

УДК 535.8

ИЗУЧЕНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ СОВМЕЩЕНИЯ МАРОК ПРИ ПОПЕРЕЧНЫХ НАВОДКАХ

С.М. Латыев, Е.В. Смирнова

В работе приведены зависимости погрешностей поперечных наводок от условий наблюдений: типа светофильтров, освещенности, аберраций оптической системы, направления совмещений. По проведенным исследованиям сделаны некоторые выводы и даны рекомендации для уменьшения погрешности.

Ключевые слова: поперечная наводка, би-штрих, погрешность наведения, полигон рассеяния, аберрация, контраст, освещенность, позиционно-чувствительный приемник.

Введение

В основу функционирования многих оптических приборов (теодолитов, автоколлиматоров, измерительных микроскопов) положена операция совмещения изображения и марки, наблюдаемых оператором, с последующим снятием отсчета по шкалам. При этом из-за ряда причин (остроты зрения, параллакса и др.) оператор не может абсолютно правильно расположить изображение относительно марки и оценить на глаз расстояние от штриха до индекса (долю деления шкалы). Так возникают погрешности наведения, влияющие на точность работы приборов. Погрешность наведения зависит от ряда факторов: видов совмещаемых марок, типа светофильтров, освещенности экрана, контраста изображения, аберраций оптической системы, психофизических данных оператора.

Для некоторых современных оптических приборов погрешности наведения являются доминирующими составляющими характеристик точности, что обусловлено уменьшением других составляющих благодаря автоматизации процесса работы при помощи фотоэлектрических преобразователей, позиционно-чувствительных приемников и микропроцессорных устройств.

Настоящая работа направлена на исследование погрешности совмещения марок при поперечных наводках би-штриха экрана относительно изображения штриха сетки.

Лабораторный стенд

Исследования проводились на экспериментальной установке (рис. 1), разработанной для исследования погрешности совмещаемых марок на экране проекционной установки от факторов различной природы. Для определения числовых характеристик, а также законов рассеяния погрешности производили по 200–300 совмещений, выполняемых оператором на расстоянии наилучшего видения. Экспериментальная установка помещена в светозащитный кожух с целью устранения посторонних засветок.

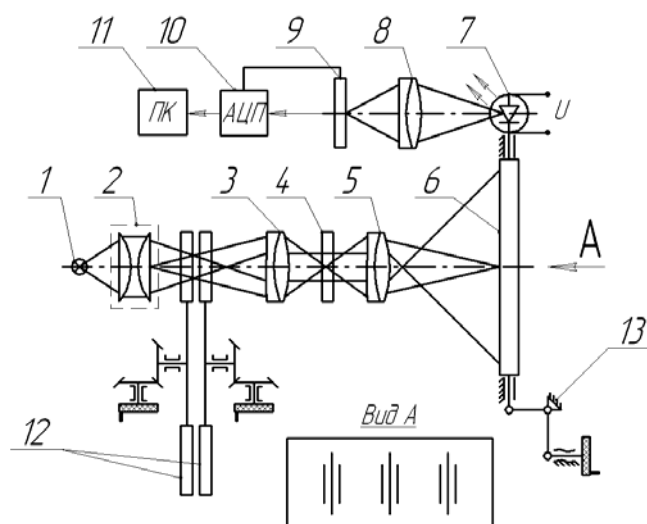


Рис. 1. Функциональная схема экспериментальной установки:
 1, 2, 3 – осветительная система по Кеплеру; 4 – сменная сетка с тремя штрихами;
 5 – проекционный сменный микрообъектив ($40\times 0,65$); 6 – матовый экран с тремя би-штрихами; 7 – светодиод; 8 – объектив для проецирования светового пятна от светодиода на светочувствительную площадку приемника ($8\times 0,2$); 9 – позиционно-чувствительный приемник «Мультискан»; 10 – аналого-цифровой преобразователь; 11 – персональный компьютер; 12 – сменные светофильтры; 13 – винто-рычажный привод

Величина погрешности совмещения изображения штриха сетки с би-штрихом экрана фиксируется позиционно-чувствительным приемником «Мультискан» при многократных повторных наводках, осуществляемых при помощи винто-рычажного привода. Многоэлементный фотоприемник «Мультискан» позволяет регистрировать положение падающего на него светового пятна, обладает большим быстродействием и позволяет значительно проще обрабатывать оптический сигнал. Фотоприемник работает в режиме «координатоуказателя», который используется для определения координаты весового центра одиночного светового пятна. По этим соображениям фотоприемник был выбран в качестве основного в целях создания автоматизированной установки.

