Редакционно-издательский отдел

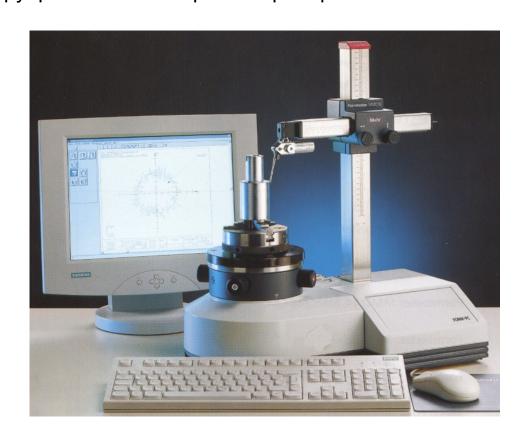
Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики 197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49



С. М. Латыев, Г. В. Егоров, С. С. Митрофанов, А. М. Бурбаев, А. А. Воронин, Ю. А. Соколов

КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ И СИСТЕМ

Учебное пособие к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Конструирование и юстировка приборов и систем оптотехники»



Санкт – Петербург 2012

С. М. Латыев, Г. В. Егоров, С. С. Митрофанов, А. М. Бурбаев, А. А. Воронин, Ю. А. Соколов

КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ И СИСТЕМ

Учебное пособие

к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Конструирование и юстировка приборов и систем оптотехники»

В авторской редакции

Дизайн Верстка

Зав. РИО

Лицензия ИД № 00408 от 05.11.99

Подписано к печати

Заказ №

Тираж 100

Отпечатано на ризографе

С.С. Митрофанов С.С. Митрофанов

Н.Ф. Гусарова



В 2009 году Университет стал победителем многоэтапного конкурса, в результате которого определены 12 ведущих университетов России, которым присвоена категория «Национальный исследовательский университет». Министерством образования и науки Российской Федерации была утверждена программа его развития на 2009–2018 годы. В 2011 году Университет получил наименование «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики»

КАФЕДРА КОМПЬЮТЕРИЗАЦИИ И ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОПТИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

Кафедра была основана в 1939 году. Она была призвана подготавливать инженеров по проектированию военных оптических приборов.

Возглавил кафедру известный специалист в области военных оптикомеханических приборов профессор К. Е. Солодилов. На кафедру из Государственного оптического института пришли работать профессора Резунов М. А. и Цуккерман С. Т. Под их руководством на кафедре проводилась также и научно-исследовательская работа В послевоенный период времени до 1970 года кафедру возглавлял проф. С. Т. Цуккерман. С 1971 по 1984 гг. заведовал кафедрой проф. Сухопаров С. А. (бывший главный инженер ЦКБ фирмы ЛОМО), в 1985 –90 гг. руководил кафедрой заслуженный деятель науки и техники проф. Зверев В. А.. С 1990 кафедрой заведует их ученик проф. Латыев С. М.

Основные научные направления работы кафедры связаны с разработкой теоретических основ конструирования оптических приборов, их точностного расчета и юстировки, автоматизацией функционирования приборов и их проектирования, а также с созданием автоматизированных измерительных фотоэлектрических приборов.

По результатам научных исследований аспирантами и сотрудниками кафедры были защищены десятки кандидатских и докторских диссертаций.

Студенты, обучающиеся на кафедре, имеют усиленную подготовку по использованию средств автоматизированного конструирования, контролю, юстировке и испытанию приборов, вопросам обеспечения точности их функционирования.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, МЕХАНИКИ И ОПТИКИ

С. М. Латыев, Г. В. Егоров, С. С. Митрофанов, А. М. Бурбаев, А. А. Воронин, Ю. А. Соколов

КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ И СИСТЕМ

Учебное пособие к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Конструирование и юстировка приборов и систем оптотехники»



Санкт-Петербург 2012 Латыев С. М., Егоров Г. В., Митрофанов С. С., Бурбаев А. М., Воронин А. А, Соколов Ю. А. Конструкторско-технологические методы и средства обеспечения показателей качества оптико-электронных приборов и систем: Учебное пособие к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Конструирование и юстировка приборов и систем оптотехники». – СПб: НИУ ИТМО, 2012. – 112 с.

Учебное пособие предназначено для магистрантов, обучающихся по направлению 200400 – Оптотехника.

Рекомендовано к печати Ученым советом ФОИСТ от <u>20.11.</u> 2012 г., протокол № <u>4.</u>

Рекомендовано УМО по образованию в области приборостроения и оптотехники в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки бакалавров и магистров 200400 — «Оптотехника» и дипломированных специалистов по специальности 200401 — «Электронные и оптико-электронные приборы и системы специального назначения»».

В 2009 году Университет стал победителем многоэтапного конкурса, в результате которого определены 12 ведущих университетов России, которым присвоена категория «Национальный исследовательский университет». Министерством образования и науки Российской Федерации была утверждена программа его развития на 2009–2018 годы. В 2011 году Университет получил наименование «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики»

© Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, 2012 ©С. М. Латыев, Г. В. Егоров, С. С. Митрофанов, А. М. Бурбаев, А. А. Воронин, Ю. А. Соколов, 2012

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

по подготовке, выполнению, оформлению и защите лабораторных работ

Лабораторный практикум по дисциплине «Конструирование и юстировка оптико-электронных приборов и систем», которые проходят все студенты факультета, позволяет студентам закрепить лекционный материал, углубить знания и развить имеющиеся навыки в исследовательской деятельности. В процессе выполнения лабораторных работ студенты рассматривают специфические особенности широко применяемых визуальных систем и измерительных оптико-электронных приборов, знакомятся с методикой исследования приборов, приемами измерений их параметров и характеристик.

Перед выполнением лабораторной работы каждый студент должен тщательно ознакомиться с методическими указаниями к ней, усвоить содержание работы, разобраться в схемах и конструкциях приборов. Степень готовности студентов к самостоятельной работе оценивается преподавателем в процессе предварительного собеседования.

Лабораторные установки практикума выполнены из точных оптических и оптико-электронных приборов, питаемых от сети и автономных источников энергии. Неподготовленный студент может вывести аппаратуру из строя, нарушить технику безопасности и подвергнуть себя и окружающих опасности, поэтому включать приборы в электрическую сеть следует только с разрешения преподавателя.

Отчет по лабораторной работе должен содержать указание на цель работы, краткое содержание методики выполнения работы, оптическую схему установки с описанием принципа ее действия, результаты измерений и вычисление по ним с оценкой точности выполненных измерений. В отчете обязательно приводятся экспериментальные и расчетные данные. Обработанные материалы измерений, необходимые расчеты сводятся в таблицы и отображаются графически.

Графический материал представляется в масштабе, не снижающем точность результатов измерения. Каждый график должен быть надписан, на его координатных осях указываются размерности отложенных величин.

При оформлении лабораторной работы необходимо проводить оценку полученных результатов с теоретическими данными, проанализировать причины расхождений.

При оформлении отчета по лабораторной работе необходимо руководствоваться ГОСТ 2-105-95.

Защита лабораторной работы происходит на последующем лабораторном занятии. Для успешной защиты необходимо проработать рекомендуемую литературу и подготовиться к ответам на контрольные вопросы, указанные в лабораторной работе.

Измерения, обработка результатов, оформление отчета и защита лабораторной работы выполняются каждым студентом самостоятельно.

ПЕРЕЧЕНЬ ИЗУЧАЕМЫХ ВОПРОСОВ

- 1. Изучить структурную и функциональную схемы узла конструкции измерительной цепи (ИЦ) прибора. Ознакомиться с конструкцией узла ИЦ прибора.
- 2. Открыть и изучить документ Mathcad "Расчет и компенсация теоретических погрешностей измерительных цепей приборов". Сравнить его с приложенной к работе распечаткой этого документа.
- 3. Изменяя величину регулировки длины первого рычага *ДR1r*, убедится, что от нее зависит величина остаточной теоретической погрешности цепи (п. 8). Ознакомиться с оптимальным видом остаточной теоретической погрешности цепи и зафиксировать его, выделив, скопировав и вставив в Word файл отчета.
- 4. Сравнить величину остаточной теоретической погрешности цепи, найденную автоматически при помощи метода наименьших квадратов (п. 9), с величиной остаточной теоретической погрешности цепи, полученной при помощи ручной регулировки.
- 5. Изменить длины плеч рычагов при сохранении их отношения. Зафиксировать как при этом изменилась суммарная теоретическая погрешность ИЦ (п. 8).
- 6. Изменяя величину $\Delta R1r$, провести компенсацию суммарной теоретической погрешности (п. 9).
- 7. Изменить параметр начального состояния синусного рычажного механизма (6-ой ПЭ) с нулевого значения на 0,5 (1, 2 или 5) градусов. Зафиксировать изменение теоретической погрешности цепи.
- 8. Провести компенсацию теоретической погрешности цепи регулировкой длины 1-ого рычага. Зафиксировать остаточную теоретическую погрешность цепи длины 1-ого рычага. Объяснить назначение ее элементов.
- 9. Составить структурную схему устройства регулировки длины 1-ого рычага и рассчитать его чувствительность.
- 10. Составить кинематическую схему основного и дополнительного винтовых механизмов узла.
 - Сделать эскиз конструкции устройства регулировки зазора в винтовой паре основного или дополнительного винтового механизма.
- 11. Сделать эскизы конструкций основного и дополнительного винтовых механизмов узла.
- 12. Сделать эскизы конструкций устройств силового замыкания контактных пар между рабочими элементами рычагов и толкателями. Сравнить схемы местного и общего силового замыкания.
- 13. Сделать эскиз конструкции неподвижного соединения подвижного линзового компонента ЛУОСЛ с ползуном и выполнить структурным анализом этого соединения.
- 14. Сделать эскиз конструкции соединения узла ЛУОС с корпусом прибора. Сделать эскиз конструкции соединения основного винта с валиком при помощи шарнирной муфты с шаровым шарниром и выполнить структурный анализ этого соединения (СКТП, 1964, стр. 445-448).

СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа 1. Аналитическое исследование конструкций индикаторов линейных перемещений	4
Лабораторная работа 2. Составление и анализ функциональных (кинематических) схем приводов оптико-электронных приборов	10
Лабораторная работа 3. Калибровка цифрового измерительного проектора	16
Лабораторная работа 4. Исследование точности работы шагового двигателя	22
Лабораторная работа 5. Центрировка кругового растра по осциллографу	28
Лабораторная работа 6. Изучение конструкции и практическая работа на сферометре	35
Лабораторная работа 7. Устройство и исследование точности функционирования индикатора на основе фотоприемника мультискан	43
Лабораторная работа 8. Моделирование и исследование работы позиционно- чувствительного датчика линейных перемещений на базе ПЗС-линейки	5
Лабораторная работа 9. Теоретическое и экспериментальное исследование подвижных цепей юстировочных устройств оптических приборов для угловых подвижек	6
Лабораторная работа 10. Юстировка и исследование компенсатора стабилизации линии визирования нивелира "NI 007"	76
Лабораторная работа 11. Исследование и макетирование измерительных цепей оптиметров	85
Лабораторная работа 12. Моделирование, исследование и линейная компенсация систематических погрешностей измерительных цепей конструкторским методом (на примере линзового устройства отклонения световых лучей дальномера).	.101
Методические указания по выполнению, оформлению и защите лабораторных работ	.111

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 1

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ ИНДИКАТОРОВ ЛИНЕЙНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью данной работы является изучение конструкций современных индикаторов и способов повышения их целевых показателей качества

ЗАДАНИЕ ПО РАБОТЕ

- 1. Ознакомиться с назначением и принципом работы индикаторов.
- 2. Изучить функциональные схемы механических и оптико-электронных индикаторов, приведенных в описании работы (рис. 1) и вывести законы их функционирования.
- 3. Для каждого из этих индикаторов следует выявить основные первичные погрешности и оценить их потенциальную точность работы.
- 4. Перечислите и охарактеризуйте возможные способы повышения точности их работы.
- 5. Составьте функциональную схему индикатора, изображенного на рис. 2.

общие положения

Индикаторы линейных перемещений предназначены для контроля и измерения положений, размеров и биений различных объектов.

Конструкция индикатора содержит измерительный шток (пиноль), контактирующий с контролируемым объектом, линейное перемещение которого в направляющих преобразуется механическими, оптико-механическими, оптико-электронными, емкостными или индуктивными элементами индикатора в отсчет, определяющий искомую характеристику объекта.

Промышленность производит разнообразные индикаторы, представляющие собой приборы или автономные измерительные (функциональные) устройства. Наибольшее распространение получили механические и оптико-электронные индикаторы (рис. 1).

Механические индикаторы часового и микронного типа исторически были изобретены первыми и основаны на зубчатых и рычажных механизмах (ГОСТ577-68, ГОСТ 5584-75).

На рис. 1а изображена функциональная схема индикатора часового типа.

Здесь, перемещение измерительного штока 1 преобразуется с помощью реечно-зубчатой и зубчатых передач в поворот стрелок 2 и 4 шкал (точной 3 и грубой 5) индикатора, по которым снимается отсчет искомого значения перемещения. В

ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

- Н3 номер задания
- ПЭ5 аббревиатура пятого преобразователя
- ПЭ6 аббревиатура шестого преобразователя
- Рег.п. регулируемый параметр
- Диап. рабочий диапазон, угл. сек
- Доп. допустимая погрешность, угл. сек
- АСРП арксинусный рычажный преобразователь
- АТРП арктангенсный рычажный преобразователь
- СПКП смещенный ползунно-кривошипный преобразователь
- СРП синусный рычажный преобразователь
- ТРП тангенсный рычажный преобразователь
- СКПП смещенный кривошипно-ползунный преобразователь
- НЗ ПЭ5 ПЭ6Рег.п. Диап. Доп.
- 1. АСРП. СРП. f. 600. 1.
- 2. АСРП. ТРП. f. 600. 1.
- 3. АСРП. СРП. R1. 1200. 2.
- 4. АСРП. ТРП. А1. 1200. 2.
- 5. АСРП. СРП. R2. 2400. 5.
- 6. АСРП. ТРП. R2. 2400. 5.
- 7. АСРП. СКПП. f. 600. 1.
- 8. АТРП. СРП. f. 600. 1.
- 9. АСРП. СКПП. R1. 1200. 2.
- 10. АТРП. СРП. R1. 1200. 2.
- 11. АСРП. СКПП. R2. 2400. 5.
- 12. АТРП. СРП. R2. 2400. 5.
- 13. АТРП. ТРП. f. 600. 1.
- 14. АТРП. СКПП. f. 600. 1.
- 15. АТРП. ТРП. А1. 1200. 2.
- 16. АТРП. СКПП. R1. 1200. 2.
- 17. АТРП. ТРП. А2. 2400. 5.
- 18. АТРП. СКПП. R2. 2400. 5.
- 19. СПКП. СРП. f. 600. 1.
- 20. СПКП. ТРП. f. 600. 1.
- 21. СПКП. СРП. R1. 1200. 2.
- 22. СПКП. ТРП. А1. 1200. 2.
- 23. СПКП. СРП. R2. 2400. 5.
- 24. СПКП. ТРП. R2. 2400. 5.
- 25. СПКП. СКПП. f. 600. 1.
- 26. СПКП. СКПП. R1. 1200. 2.
- 27. СПКП. СКПП. R2. 2400. 5.

Poep-ksp-icp-luosl

Пример функциональной схемы измерительной цепи ЛУОСЛ (схема 2-2) [4, стр. 53].

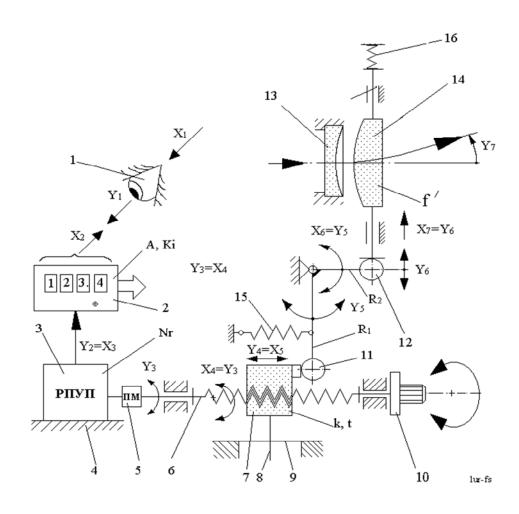


Рис. 2. Функциональная схема измерительной цепи ЛУОСЛ,

1 — оператор; 2 — цифровой индикатор (ЦИ), реверсивный счетчик (РС) и интерполятор (И); 3 — растровый преобразователь угловых перемещений; 4 — корпус устройства; 5 — поводковая муфта; 6 — микровинт; 7 — винтовая гайка; 8 — палец поводкового устройства; 9 — ограничительная планка поводкового устройства; 10 — рукоятка ручного привода; 11 — арксинусный рычаг *R1*; 12 — синусный рычаг *R2*; 13 и 14 — неподвижная и подвижная линзы линзового отклоняющего преобразовательного элемента; 15 и 16 — пружины для силового замыкания кинематических пар в рычажных и винтовом механизмах

классическом индикаторе часового типа конструктивные параметры звеньев и элементов, входящих в закон функционирования имеют следующие значения:

- число зубьев колес $z_1 = 16$ (модуль зацепления m = 0,199мм), $z_2 = 100, z_3 = 10, z_4 = 100$;
- число делений точной шкалы $n_m = 100$ (цена деления 0,01мм), грубой 10 (цена деления 1мм);
 - диапазон измерений 0-10 мм, 0-25 мм, 0-50 мм.

Так как этот индикатор имеет ряд технологических, теоретических и эксплуатационных погрешностей, то точность его функционирования не очень высока (суммарная погрешность измерений на всем диапазоне достигает 10-30 мкм).

