

УДК 29.31.29

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЛИНЗ ПОСЛЕ ЛАЗЕРНОЙ МОДИФИКАЦИИ

Иванова Варвара Андреевна

*Студентка 3 курса,  
кафедра «Метрология и взаимозаменяемость»  
Московский государственный технический университет*

*Научный руководитель: А.Б. Сырицкий,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Метрология и взаимозаменяемость»*

Развитие технологий лазерной обработки материалов открыло новые возможности для модификации оптических элементов, включая линзы. Основные преимущества использования лазерных технологий при создании модифицированных областей – возможность управления размерами и формой области посредством управления энергетическими характеристиками, формирующего модифицированных областей излучения, а также бесконтактное воздействие и высокая воспроизводимость результатов [1]. Изменение их оптических характеристик может привести к созданию более эффективных и специализированных оптических систем, применяемых в медицине, промышленности и науке. В связи с этим исследование свойств линз после лазерной модификации представляет актуальную задачу.

Оптические свойства линз определяют их работу в различных приложениях и включают в себя несколько ключевых параметров. Величина фокусного расстояния является одной из основных оптических характеристик систем. Фокусное расстояние любой оптической системы – это расстояние от главной задней точки до заднего фокуса оптической системы [2]. Оно характеризует оптическую силу линзы и определяет её способность собирать или рассеивать свет. Чем меньше фокусное расстояние, тем сильнее преломляющая способность линзы, что важно для систем с высокой степенью увеличения. Показатель преломления материала линзы определяет, насколько изменяется скорость света при прохождении через оптический элемент. Величина показателя преломления характеризует оптическую плотность прозрачных веществ. Чем больше показатель преломления среды, то есть чем более оптически плотной является среда, тем меньше скорость распространения света в ней [3]. Световая энергия, пройдя какую-либо среду, может уменьшиться вследствие отражения от встречающихся поверхностей, поглощения и рассеяния средой. Отношение светового потока, вышедшего из данной среды, к световому потоку, направляющемуся в данную среду, или, точнее говоря, падающему на её пограничную поверхность, называется коэффициентом пропускания [4]. Высокий коэффициент пропускания важен для применения линз в точных измерительных приборах и медицинских устройствах, где потери света должны быть минимизированы.

Все три параметра являются взаимосвязанными и оказывают влияние на характеристики линзы после лазерной модификации, что делает их изучение важным. На текущем этапе исследования особое внимание уделяется измерению фокусного расстояния, так как оно является ключевым параметром, определяющим эффективность линзы. Так как положение главной задней точки установить с достаточной точностью сложно, методы измерения фокусного расстояния являются косвенными. В основном для этого используют оптические скамьи и специальные приборы – фокометры [2]. В работе рассматриваются три метода измерения фокусного расстояния в соответствии с требованиями ГОСТ 13095-82 [5]:

1. Метод увеличения, основанный на сравнении размеров изображения объекта при разных положениях линзы (рис. 1). Испытуемый объектив (7) закрепляют в держателе. В задней фокальной плоскости коллиматора (6) устанавливают штриховую (5) шкалу, равномерно освещенную источником света (1). Чтобы выделить расчётную длину волны, между источником и шкалой помещают светофильтр (4), соответствующий техническим условиям измеряемого объектива. Микроскоп (8) настраивают на резкое изображение штриховой шкалы (5), затем перекрестие микроскопа поочередно совмещают со штрихами  $i$  и  $k$ , фиксируя отсчёты по шкале окуляр-микрометра ( $n_1, n_k$ ) и шкале поперечного перемещения ( $N_1, N_k$ ). Каждое измерение повторяют не менее трёх раз.

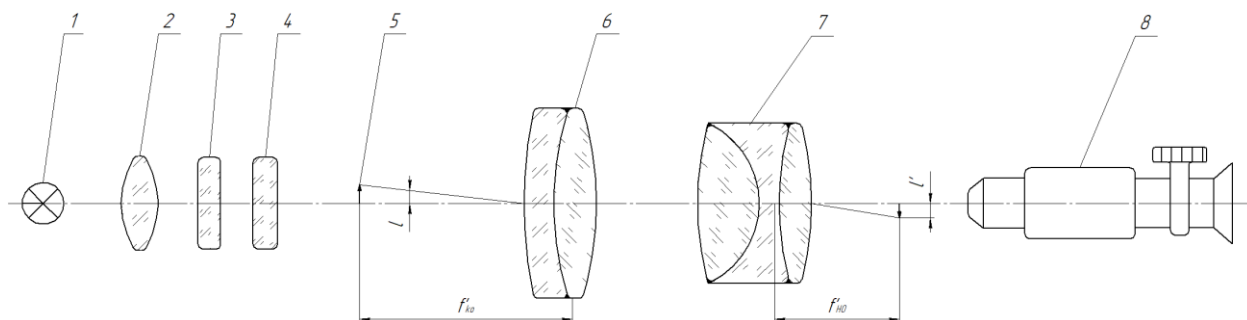


Рисунок 1 – Схема установки для измерения по методу увеличения. 1 – источник света; 2 – конденсор; 3 – молочное (опаловое) стекло; 4 – светофильтр; 5 – штриховая шкала; 6 – объектив коллиматора; 7 – испытуемый объектив; 8 - микроскоп с окуляр-микрометром или микрометрическим поперечным перемещением.