Результаты исследований

Методика исследования чувствительности наводок основана на измерении величины рассеяния положения марки при ее многократных повторных совмещениях с изображением объекта. Точность совмещения зависит от формы совмещаемых объектов. Среднеквадратическая погрешность наведения для случая совмещения с би-штрихом составляет $6-8''$ [1]. На рис. 2 представлены полигоны рассеяния погрешности для случая наводок без светофильтров, описывающие влияние психофизических данных оператора при изменении направления наводки. Законы рассеяния определялись по критерию согласия Пирсона, по результатам проверки было получено, что они подчиняются композиции закона Гаусса и закона равной вероятности, причиной чему являются факторы, в целом влияющие на погрешность совмещения [1–2]. При изменении направления наводки происходит смещение центра группирования полей рассеяния, что указывает на наличие систематической составляющей погрешности. По результатам проведенных исследований систематическая составляющая погрешности совмещения, вызванная психофизическим состоянием оператора, достигает 40 мкм .

Для устранения этой составляющей погрешности следует производить совмещение с одной стороны и не изменять направление наводки до конца серии измерений.

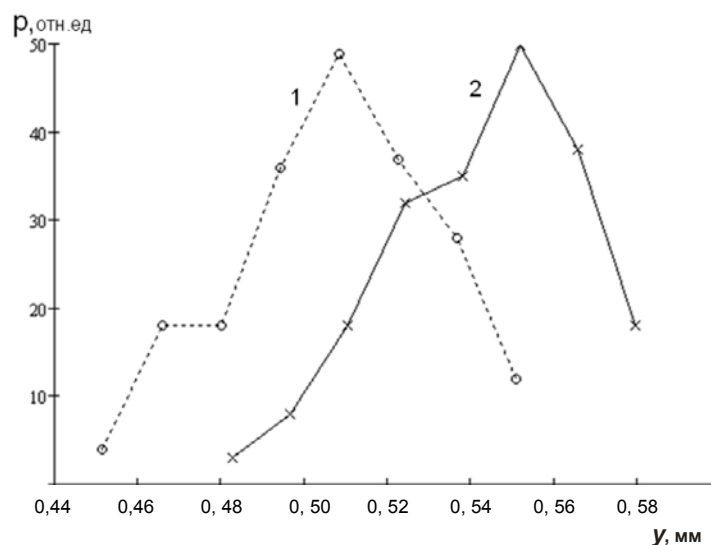


Рис. 2. Полигоны рассеяния положений би-штриха экрана относительно изображения штриха сетки: p – частота (функция выработки вектора частот попадания данных в соответствующие интервалы), y – положение би-штриха; 1 – совмещение марки и изображения происходит справа налево, среднее значение $y_{\text{ср}}=0,504$ мм, $\sigma=0,024$ мм; 2 – совмещение марки и изображения происходит слева направо, $y_{\text{ср}}=0,543$ мм, $\sigma=0,023$ мм

Исследования поперечных наводок при включении различных светофильтров (рис. 3) показали, что при этом изменяется среднеквадратическая погрешность и смещается центр группирования (табл. 1). Отличия в погрешности происходят вследствие хроматизма увеличения, который возникает из-за разности углов преломления через оптическое стекло у разных длин волн. Оператор сдвигает штрих, чтобы расположить изображение по центру би-штриха. При этом и появляется погрешность совмещения.

Тип светофильтра	Среднее значение, мм	Среднеквадратическая погрешность, мм
Синий (1)	0,551	0,021
Зеленый (2)	0,553	0,018
Желтый (3)	0,532	0,020
Оранжевый (4)	0,504	0,023
Красный (5)	0,498	0,024

Таблица 1. Зависимость величины среднеквадратической погрешности от типа светофильтра, применяемого в системе

Наименьшая погрешность в ходе экспериментов была получена для зеленого светофильтра, создающего оптимальные условия работы для оператора, что подтверждает результаты проведенных ранее исследований. При смене светофильтров происходит смещение центра группирования результатов измерения. Для предотвращения появления данной составляющей погрешности не следует производить переключение светофильтров, не закончив цикла измерений.

При замене проекционного объектива и при работе на различных участках поля зрения погрешность поперечных наводок существенно изменяется по причине измене-

ния величины и вида aberrации (табл. 2) [2]. В экспериментах применялись объективы (№№ 1–5), каждый из которых имел свою собственную aberrацию (значение которой не было известно). Соответствующие графики приведены на рис. 4.

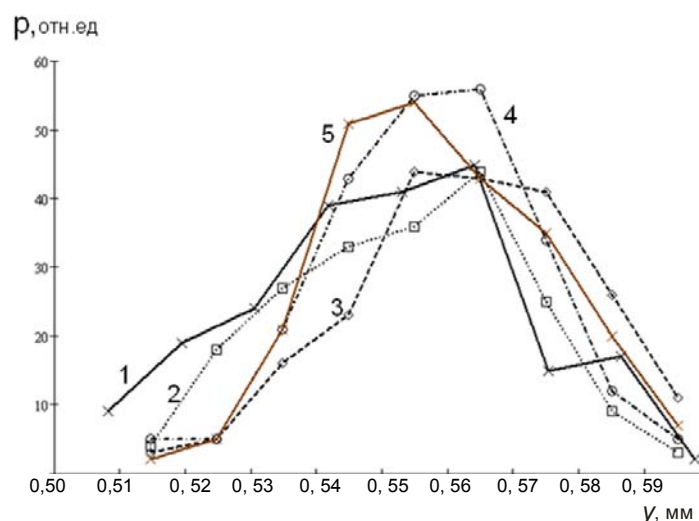


Рис. 3. Влияние типа светофильтра на чувствительность поперечных наводок (1 – объектив № 1; 2 – объектив № 2; 3 – объектив № 3; 4 – объектив № 4; 5 – объектив № 5)