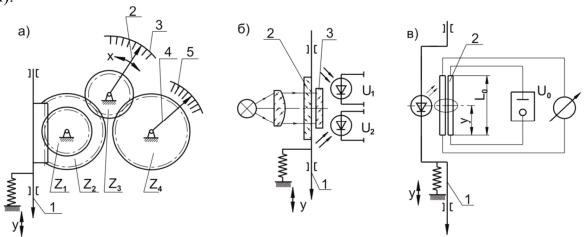


Рис. 1. Функциональные схемы индикаторов

Более высокую точность измерений (до 1-2 мкм) позволяют получить рычажнозубчатые микронные индикаторы (в которых перед реечной передачей установлен двуплечий рычаг с передаточным отношением 1:10, либо реечная передача заменена на рычажную), однако они имеют существенно меньший диапазон измерений (как правило, не более 2 мм).

На рис. 16 представлена схема современного оптико-электронного индикатора, основанного на растрах [1]. В нём перемещение измерительного штока 1 преобразуется с помощью измерительного 2 и индикаторного 3 оптических растров в аналоговые (квазисинусоидальные) электрические квадратурные сигналы с фотоприемников, преобразуемые затем в счетные электрические импульсы с ценой деления, определяемой периодом T деления растров и коэффициентом k деления интерполятора [2,3,4,5]. Отсчет, полученный с помощью аналого-цифрового преобразователя, выводится на жидкокристаллический дисплей индикатора, либо на дисплей компьютера.

Данные индикаторы позволяют автоматизировать процесс измерения, имеют большой диапазон работы (до 40 и более миллиметров), высокую чувствительность (дискретность отсчета до 0,1 мкм), обладают высокой точностью измерений на всем диапазоне (в зависимости от класса исполнения с предельной погрешностью до 1-5 мкм).

В настоящее время появились индикаторы, основанные на позиционночувствительных фотоприемниках (ПЗС-линейке, «Мультискане», «PSD» фирмы «Hamamatsy» [6, 7]).

На рис. 1в изображена функциональная схема индикатора в котором перемещение измерительного штока 1 преобразуется позиционно-чувствительным приемником 2 типа «Мультискан» в аналоговый электрический сигнал (электрическое напряжение, снимаемое с фотоприемника). Это напряжение U, при смещении световой зоны (создаваемой светодиодом) на величину y по чувствительной площадке фотоприемника, изменяется от нуля вольт до максимального значения, равного опорному напряжению U_0

$$U = (U_0/L_0) \cdot y,$$

где L_0 - длина чувствительной площадки приемника.

Достоинством этого индикатора является то, что он имеет более простую конструкцию, не требует тщательной юстировки и основан на унифицированных элементах (фотоприемник, светодиод, стандартный блок питания, АЦП, контроллер). Точность измерения определяется, главным образом, нелинейностью и нестабильностью позиционно-чувствительного приемника и примерно достигает точности индикатора, основанного на растрах.

В случаях, когда требуется более высокая чувствительность и точность измерений (наноизмерения), в индикаторе используют миниатюрный интерферометр, встроенный в его корпус.

На рис. 2 представлен внешний вид подобного индикатора для контроля концевых мер длины, основанный на лазерном интерферометре Майкельсона [8].



Рис. 2. Контроль концевых мер длины индикатором на основе интерферометра Майкельсона

Пример структурной схемы измерительной цепи ЛУОСЛ (схема 2-2) [4, стр. 52].

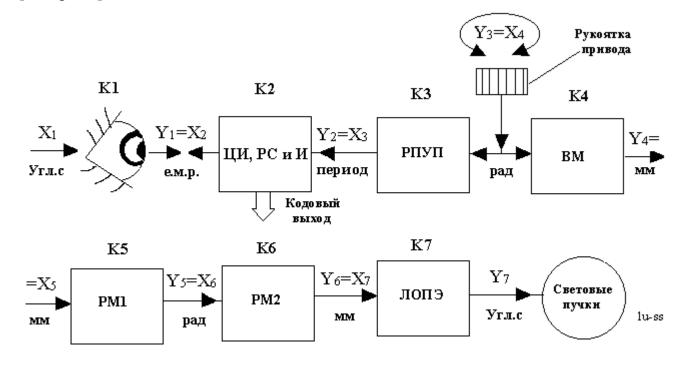


Рис. 1. Структурная схема измерительной цепи ЛУОСЛ,

ЦИ, РС и И – цифровой индикатор, реверсивный счетчик; РПУП – растровой преобразователь угловых перемещений; ВМ – винтовой механизм; РМ1 – арксинусный рычажный механизм; РМ2 – синусный рычажный механизм; ЛОПЭ – линзовый отклоняющий преобразовательный элемент; Х1 – планируемая величина отклонения лучей; Y1 – устанавливаемый отсчет на цифровом индикаторе; X2 установленный отсчет на цифровом индикаторе; Y2 – число периодов сигнала, поступающего РПУП; ХЗ - число периодов сигнала, выданного РПУП; ҮЗ – угловое перемещение вала РПУП; ХЗ – угловое перемещение микровинта 6; Ү4 – линейное перемещение винтовой гайки 7; Х5 - линейное перемещение винтовой гайки 7, выступающей в роли толкателя арксинусного рычажного механизма RM1; Y5 угловое перемещение рычага 11 арксинусного рычажного механизма RM1; X6 угловое перемещение рычага 12 синусного рычажного механизма RM2; Y6 линейное перемещение толкателя синусного рычажного механизма RM2; X7 линейное перемещение подвижной линзы 14 ЛОПЭ; Ү 7 – угловое отклонение световых лучей; К1, К2, ...,К7 – коэффициенты преобразования преобразовательных элементов измерительной цепи ЛУОСЛ

- 4. Латыев С. М., Егоров Г. В. Учебное пособие по выполнению курсовогопроекта дисциплины "Конструирование оптических приборов". Л.: ЛИТМО, 1991. 74 с., с. 45 64.
- 5. Парвулюсов Ю. Б. и др. Проектирование оптико-электронных приборов. М.: Машиностроение, 1990. 432 с., с. 289 295.
- 6. Латыев С. М., Егоров Г. В., Тимощук И. Н. Проектирование оптико-электронных приборов и систем. Методические указания по выполнению лабораторных работ. СПб.: СПб ГИТМО (ТУ), 2001. 88 с., с. 5 12, 46 48, 81 86.

качестве когерентного источника излучения используется стабилизированный гелий-неоновый лазер, находящийся В отдельном оптоэлектронном блоке, связанный с индикатором оптоволоконным жгутом. Измерительный интерференционный сигнал (также по волоконному кабелю) передается в оптоэлектронный блок для формирования результатов измерения (в некоторых вариантах исполнения индикатора фотоприемники интерференционного сигнала находятся в его корпусе).

Диапазон измерения 0-20 или 0-50 мм. Дискретность отсчета 1нм.

При работе индикатора предусмотрена компенсация погрешностей, возникающих из-за колебания температуры, давления и влажности воздуха.

Перемещение измерительного штока автоматизировано с помощью встроенного в корпус индикатора электропривода.

Типовая конструкция индикатора, основанного на растрах (см. рис. 1б) представлена на рис. 3 [1].

Здесь: 4 - несущий корпус индикатора; 3 - направляющая измерительного штока 1; 5 - измерительный растр (закрепленный на измерительном штоке); 6 - индикаторный растр; 7 - плата осветителей (светодиодов); 8 — плата с фотоприемниками; 14 - пружина, обеспечивающая силовое замыкание штока на объект измерения.

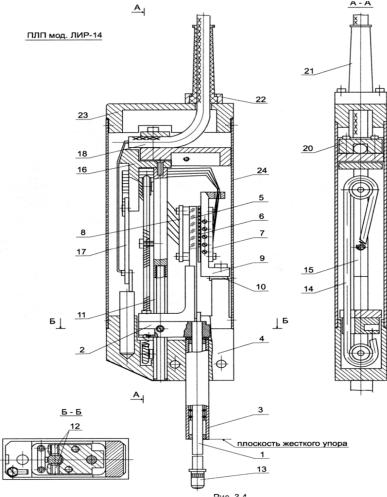


Рис. 3. Конструкция индикатора ЛИР 14

В вышеописанных индикаторах осуществляется контроль объекта только по одной координате при механическом контакте измерительного штока (пиноли) с объектом измерения. В случаях, когда требуется измерение большего числа (2 - 6) координат объекта, используются другие измерительные приборы (например, двух и трёх координатные измерительные машины, гексаподы (Hexapoden)), а для неконтактных измерений применяются микроскопы, автоколлиматоры, интерферометры, цифровые оптические проекторы и т.д. [8, 9].

ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТУ И ЗАЧЕТ

В отчете должны быть представлены:

- назначение и описание работы индикаторов, их функциональные схемы;
- перечислены основные погрешности каждого вида индикаторов;
- охарактеризованы возможные способы повышения их целевых показателей качества (точности, технологичности, надежности) и представлены эскизы измененных схем и элементов конструкций.