2. Метод Фабри-Юдина, использующий интерференционные явления для определения фокусного расстояния (рис. 2). Источник света (1) устанавливают так, чтобы цель коллиматора (3) находилась в центре светового пучка, а коллиматор (4) проверяют на бесконечность. Затем зрительную трубу разворачивают в горизонтальной плоскости и наклоняют коллиматор в вертикальной плоскости, чтобы изображение щели коллиматора оказалось в центре поля зрения. Окуляр зрительной трубы (7) настраивают на резкое изображение нитей винтового микрометра (8), после чего испытуемый объектив (6) помещают в объективодержатель. Далее выбирают пару щелей диафрагмы (5) в зависимости от размера измеряемого фокусного расстояния, добиваясь максимального расстояния между центрами пучков лучей в фокальной плоскости объектива зрительной трубы. Изображение щели коллиматора устанавливают параллельно вертикальной нити микрометра. Для определения расстояния между следами изображений пары щелей вертикальную нить окуляр-микрометра наводят на середину правого и левого следов, фиксируя отсчёты ( $n_{пр}, n_{лев}$ ). Наведение выполняют не менее пяти раз, затем вычисляют среднее арифметическое. Для повышения точности измерение повторяют с другой парой щелей. Расстояние между следами изображений вычисляют по формуле (1):

$$d = k(n_{пр} - n_{лев}), \quad (1)$$

где  $k$  – цена деления окуляр-микрометра.

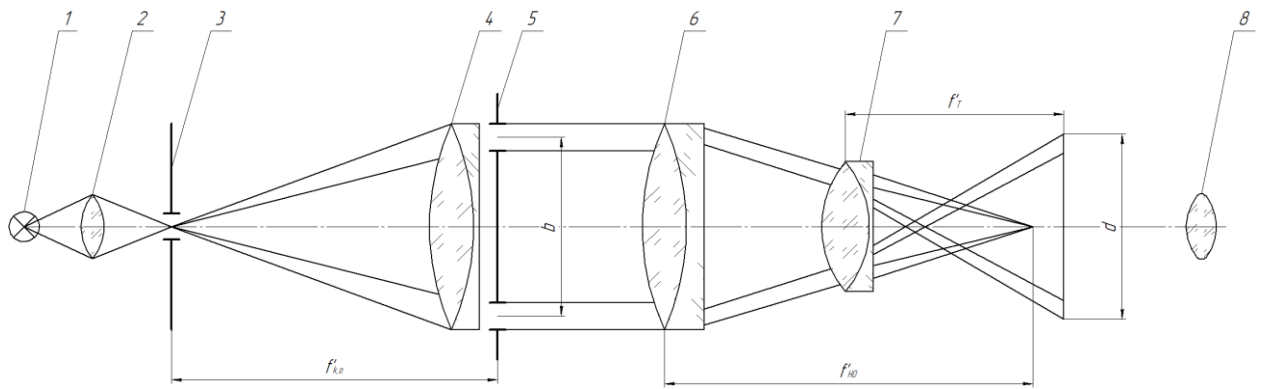


Рисунок 2 – Схема установки для измерения по методу Фабри-Юдина. 1 – источник света; 2 – конденсор, 3 – щель коллиматора; 4 – объектив коллиматора; 5 – диафрагма с набором пар щелей; 6 – испытуемый объектив; 7 – объектив зрительной трубы; 8 – окуляр микрометр.

3. Угломерный метод, при котором измеряется отклонение светового пучка, проходящего через линзу (рис. 3). Процесс начинается с установки начального отсчета  $\delta_0$  на угломерном устройстве (2), соответствующего положению, когда опорный торец объективодержателя (5) перпендикулярен визирной оси автоколлимационной трубы (10). Испытуемый объектив (4) закрепляют в объективодержателе первой линзой к зрительной трубе (1), а затем совмещают плоскость входного зрачка объектива с вертикальной осью поворотного устройства (6). Это достигается путем перемещения объективодержателя до тех пор, пока изображение входного зрачка не перестанет смещаться в выходном зрачке зрительной трубы при наблюдении. Далее устанавливают измерительную шкалу (7) на направляющие и перемещают её до получения резкого изображения центрального штриха шкалы, контролируя это зрительной трубой, настроенной на бесконечность. Шкалу выставляют перпендикулярно автоколлимационной трубе в положении, соответствующем начальному отсчёту  $\delta_0$ , и проверяют, чтобы при развороте поворотного устройства изображения штрихов шкалы не смещались по высоте в поле зрения зрительной трубы. В этом же положении нулевой штрих шкалы совмещают с перекрестьем зрительной трубы, перемещая шкалу параллельно фокальной плоскости. Перекрестье зрительной трубы совмещают с изображением нулевого штриха шкалы и фиксируют отсчет  $\sigma_0$  на угломерном устройстве. Затем рычаг поворачивают до совмещения перекрестья со штрихом, соответствующим точке поля зрения объектива  $+y'_1$ , и снимают отсчёт  $\sigma + y'_1$ . Аналогично выполняют измерение для точки  $-y'_1$ , фиксируя отсчёт  $\sigma - y'_1$ . Эти действия повторяют для нескольких точек поля зрения объектива, указанных в технических условиях, и проводят не менее трёх серий измерений для обеспечения точности результатов.