	Среднее значение, мм	Среднеквадратическая погрешность, мм
Объектив №1	0,531	0,019
Объектив №2	0,498	0,022
Объектив №3	0,490	0,020
Объектив №4	0,677	0,022
Объектив №5	0,474	0,022

Таблица 2. Зависимость величины среднеквадратической погрешности от типа объектива, применяемого в системе

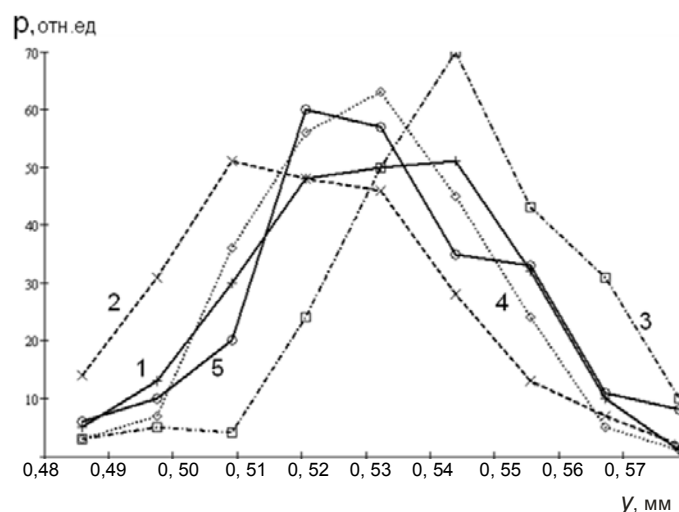


Рис. 4. Влияние вида aberrации в сменных объективах на чувствительность поперечных наводок

В ходе исследований было установлено, что погрешность совмещения также значительно зависит от изменения освещенности чувствительной площадки фотоприемника (рис. 5), и выявлено, что комфортная для работы оператора освещенность составляет от 15 до 30 лк.

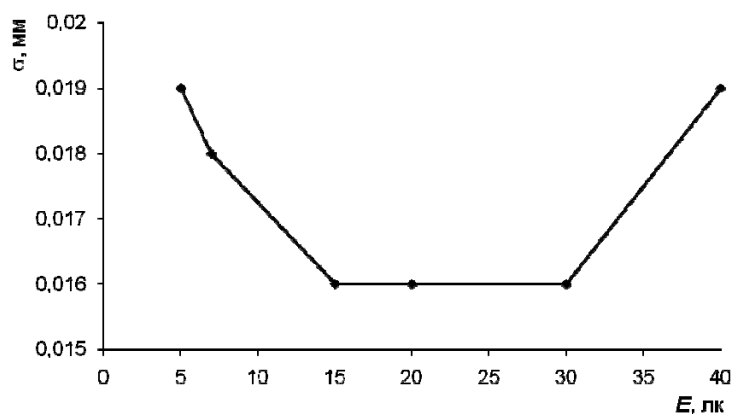


Рис. 5. Зависимость среднеквадратической погрешности от освещенности

Заключение

В ходе исследований было выявлено наличие систематической составляющей погрешности при проведении измерений, значение которой достигало 40 мкм, что вызвано психофизическим состоянием оператора. При работе со светофильтрами наименьшая погрешность (18 мкм) получена для сине-зеленого светофильтра. При замене в системе проекционного объектива на аналогичный объектив с известной преобладающей аберрацией величина погрешности изменяется. Более точные результаты могут быть получены тогда, когда известна численная величина аберрации конкретного объектива. Кроме того, погрешность измерений зависит от освещенности чувствительной площадки фотоприемника, что также связано с психофизическим состоянием оператора.

Экспериментальный стенд используется при проведении лабораторного практикума в целях изучения погрешностей поперечных наводок.

Литература

1. Латыев С. М. Компенсация погрешностей в оптических приборах. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1985. – 248 с.
2. Сокольский М.Н. Исследование влияния аберраций оптической системы на чувствительность поперечных и продольных наводок: Автореф. дис. канд. техн. наук. – Л.: ЛОМО, 1971.

Латыев Святослав Михайлович – Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, доктор технических наук, профессор, декан, latyev@grv.ifmo.ru

Смирнова Елена Викторовна – Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, аспирант, smirnova-elen@yandex.ru