Для зачета в отчете должны быть представлены ответы на следующие вопросы по лабораторной работе:

- 1. Чем обусловлен ограниченный диапазон и точность работы рычажно-зубчатых индикаторов?
 - 2. Из-за каких причин возникает мертвый ход у механических индикаторов?
- 3. В оптико-электронном индикаторе, представленном на рис. 1б, измерительный и индикаторные растры установлены очень близко друг к другу (зазор между их рабочими поверхностями обычно равен 10 20 мкм), что вызывает определенные технологические и эксплуатационные проблемы. Перечислите эти проблемы и предложите решение, позволяющее располагать рабочие поверхности растров на расстоянии до нескольких мм друг от друга;
- 4. Зачем и как создается квадратурный (*sin-cos*) электрический сигнал, снимаемый с фотоприемников оптико-электронного индикатора (рис. 1б)?
- 5. Почему измерительный шток индикатора (рис. 1в) выполнен не прямым, а «ступенчатым»?
- 6. Выведите формулу погрешности измерения индикатором (рис 1в) от нестабильности опорного напряжения ΔU_0 и сделайте вывод о целесообразности его стабилизации;
- 7. Поясните как в классическом интерферометре Майкельсона [10], в интерференционной картине создаются кольца равного наклона или полосы равной толщины;
- 8. Как создать полосы равной толщины в интерферометре Майкельсона для измерения больших перемещений, основанном не на зеркалах, а на неподвижной и подвижной триппель-призмах?
- 9. Благодаря каким конструктивным решениям и зачем в индикаторе ЛИР 14 (рис. 3) измерительный шток 1 при измерениях не разворачивается вокруг

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

- 1. Приведите определение понятия нелинейного преобразовательного элемента измерительной цепи оптического прибора.
- 2. Что показывает структурная схема ИЦ? Приведите пример. Определите понятия: вход и выход ПЭ, входной и выходной сигналы ПЭ, информативные параметры входного и выходного сигналов ПЭ, функция преобразования ПЭ, линии связи ПЭ.
- 3. Что показывает функциональная схема ИЦ? Приведите пример. Какие параметры ИЦ называют схемными? Чем отличается функциональная ИЦ от ее структурной схемы?
- 4. Выведите теоретическую функцию преобразования для предложенного Вам НПЭ.
- 5. Почему график теоретической функции преобразования ИЦ с НПЭ, построенный в документе, изображается в виде прямой линии?
- 6. В чем заключается аналитический метод расчета теоретических погрешностей ИЦ ОП с НПЭ при помощи их точных функций преобразования.
- 7. Как влияет погрешность ввода числа "Pi" в расчет на точность функционирования ИЦ? Рассчитайте значение погрешности ИЦ от погрешности ввода числа "Pi".
- 8. Какое состояние теоретического (идеального) НПЭ принято принимать за начальное?
- 9. Как влияет рассогласование системы отсчета НПЭ с серединой диапазона функционирования ИЦ на ее теоретическую погрешность?
- 10. Как влияет на погрешности НПЭ расположение диапазона функционирования НПЭ относительно его начального состояния?
- 11. Рассчитайте погрешность ИЦ ЛУОСЛ при не равном 0 параметре согласования начала системы отсчета одного из НПЭ ИЦ ЛУОСЛ с серединой его диапазона функционирования.
- 12. Выведите выражение для частичной погрешности измерительной цепи ЛУОСЛ.

ЛИТЕРАТУРА

- 1. ГСИ. ГОСТ 16263-70. Метрология. Термины и определения. 54 с.
- 2. Кулагин В. В. Основы конструирования оптических приборов. Л. Машиностроение, 1982. -312 с. Стр. 96-112, 190-204, 289-307.
- 3. Латыев С. М. Конструирование точных (оптических) приборов. СПб. ИТМО, 1996. 99 с., с. 94 98.

- 10. Сравнить величину остаточной погрешности цепи, найденную автоматически при помощи метода наименьших квадратов (п. 9), с величиной остаточной погрешности цепи, полученной при помощи моделирования ручной регулировки длины первого рычага.
- 11. Изменить длины плеч рычагов при сохранении их отношения. Зафиксировать, как при этом изменилась суммарная теоретическая погрешность ИЦ (п. 8).
- 12. Изменяя величину ΔRIr , провести компенсацию суммарной теоретической погрешности (п. 9).
- 13. Сделать эскиз конструкции устройства для регулировки длины первого рычага.
- 14. Составить структурную и функциональную схемы устройства для регулировки длины первого рычага.
- 15. Рассчитать чувствительность устройства для регулировки длины первого рычага по результатам натурных замеров. Оценить пороговую погрешность регулировки длины первого рычага.
- 16. Сделать эскиз конструкции фиксатора результата регулировки в винтовой паре устройства для регулировки длины первого рычага.
- 17. Изменяя параметр начального состояния синусного рычажного механизма (5ый ПЭ) с нулевого значения до 4 мм через 1мм, изучить, как изменяется погрешность измерительной цепи.
- 18. Сохранить файл с рабочим документом.

Внимание!

Во избежание потери полученных результатов в аварийных ситуациях (выключение питания, выход из строя компьютера, случайное удаление файла) необходимо их периодически записывать в файл на диске (клавиша F6), а после завершения работы их желательно скопировать на личную дискету.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

- 1. Структурная схема ИЦ ЛУОСЛ. Обозначения информативных параметров входных и выходных сигналов, их размерности и диапазоны изменения.
- 2. Функциональная схема ИЦ ЛУОСЛ с обозначениями схемных и информативных параметров.
- 3. Вывод точной функции преобразования ИЦ ЛУОСЛ в соответствии с заданием.
- 4. Расчет, исследование и компенсация теоретических погрешностей ИЦ ОП при помощи общей точной функции преобразования ИЦ ОП системе Mathcad.
- 5. Краткие выводы по работе.
- 6. Файл с рабочим документом (К-КТР---.МСD) или его распечатка.

Внимание!

Три тире в имени файла должны быть заменены на инициалы исполнителя работы.

104

собственной оси, а измерительное усилие, создаваемое пружиной 14, изменяется незначительно?

ЛИТЕРАТУРА

- 1. Преобразователи линейных перемещений фирмы СКБ ИС. www.skbis.ru
- 2. Латыев С. М. Конструирование точных (оптических) приборов. СПб, Политехника, 2007.
- 3. Фотоэлектрические преобразователи информации. Под ред. Л. Н. Преснухина, М., Машиностроение 1976.
- 4. Маламед Е. Р. Фотоэлектрические преобразователи линейных перемещений на дифракционных решетках: Учебное пособие, Л, ИТМО, 1991.
- 5. Муханин Л. Г. Схемотехника измерительных устройств. СПБ, «Лань», 2009, 282с.
- 6. Латыев С. М., Дич Л. 3, Кириков С. О. Применение фотоприемника «мультискан» в приборах для измерения геометрических параметров. Оптический журнал, №8, 1995.
- 7. Воронин А. А., Митрофанов С. С. Исследование нелинейности позиционночувствительного приемника фирмы «Нататаtsu». Приборостроение, №4, 2007.
- 8. Laser Interferometric Gauging Probe. www.sios.de
- 9. Pieso Nano Positioning. www.pi.ws
- 10. Коломийцов Ю. В. Интерферометры. Л., Машиностроение, 1976.

Ç

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2

СОСТАВЛЕНИЕ И АНАЛИЗ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ (КИНЕМАТИЧЕСКИХ) СХЕМ ПРИВОДОВ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью данной работы является изучение конструкций точных приводов приборов и систем оптотехники, анализ погрешностей их работы и способов автоматизации функционирования.

ЗАДАНИЕ ПО РАБОТЕ

- 1. Ознакомьтесь с конструкцией и принципом работы макета точного привода.
- 2. Составьте кинематическую (функциональную) схему привода и выведите закон функционирования (функцию, связывающую движение ведущего и ведомого элементов (звеньев)).
- 3. Предложите способ автоматизации работы привода и внесите соответствующие изменения в кинематическую схему.
- 4. Перечислите основные первичные погрешности привода и оцените его потенциальную точность (чувствительность) работы.

общие положения

Приводами или передачами в приборостроении называют устройства, осуществляющие перемещение (позиционирование) рабочих элементов прибора, всего прибора или объекта с которым работает прибор для выполнения им основных целевых функций (обнаружения, измерения, управления).

Конкретные задачи приводов весьма разнообразны и зависят от их функционального назначения. Например, в оптико-электронных приборах [1] они служат для: модуляции светового потока, сканирования изображения или поля обзора, фокусировки на объект, слежения за подвижными объектами наблюдения, смены увеличения или освещения изображения, возможности включения резервных элементов прибора при отказе основных и т.д.

Привод, как правило, содержит направляющие (несущие) элементы, механизмы преобразования движения, датчик величины перемещения, движитель и систему управления.

