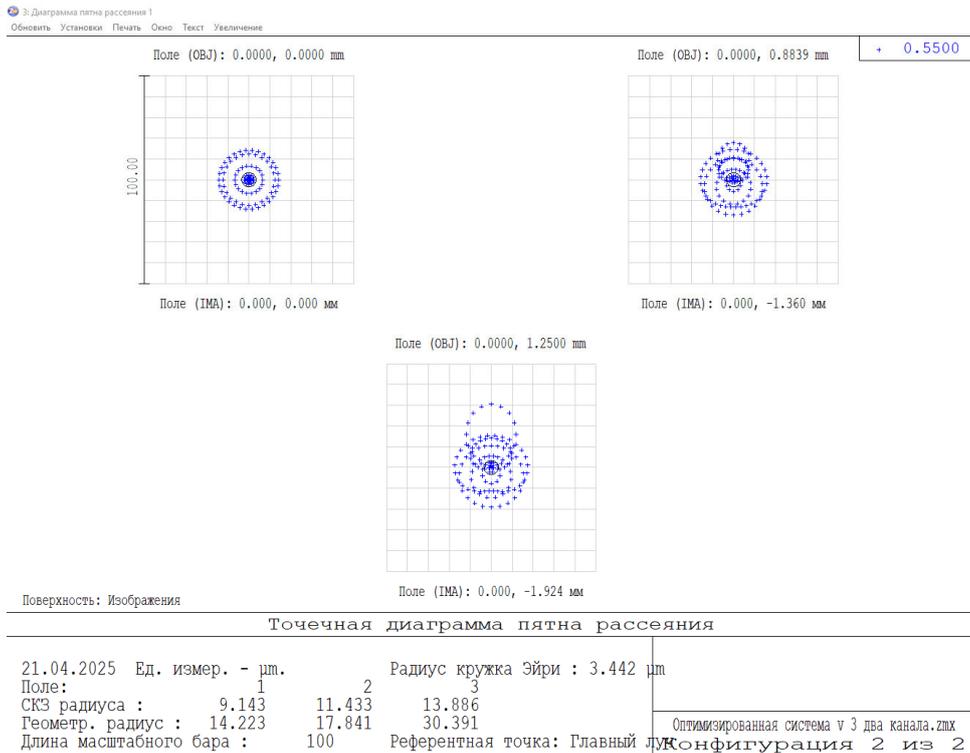


Рис. 3. Диаграмма пятна рассеивания

Среднеквадратичное значение радиуса пятна рассеивания составляет 9 мкм. Для наблюдательного канала была исправлена кривизна поля и астигматизм (рис. 4).

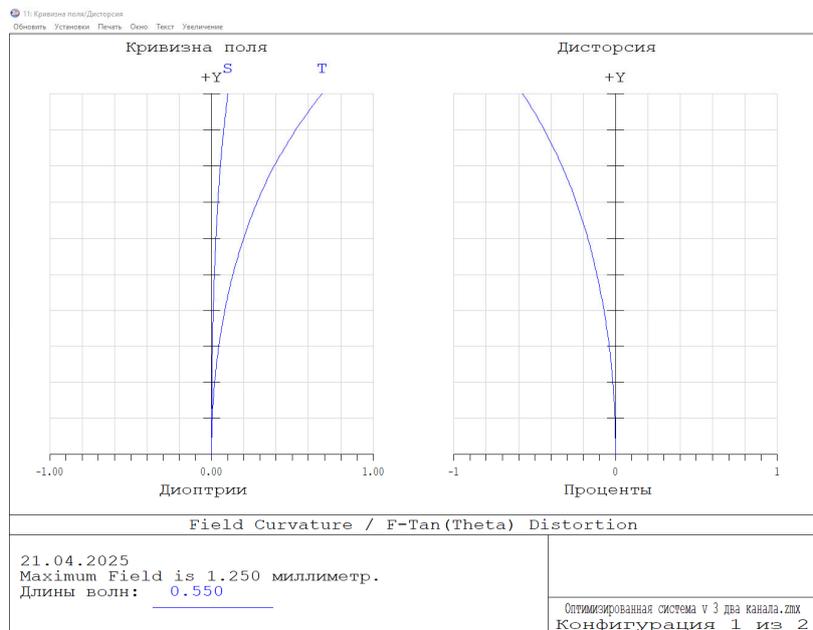


Рис. 4. Кривизна и астигматизм

Значение кривизны поля для сагиттального и меридионального сечений со-

ставляет 0,1 и 0,68 дптр соответственно, а значение астигматизма составляет 0,6 дптр. Это является отличным [3] качеством изображения.

Параллельное проектирование механической части

В процессе расчета оптической системы разрабатываемого стенда в программе «Компас 3D» параллельно конструировалась его 3D модель (рис. 5).