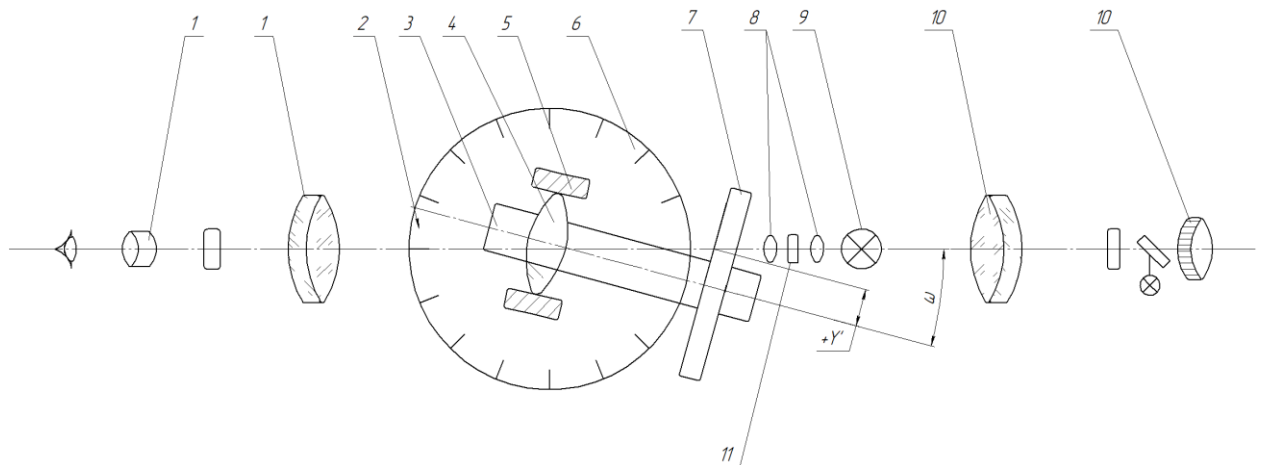


Рисунок 3 – Схема установки для измерения по методу Фабри-Юдина. 1 – зрительная труба; 2 – угломерное устройство; 3 – продольные направляющие; 4 – испытуемый объектив; 5 – объективодержатель; 6 – поворотное устройство; 7 – измерительная шкала, 8 – конденсор; 9 – источник света; 10 – автоколлимационная труба; 11 – светофильтр.

Целью данной работы является комплексное изучение влияния лазерной модификации на фокусное расстояние линз, а также определение наиболее точного и надежного метода его измерения. Это необходимо для обеспечения высокой точности и воспроизводимости результатов при создании новых оптических элементов с заданными характеристиками. Достижение данной цели позволит оценить, как именно лазерная обработка изменяет оптические свойства линз, а также выявить закономерности, влияющие на их фокусирующую способность. В дальнейшем это может способствовать разработке более эффективных методов контроля качества оптических систем и созданию технологий по управлению параметрами линз для специализированных приложений в науке, медицине и промышленности.

## **Литература**

- 1 Заколдаев Р.А., Сергеев М.М., Костюк Г.К., Яковлев Е.Б. Лазерное формирование волноводных структур в объёме пластин пористого стекла, пропитанного водным раствором глицерина // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2014. № 6. С. 41–46.
- 2 Смирнова Е.В., Егоров Г.В. Оценка результатов косвенных измерений фокусных расстояний линз // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2006. №11. С. 160–165.
- 3 Гоголева Е.М., Фарафонтова Е.П. Прикладная оптика: учеб. пособие. Екатеринбург: Уральский университет, 2016. 6 с.
- 4 Тиходеев П.М. Световые измерения в светотехнике. 2-е изд., перераб. М., 1962. Гл. 3. С. 76.
- 5 ГОСТ 13095-82. Объективы. Методы измерения фокусного расстояния. Введ. 1984-01-01. М.: Изд-во стандартов, 1988. 1-10 с.