В неавтоматизированных приводах (передачах) движение возникает от усилий рук оператора, преобразуется типовыми механизмами (зубчатыми, винтовыми, рычажными, кулачковыми), датчиками величин перемещений обычно являются круговые или линейные шкалы. Управление приводом осуществляется оператором.

значение теоретической погрешности ИЦ, оставшейся после компенсации линейной составляющей конкретного экземпляра устройства.

Нахождение оптимальной остаточной теоретической погрешности в данной работе осуществляется двумя методами. Методом ручного подбора величины регулируемого параметра, минимизирующего систематическую погрешность ИЦ и при помощи встроенных функций в Mathcad функций линейной аппроксимации (регрессии).

Встроенные в Mathcad функции *intercept* (*tointercep* t – отложить отрезок на линии) и *slope* (наклон) решают самую простую и распространенную задачу приближения прямой линии к экспериментальными ли расчетным данным методом наименьших квадратов (МНК) [5].

В результате выполнения функции *intercept* (X1, dY7l) рассчитывается величина смещения по оси ординат a, а функции slope (X1, dY7l) - величина наклона прямой линии b, которая наилучшим образом с точки зрения МНК приближается к расчетным (экспериментальным) данным, где Xl - входной информативный параметр ЛУОСЛ, а dY7l— теоретическая погрешность измерительной цепи ЛУОСЛ.

Такую оптимизационную задачу называют аппроксимацией данных прямой линией, или линейной регрессией, или линейным сглаживанием.

При помощи найденных значений коэффициентов a и b можно рассчитать ординаты прямой оптимально приближающейся к обрабатываемым данным по следующей формуле

$$dY7l'=(a+b)\cdot Xl$$
.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

- 1. Получить и изучить задание по работе.
- 2. Изучить методические материалы, приложенные к указанной работе.
- 3. Изучить структурную и функциональную схемы линзового устройства отклонения световых лучей (ЛУОСЛ).
- 4. Изучить конструкцию узла линзового устройства для отклонения световых лучей дальномера.
- 5. Открыть и изучить документ Mathcad «Моделирование, исследование и линейная компенсация систематических погрешностей измерительных цепей конструкторским методом. Линзовое устройство отклонения световых лучей дальномера» (лин-комп-погр-констр-метод-луосл.mcd).
- 6. Сохранить изученный файл, добавив в начало его имени номер группы и инициалы исполнителя (исполнителей).
- 7. Ввести в сохраненный документ заданные руководителем параметры устройства и величины погрешностей.
- 8. Провести моделирование регулировки длины первого рычага, изменяя его величину $\Delta R1r$, и убедится, что от неё зависит величина остаточной погрешности измерительной цепи (п. 8).
- 9. Регулируя длину первого рычага $\Delta R1r$, добиться минимального поля, занимаемого остаточной погрешностью цепи.

КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Теоретические погрешности в измерительных цепях ОП возникают в процессе их проектирования из-за линеаризации и допущений в функциях преобразований нелинейных преобразовательных элементов и допущений при определении схемных параметров этих цепей.

Теоретической функцией преобразования НПЭ называют аналитическую зависимость, полностью отражающую процесс преобразования входного информативного параметра сигнала в выходной в идеальном НПЭ.

Линеаризованной функцией преобразования НПЭ называют линейную зависимость между входным и выходным информативными параметрами приписываемую данному идеальному НПЭ.

Теоретической функцией преобразования ИЦ называют аналитическую зависимость, получаемую при последовательной подстановке теоретических функций преобразовательных элементов (ПЭ) ИЦ, начиная с выходного ПЭ.

В данной работе рассматриваются только ИЦ с последовательным соединением ПЭ.

Линеаризованной функцией преобразования ИЦ с НПЭ называют аналитическую зависимость, получаемую при последовательной подстановке линеаризованных и линейных функций преобразовательных элементов (ПЭ) ИЦ, начиная с выходного ПЭ.

Теоретическая погрешность ИЦ с НПЭ равна разности выходных информативных параметров теоретической и линеаризованной функций преобразования ИЦ НПЭ, рассчитанных для одного и того же входного информативного параметра.

В точных измерительных приборах требования к точности функционирования ИЦ таково, что ее невозможно обеспечить без введения в цепь компенсаторов. В первую очередь стараются решить точностной вопрос при помощи линейной компенсации за счет регулировки или юстировки схемных параметров, частичные погрешности от которых изменяются по линейному закону. Примером такого устройства является "Линзовое устройство для отклонения световых лучей" (ЛУОСЛ).

В рассматриваемых в данной работе устройствах для компенсации линейной систематической составляющей погрешности может, осуществляется регулировка длин рычагов R1 и R2, юстировка фокусного расстояния подвижной линзы f ' линзового отклоняющего преобразовательного элемента (ЛОПЭ).

При линейной компенсации погрешностей может осуществляться частичная компенсация и нелинейных составляющих, к которым в частности относятся теоретические погрешности ИЦ. Для обоснованного выделения части допуска на систематическую часть погрешностей партии устройств, изготовленных по одному проекту, необходимо в самом начале проектирования определить оптимальное

В автоматизированных приводах [2] движение осуществляется обычно от электродвигателей (пьезодвижителей, электромагнитов, реле) и передается механическими (гидравлическими, пневматическими) преобразователями движения. Датчиками же величины перемещений служат фотоэлектрические (емкостные, индуктивные) преобразователи движений. Управление приводом осуществляется благодаря обратной связи между движителем и датчиком движения (анализатором изображения, контроллером, коммутатором), либо по сигналам с программируемого блока управления. Так как привод предназначен для целей позиционирования рабочего элемента прибора (всего прибора или объекта), то информативным параметром на выходе привода (у) является положение (координата) рабочего элемента прибора, а информативным параметром входного сигнала (х) является положение (координата) ведущего звена (значение электрического напряжения, количество счетных импульсов задающего датчика движения и т.п.).

К приводам точных приборов предъявляется достаточно большой ряд требований [1-3]: обеспечение требуемого диапазона перемещения; возможность плавного регулирования скорости движения и изменение её направления; высокое быстродействие; линейная зависимость величины и скорости перемещения от управляющего сигнала на двигатель; точность, чувствительность, равномерность и плавность движения [4-7]; высокие КПД и надежность; малая чувствительность к воздействию окружающей среды; простота конструкции и управления; минимальные габариты и масса; низкий уровень воздействий (помех) на прибор или объект.

Из перечисленных требований рассмотрим требования к диапазону, точности и чувствительности осуществляемого приводом движения (позиционирования).

Под *диапазоном* понимается значение величины осуществляемого приводом перемещения рабочего элемента (всего прибора или объекта), которое обычно задается в ТЗ или определяется конструктором.

Под *точностью* привода понимают степень близости величины действительного (истинного) перемещения рабочего элемента прибора (всего прибора или объекта) к его заданному (расчетному) значению.

Под *чувствительностью* привода понимается то минимальное перемещение рабочего элемента, создаваемое приводом, которое соответствует минимальному значению входного сигнала (минимальному перемещению ведущего звена, пороговому электрическому напряжению, счетному импульсу датчика движения и т.д.). Фактически, чувствительность привода является его откликом на управляющий сигнал.

В последнее десятилетие в науке и технике наблюдается устойчивый переход от микро в нано — области технологии. Этого требуют тенденции современного развития биологии, медицины, вычислительной и информационной техники, материаловедения, астрономии и физики.

Нано объектами (величинами) принято считать такие, размеры которых заключены в диапазоне от нескольких нанометров до 100 нм.В приборостроении, основные направления нано технологий связаны с созданием устройств нано позиционирования и нано метрологии.

Нано позиционирование применяется в микроскопии, обработке изображений, литографии, «оптических» пинцетах, адаптивной оптике; при микро дозировании веществ, послойном исследовании биотканей, лазерной и электронной обработке объектов, прецизионной юстировке элементов приборов и т.д.

Исполнительные привода устройств позиционирования обеспечивают, как правило, грубое и точное позиционирование (гибридный привод).

Грубое позиционирование (для линейного движения - от нескольких единиц или десятков микрон до нескольких десятков миллиметров; для углового движения - от нескольких угловых минут до сотен градусов) осуществляется с помощью электрических двигателей постоянного и переменного тока (коллекторными, моментными, шаговыми, серво -синхронными и асинхронными), либо вручную.

Точное позиционирование (для линейного движения - от нескольких нанометров до нескольких десятков микрон; для углового движения - от нескольких десятых долей угловой секунды до нескольких угловых минут) осуществляется с помощью пьезодвижителей (пьезокерамики) [8]. Заметим, что пьезокерамические движители могут осуществлять движение с достаточно высокой скоростью (с управляемой частотой колебаний до десятка килогерц), что позволяет использовать их в адаптивной оптике для борьбы с влиянием турбулентности атмосферы.