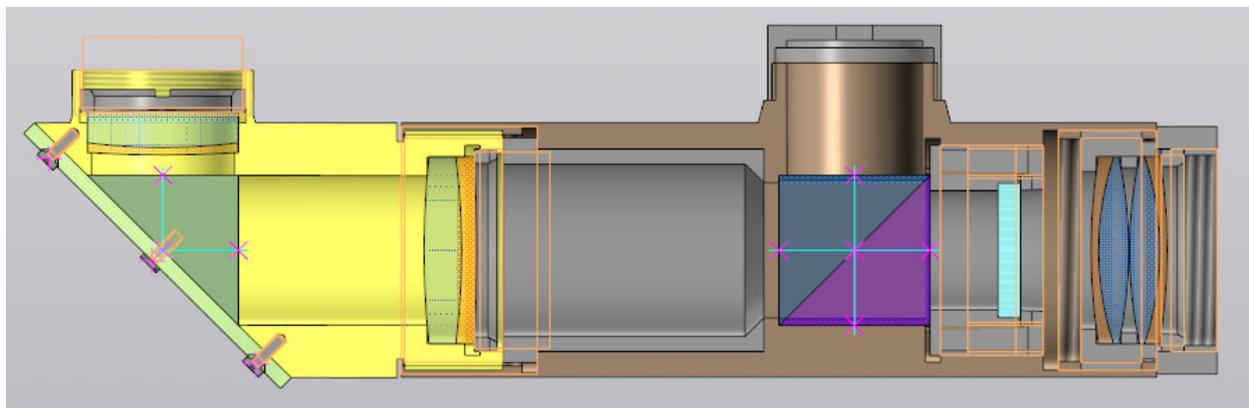


Рис. 5. 3D модель конструкции разрабатываемого стенда

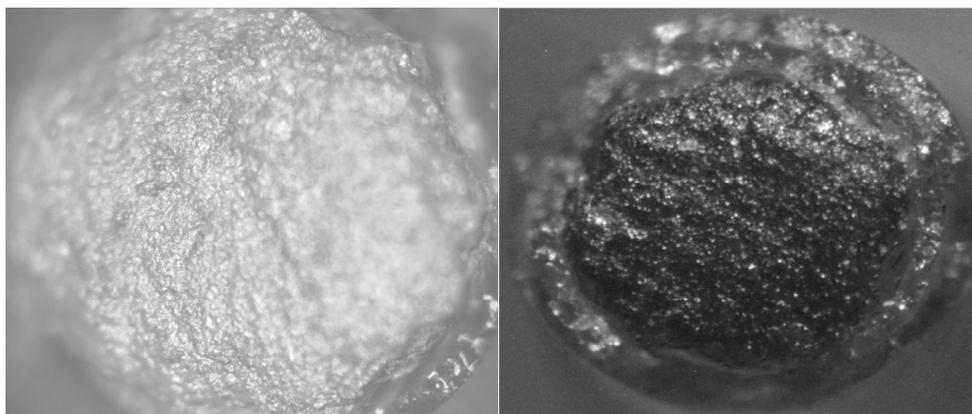
Это дает возможность существенно сократить процесс создания конструкторской документации и снижает вероятность ошибок при ее разработке. Основным инструментом параллельного проектирования являются переменные [4]. При проектировании 3D модели использовались основные переменные параметры, среди которых: радиусы кривизны, толщины по оси, полные диаметры и расстояния между компонентами. Программа позволяет использовать переменные при конструировании оптической и механической составляющих разрабатываемого стенда. Перенос необходимых переменных осуществляется с помощью Excel.

При внесении переменных в программу [5] учитываются припуски на крепление оптических деталей в механическом корпусе согласно рекомендациям [6,7].

Для корректной работы с переменными была применена полная параметризация моделей. На основе параметризованной 3D модели оптической системы конструируются корпуса объектива, окуляра, проекционной системы, а также промежуточные кольца. При изменении какого-либо из параметров в таблице переменных автоматически происходит перестроение всех необходимых размеров, в частности, размеры промежуточных колец, длины корпусов. Апертурная диафрагма конструктивно включена в блок отдельной деталью. Для юстировки объектива предусматривается подрезка торцов оправ оптических блоков.

Результаты и обсуждение

Разработанный стенд позволяет контролировать торцевые поверхности оптоволоконна (рис. 6).



а) оптоволокно до обработки б) промежуточный результат шлифовки торца

Рис. 6. Торец оптоволокна: а) оптоволокно до обработки; б) промежуточный результат шлифовки торца

Получаемые изображения позволяют производить контроль оптоволокна на любом из этапов обработки торцевых поверхностей.

Заключение

Авторы выражают надежду, что результаты разработки стенда для контроля торцевых поверхностей оптоволокна представляют интерес для технологов при обработке оптоволокна.

Описанный в статье метод синтеза стартовой системы оптической системы стенда в совокупности с параллельным проектированием механики позволяет в короткие сроки осуществлять кастомизацию под конкретные технические требования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 11141-84. Детали оптические. Классы чистоты поверхностей. Методы контроля: национальный стандарт: издание официальное: утвержден и введен действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 6 апреля 1984 г. N 121: введен впервые: дата введения 1984-04-06. – Электронный фонд правовых и нормативных документов «Кодекс».
2. Каталог датчиков // npk-photonica. – URL: https://npk-photonica.ru/upload/pdf/Фотоника_Датчики_2021.pdf.
3. Запрягаева Л.А., Свешникова И.С. Расчет и проектирование оптических систем. – М.: Логос, 2000. – 586 с.
4. Михайлов И.О. CAD-технологии. Проектирование технической системы методом «сверху вниз»: учеб.-метод. пособие. – Новосибирск: СГУГиТ, 2020. – 204 с.
5. Учебная версия программы твердотельного моделирования Компас 3D // ascon.ru URL: <https://edu.ascon.ru/main/download/cab/>.
6. Плотников В.С. Расчет и конструирование оптико-механических приборов: учебник. – 2-е изд. – М.: Машиностроение, 1983. – 256 с.
7. Латыев С. М. Конструирование точных (оптических) приборов: уч. пособие. - СПб.: Политехника, 2007. – 579 с.

© К. А. Бендюков, Н. А. Митюшенко, Д. М. Никулин, 2025