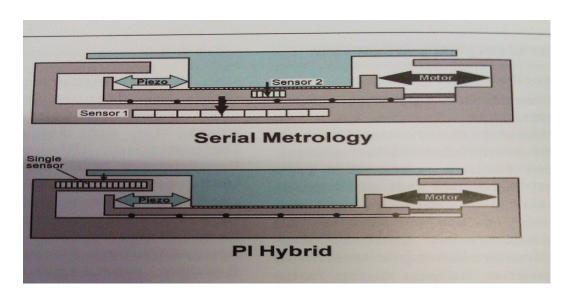


Рис. 1. Упрощенная схема гибридного привода

На рис. 1 представлена упрощенная схема гибридного привода [9], содержащего электромотор, пьезодвижитель и датчик перемещений (емкостной, индуктивный или оптический).

На рис. 2 представлена упрощенная конструкция стола, перемещаемого подобным приводом.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 12

МОДЕЛИРОВАНИЕ, ИССЛЕДОВАНИЕ И ЛИНЕЙНАЯ КОМПЕНСАЦИЯ СИСТЕМАТИЧЕСКИХ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ЦЕПЕЙ КОНСТРУКТОРСКИМ МЕТОДОМ (НА ПРИМЕРЕ ЛИНЗОВОГО УСТРОЙСТВА ОТКЛОНЕНИЯ СВЕТОВЫХ ЛУЧЕЙ ДАЛЬНОМЕРА)

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

- 1. Изучить процесс моделирования погрешности измерительной цепи линзового устройства отклонения световых лучей (ИЦ ЛУОСЛ) дальномера.
- 2. Приобрести умения и навыки в моделировании процесса линейной компенсация погрешностей ИЦ ЛУОСЛ помощи конструкторских методов.
- 3. Изучить аналитический метод расчета теоретических погрешностей измерительных цепей (ИЦ) оптических приборов (ОП) с нелинейными преобразовательными элементами (НПЭ) при помощи их точных функций преобразования.
 - 4. Изучить и освоить терминологию, применяемую для описания и расчета теоретических погрешностей ИЦ ОП с НПЭ [1].
 - 5. Приобрести умения и навыки:
 - по выводу функций преобразования НПЭ;
 - по выводу точных функций преобразования ИЦ ОП с НПЭ;
 - по расчету теоретических погрешностей ИЦ ОП с НПЭ теоретических погрешностей ИЦ ОП с НПЭ.
- 6. Приобрести умения и навыки в применении вычислительной системы Mathcad для выполнения оптимизации остаточных систематических погрешностей ИЦ ОП с НПЭ и оценки эффективности применения конструкторского метода линейной компенсации систематических погрешностей этих цепей.

ОБОРУДОВАНИЕ И МАТЕРИАЛЫ

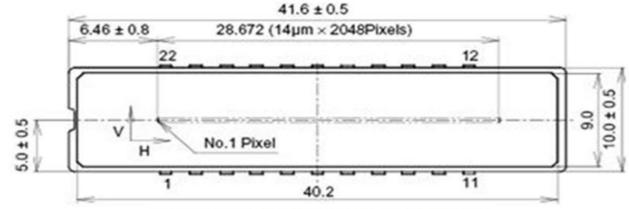
- 1. Узел линзового устройства отклонения световых лучей (ЛУОСЛ) дальномера.
- 2. Персональная ЭВМ.
- 3. Вычислительная система Mathcad 2000 и выше.
- 4. Документ Mathcad «Моделирование, исследование и линейная компенсация систематических погрешностей измерительных цепей конструкторским методом. Линзовое устройство отклонения световых лучей дальномера» (лин-комп-погр-констр-метод-луосл.mcd).
 - 5. Методическое указание по данной работе.
 - 6. Рекомендованная литература.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1



Основные электрофизические параметры				
Спектральный диапазон, мкм	0,2?1,1			
Чувствительность при I =0,63 мкм, A/Вт	0,25			
Темновой ток при U=10B, A	3× 10 ⁻¹⁰			
Рабочее напряжение делителя, В	до 10			
Время формирования отсчета при мощности светового потока 10 ⁻⁶ Вт, сек	10 ⁻⁵			
Координатная чувствительность, мкм	0,2			
Наработка на отказ,час	не менее 60000			
Геометрические параметры				
Общая длина кремниевой структуры, мкм	22000			
Общая ширина кремниевой структуры, мкм	2000			
Длина фоточувствительного слоя, мкм	19500			

ПРИЛОЖЕНИЕ 2



Геометрические размеры ПЗС линейки

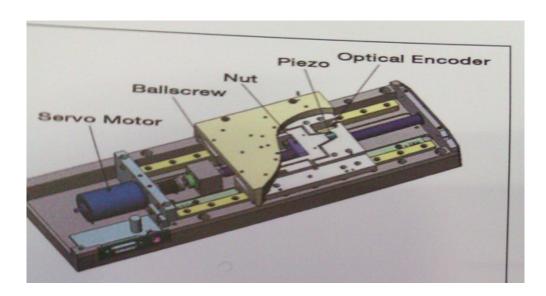


Рис. 2. Упрощенная конструкция стола

Ряд фирм производит разнообразные (в том числе и миниатюрные) устройства для нано и микро позиционирования.

На рис. 3 представлен стол, размером 44x44x43,2 мм, производимый фирмой «Физические Инструменты» (PhusikInstrumente, <u>www.pi.ws</u>) с возможностью его перемещения по 3-м координатам (X, Y, Z) в диапазоне до 120 мкм, отсчетом перемещения 0,2 нм и точностью (воспроизводимостью) 10 нм. Его несущая способность – 15 H.



Рис. 3. Стол фирмы «Физические Инструменты» (PhusikInstrumente)

На рис. 4. представлен винтовой пьезоэлектрический микрометр с диапазоном работы до 18 мм, чувствительностью винтового привода 1мкм и пьезопривода – 1 нм.



Рис. 4. Винтовой пьезоэлектрический микрометр

На рис. 5 изображен стол с 6-ю степенями свободы (Гексапод) со следующими техническими параметрами: - перемещение по осям X, Y-50 мм, по оси Z-25 мм с чувствительностью 500 нм, точностью -2 мкм; повороты вокруг осей X, Y-15 угл. градусов, вокруг Z-30 градусов, с чувствительностью 5 мкрад и точностью -20 мкрад. Диаметр основания гексапода -350 мм, высота -330 мм; нагрузка - до 5 кг.



Рис. 5. Стол гексапод

В лабораторной работе предлагается проанализировать макет конструкции точного привода тонкой фокусировки микроскопа или другого оптического прибора. Эскизы кинематической (функциональной) схемы предложенного варианта привода и её автоматизированный вариант должны быть выполнены с использованием:

ГОСТ 2.770-68 (СТ СЭВ 1187—78) - Условные обозначения в кинематических схемах; ГОСТ 2.730-73 - Обозначения условные графические в схемах. Приборы полупроводниковые; ГОСТ 2.722-68 - Машины электрические. А также других государственных стандартов в их современной редакции.

- 6. Подласкин Б. Г., Дич Л. З., Токранова Н. А. Экспериментальное исследование фотоприемника "мультискана" в режиме координатоуказателя.// Письма в ЖТФ. 1994. Т. 20. С. 30 35.
- 7. ГОСТ 2.412-81 (СТ СЭВ 139 74). Правила выполнения чертежей и схем оптических изделий. -15 с.
- 8. ГОСТ 5405-64. Оптиметры.
- 9. Бурбаев А. М. Методы и средства испытаний, контроля и юстировки оптических приборов. СПб: СПБГУ ИТМО, 2007. 112 с. Стр. 91-98.
- 10. Кручинина Н. И., Миленко И. И., Погарев Г. В. /Под общей ред. к.т.н., доц. Н. И. Кручининой. Методические указания к лабораторным работам по курсу «Сборка, юстировка и контроль оптико-электронных приборов». СПб: СПб ГУИТМО, 2003. 130 с.

99

- 3. Какие частичные погрешности оптиметра ИТМО изменяются по линейному закону?
- 4. Каким образом разделяются световые потоки, падающие на зеркало и отражённые от него в рассматриваемых оптиметрах всех трёх поколений?
- 5. Сравните по стоимости оптические схемы рассматриваемых оптиметров.
- 6. Какие конструкторские решения позволяют создавать механическую часть измерительных цепей оптиметров, обеспечивающую точность её функционирования до десятых долей микрона (см. рис.6)?
- 7. Какие технологии применяются для изготовления рычажных преобразовательных элементов оптиметров (см. рис.6)?
- 8. Какого типа объективы в автоколлиматорах оптиметров позволят уменьшить их габаритный размер?
- 9. Как можно компенсировать линейную составляющую погрешности оптиметра за счёт изменения цены е.м.р. оптиметра алгоритмическим путём?
- 10. Как можно компенсировать линейную составляющую погрешности оптиметра, возникающую за счёт механических, оптических, электронных и схемных погрешностей, путём регулировки опорного напряжения на мультискане или на ПЗС линейке?
- 11. Какой преобразовательный элемент обеспечит более высокую точность измерения оптиметра арктангенсный или арксинусный- и почему?
- 12. Какие технологические решения, разработанные для изготовления оптики, используются для изготовления механической части оптиметров?
- 13. Какие технологические решения, разработанные для изготовления оптики, используются для изготовления электроники цифровых оптиметров (см. приложения 1 и 2)?
- 14. Рассчитайте теоретическую погрешность от допущений в функциях преобразования нелинейных преобразователей для одного из трёх вариантов оптиметров.

ЛИТЕРАТУРА

- 1. Эрвайс А. В. Юстировка и ремонт оптико-механических измерительных приборов. М.: Машгиз, 1958. 459 с., с. 48 72.
- 2. РМГ 29-99. МЕТРОЛОГИЯ. Основные термины и определения, 2003. 60 с.
- 3. Кулагин В. В. Основы конструирования оптических приборов. Л.: Машиностроение, 1981. 312 с.
- 4. Латыев С. М. Конструирование точных (оптических) приборов. Методы повышения качества приборов при конструировании. СПб.: Политехника, 2007. 679 с.
- 5. Данилевич Ф. М., Никитин В. А., Смирнова Е. П. Сборка и юстировка оптических контрольно-измерительных приборов. Справочное пособие. Л.: Машиностроение, 1976. 256 с. 98

ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТУ И ЗАЧЕТ

В отчете должны быть представлены:

- назначение и описание работы точных приводов оптических приборов;
- эскиз функциональной (кинематической) схемы анализируемого привода, выведен закон его функционирования;
- перечислены основные параметры и погрешности, влияющие на точность и чувствительность привода;
- охарактеризованы возможные способы автоматизации работы привода и представлен эскиз измененной схемы привода;
- расчет чувствительности и оценка точности неавтоматизированного и автоматизированного анализируемого привода.

Для зачета в отчете должны быть представлены ответы на следующие вопросы по лабораторной работе:

- 1. Чем обусловлена ограниченная точность и чувствительность механических и электромеханических приводов?
 - 2. В чем достоинство гибридного привода?
 - 3. Какими достоинствами и недостатками обладает пьезопривод?

ЛИТЕРАТУРА

- 1. Проектирование оптико-электронных приборов. Под. Ред. Ю. Г. Якушенкова. М., «Логос», 2000.
- 2. Москаленко В. В. Электрический привод. Учебник для ВУЗов. М., Академия, 2007.
- 3. Кулагин В. В. Основы конструирования оптических приборов. Л., Машиностроение, 1982.
- 4. Латыев С. М. Конструирование точных (оптических) приборов. СПб, Политехника, 2007.
- 5. Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. ГОСТ Р ИСО 5725-1-2002.
- 6. Латыев С. М., Егоров Г. В., Тимощук И. Н. Проектирование оптикоэлектронных приборов и систем. Учебное пособие по выполнению курсового проекта. СПБ, ИТМО, 2001.
- 7. Латыев С. М. Компенсация погрешностей в оптических приборах. Л., Машиностроение, 1985, с. 220 224.
- 8. Бобцов А. А. и др. Исполнительные устройства и системы для микроперемещений. СПБ, НИУ ИТМО, 2011.
- 9. Pieso Nano Positioning. www.pi.ws

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3

КАЛИБРОВКА ЦИФРОВОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРОЕКТОРА

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью данной работы является ознакомление студентов с оптическими проекционными средствами измерений механических величин, их юстировкой и калибровкой

ЗАДАНИЕ ПО РАБОТЕ

- 1. Ознакомьтесь с принципом работы оптических измерительных проекторов.
- 2. Составьте функциональную схему цифрового проектора, выведите функцию, связывающую линейные размеры объекта контроля с конструктивными характеристиками проектора.
- 3. Перечислите основные первичные погрешности измерения на цифровом проекторе и оцените его потенциальную точность работы.
- 4. Осуществите калибровку проектора и проведите измерения размеров контролируемого объекта.

общие положения

Проекционные измерительные оптические проекторы предназначены для измерения линейных и угловых размеров различных объектов, имеющих как простые формы (цилиндр, сфера, прямоугольник) так и сложную форму (профили фасонных фрез, метчиков, винтов, зубчатых колес, кулачков, лекал, резцов и т.п.).

Отечественная промышленность выпускала ранее [1,2] достаточно большую гамму оптических измерительных проекторов:

- большой проектор (БО);
- проекторы массового контроля;
- часовой проектор;
- проекторы измерительные (ГОСТ 19795-82).

Суть их работы заключается в том, что они осуществляют оптическую проекцию объекта контроля в увеличенном масштабе (с линейным увеличением в диапазоне от 10 до 300 крат) на экран, где изображение сравнивается с эталоном или измеряется. Измерения производятся прямо на экране, либо благодаря микрометрическим отсчетным подвижкам стола, на котором находится объект.

На рис. 1 представлена функциональная схема проектора.

Здесь 1- источник света, установленный в фокальной плоскости конденсора 2; 3 - предметный стол; 4 - проекционный объектив, в задней фокальной плоскости которого установлена диафрагма 5, обеспечивающая телецентрический ход лучей [3] при

- $\Delta X3nr$ погрешность согласования начального состояния ОУП, рад,
- $\Delta X3ng=180/\pi \cdot \Delta X3nr$
- $\Delta X3ng$ погрешность согласования начального состояния ОУП, град,
- Δf погрешность фокусного расстояния ОУП, мм,
- Δsf погрешность фокусировки ОУП, мм,
- $\Delta y4L$ погрешность от линеаризации функции преобразования ОУП, мм,
- $\Delta y4d\%$ дисторсия ОУП, %,
- ΔU погрешность опорного напряжения МС, в,
- ΔL погрешность рабочей длины МС, мм,
- $\Delta 5L\%$ погрешность линейности МС, %,
- *∆Сти* погрешность центрировки вдоль мультискана, мм,
- *∆Стр* погрешность поперечной центрировки мультискана, мм,
- $\Delta y 6 k v$ погрешность от квантования информации АЦП, е.м.р.,
- $\Delta Cy6v$ погрешность вводимой цены единицы младшего разряда (е.м.р.) оптиметра, мкм.

Вопросы, изучаемые при выполнении раздела 4

- 1. Используя макет цифрового оптиметра ИТМО, составьте эскиз его оптической схемы.
- 2. Используя структурную схему измерительной цепи цифрового оптиметра ИТМО (рис. 14), сделайте функциональную схему его измерительной цепи.
- 3. Как влияет на работу оптиметра зазор между измерительным стержнем и его направляющей втулкой при синусной и тангенсной схемах рычажного механизма оптиметра (см. рис. 5)?
- 4. Рассчитайте теоретическую погрешность оптиметра, вызванную линеаризацией функций преобразования преобразователей измерительной цепи.
- 5. За счёт регулировки (юстировки) какого параметра можно существенно компенсировать целый ряд погрешностей цифрового оптиметра? Назовите эти погрешности.
- 6. Почему в измерительной цепи цифрового оптиметра ИТМО предполагается применять арксинусный рычажный преобразовательный элемент, а не арктангенсный преобразователь?
- 7. Выявите погрешности измерительной цепи для цифрового оптиметра ИТМО.
- 8. Предложите варианты схемных параметров для цифровых оптиметров с мультисканом и с ПЗС линейкой.

Общие вопросы для подготовки работы к защите

- 1. Сколько поколений оптиметров в истории их развития можно выделить и как их называют?
- 2. Найдите выражение для частичной погрешности оптиметра Δyn , Δfom погрешности фокусного расстояния ОУП Δf и постройте её график.

- 5. Изучите структурную схему измерительной цепи оптиметра проекционного типа.
- 6. Изучите преобразовательные элементы входящие измерительную цепь оптиметра проекционного типа.
- 7. Составьте функциональную измерительную цепь схема оптиметра проекционного типа.
- 8. Является ли проекционный объектив измерительным преобразователем измерительной цепи оптиметра проекционного типа.
- 9. Какие погрешности влияют на точность измерения оптиметра проекционного типа?
- 10. Для предложенной преподавателем первичной погрешности найдите аналитическое выражение частичной погрешности от неё и постройте график.

4. Цифровой оптиметр ИТМО

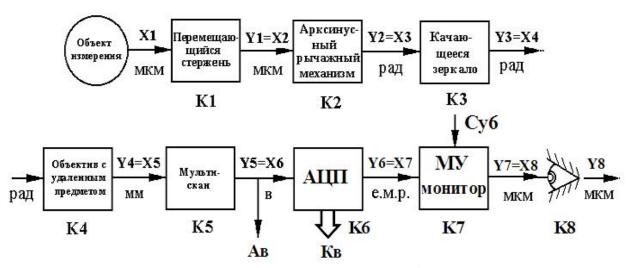


Рис. 14. Структурная схема измерительной цепи цифрового оптиметра ИТМО,

ЛШОУ — линейное шкальное отсчётное устройство; АЦП — аналоговоцифровой преобразователь; МУ — множительное устройство; Суб — цена единицы младшего разряда (е.м.р.); К1,К2, — коэффициенты преобразования преобразовательных элементов; Ав — аналоговый выход; Кв — кодовый выход; Х1, Y1,... - информативные параметры входных и выходных сигналов

Первичные погрешности макета цифрового оптиметра

 $\Delta K1'7$ - общая погрешность выбора схемных параметров измерительной цепи цифрового оптиметра, б.р.в.

 $\varDelta pis$ - погрешность перпендикулярности измерительного стержня измеряемому размеру, рад,

 $\Delta X2n$ - погрешность согласования начального состояния АСРП, мкм Δr - погрешность длины рычага АСРП, мм,

 $\Delta y2L$ - погрешность от линеаризации функции преобразования АСРП, рад, 96

построении на экране 6 изображения (y) объекта измерения (y), установленного на предметный стол и освещаемого параллельным пучком света. Проекционный объектив, как правило, сменный, имеющий различное рабочее поле и увеличение (например, увеличение 10, 20, 50, 100 крат и поле от 30 до 3 мм).

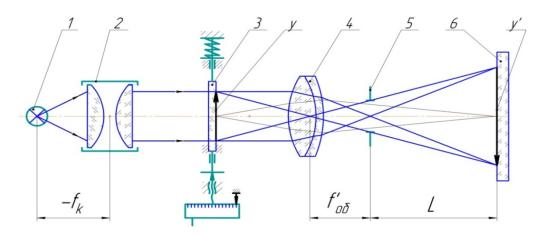


Рис. 1. Функциональная схема измерительного проектора

Увеличение объектива определяется по известной формуле

$$V = \frac{y}{y} = \frac{L}{f'_{06}}.$$

Так как погрешность увеличения объектива непосредственно влияет на точность измерения, то при сборке проектора осуществляют юстировку масштаба увеличения, которая при телецентрическом ходе лучей в пространстве предметов производится изменением расстояния между задней фокальной плоскостью проекционного объектива и экраном (осевой подвижкой экрана на величину δL), либо изменением фокусного расстояния объектива (при невозможности изменения расстояния между плоскостью предмета и экрана) [4, 5].

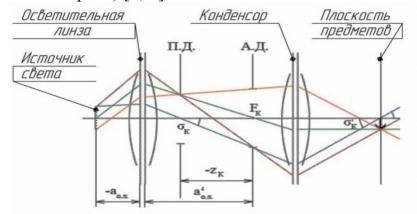


Рис. 2. Схема подсветки объекта измерения по Келлеру

Точность измерения оптико-механических проекторов обычно не превосходит 10 мкм. Как правило, в проекторах сменным является и конденсор, который стоит в осветительной системе, выполненной по схеме Келлера (см. рис. 2).

В современных проекторах (рис. 3), благодаря более точным измерениям на экране проектора, с выводом результатов на дисплей, а также благодаря более чувствительным и точным цифровым отсчетным системам перемещения предметного стола погрешность измерения может быть существенно уменьшена.



Рис. 3. Измерительный проектор

Существуют и другие виды цифровых измерительных проекторов (рис. 4) с видеокамерами, в которых изображение объекта проектируется не на экран, а на матрицу ПЗС видеокамеры и затем передаётся через USB порт на монитор компьютера.

Зная характеристики матрицы и конструктивные характеристики проекционного объектива можно с удовлетворительной точностью производить неконтактные измерения объектов, имеющих относительно небольшие линейные размеры. Ограниченность измерительного диапазона обусловлена значением величины рабочего поля зрения проекционного объектива и отсутствием отсчетных перемещений предметного стола проектора.

Для повышения точности измерений на таком проекторе, перед их проведением проектор калибруют по эталонному тест-объекту с использованием специально разработанных программ для калибровки и измерения объектов разной конфигурации.

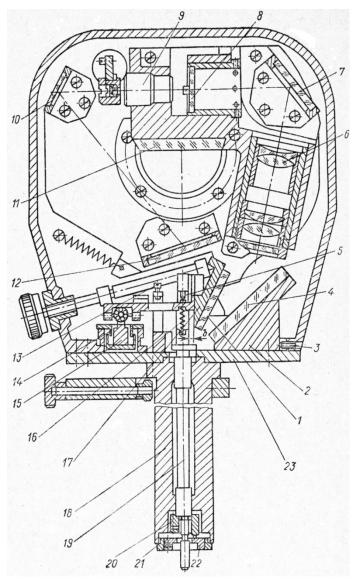


Рис. 13. Конструкция головки проекционного оптиметра ИКВ-3, 1 — качающееся зеркало; 4 — неподвижное зеркало; 6 - автоколлимационный объектив; 7 - компоновочное зеркало; 8 — шкала оптиметра; 9 — проекционный объектив; 19 — измерительный стержень

Вопросы, изучаемые при выполнении раздела 3

- 1. Изучив оптико-кинематическую схему оптиметра проекционного типа ИКВ-3 (рис. 12) и его конструкцию (рис. 13), составьте структурную схему измерительной цепи оптиметра проекционного типа.
- 2. Выберите или экспериментально определите схемные параметры для этой цепи и рассчитайте коэффициенты преобразования.
- 3. Какие оптические элементы оптиметра используются для компоновки конструкции оптиметра (рис. 13)?
- 4. Сделайте эскиз «оптической схемы» для оптиметра проекционного типа без компоновочных элементов и с упрощенным изображением её линзовых элементов.

18

95

3. Оптиметр проекционного типа ИКВ-3

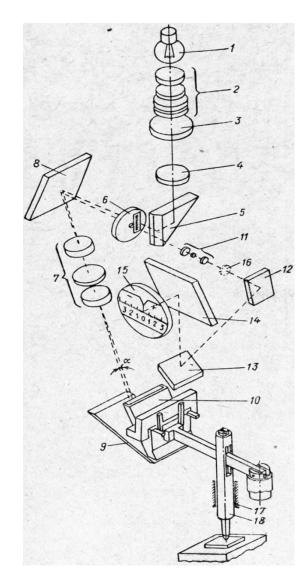


Рис. 12. Оптико-кинематическая схема оптиметра проекционного типа ИКВ-3,

1 — лампа накаливания; 2 — конденсор; 3 — теплофильтр; 4 — линза; 5 — призма; 6 — шкала на плоскопараллельной пластинке; 7 — объектив; 8 — плоское зеркало; 9 — неподвижное зеркало; 10 — качающееся зеркало; 11 — объектив; 12, 13 и 14 система зеркал; 15 — экран; 16 — дополнительная линза; 17 — направляющая; 18 — измерительный стержень.

Из оптико-кинематической схемы оптиметра проекционного типа (рис. 12) видно, что структура его измерительной цепи состоит из следующих преобразовательных элементов:

- перемещающийся измерительный стержень;
- рычажный преобразователь;
- качающееся зеркало в паре с неподвижным (оптический умножитель);
- объектив, работающий с удалённым предметом;
- линейное шкальное отсчётное устройство.

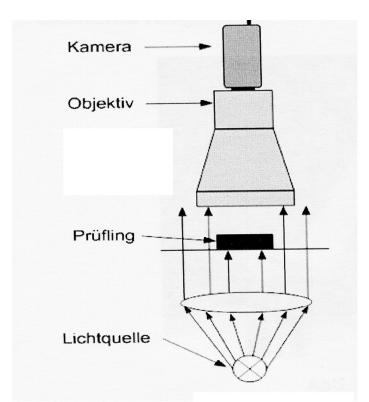


Рис. 4. Функциональная схема цифрового проектора

Существуют также специализированные измерительные микроскопы (рис. 5) с цветными видеокамерами, цифровыми предметными столами, пакетами прикладных программ для управления работой микроскопа и обработкой результатов измерений.

Диапазон измерений в них достигает сотен миллиметров, а точность измерений – единиц микрон (с чувствительностью до десятых и сотых долей микрона).



Рис. 5. Современный измерительный микроскоп

В данной лабораторной работе используется цифровой измерительный проектор, схема которого представлена на рис. 4. В нем используется проекционный вариообъектив (Objektiv), видеокамера с ПЗС-матрицей (Kamera), источник света (Lichtquelle) и исследуемый объект (Prufling). Так как на суммарную погрешность измерений линейных размеров контролируемых объектов, как было сказано выше, влияет достаточно большое количество первичных погрешностей, то для повышения точности измерений часть из них компенсируют [5, 6, 7]. Для этого, перед проведением измерений проектор калибруют по эталонному тест-объекту.

В качестве тест-объекта в данной лабораторной работе используется концевая мера длины. Контролируемым объектом измерений является оправа с линзой и корпус фотообъектива «Минитар», сопрягаемые диаметры которых следует измерить.

Порядок работы с компьютерной программой для калибровки и измерения линейных параметров контролируемых объектов изложена в «Инструкции...», имеющейся в составе лабораторной установки.

ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТУ И ЗАЧЕТ

В отчете должны быть представлены:

- назначение и описание работы оптических измерительных проекционных приборов;
- функциональная схема анализируемого цифрового проектора, аналитическая функция, связывающая линейные размеры объекта контроля с конструктивными характеристиками проектора;
- перечислены основные первичные погрешности, влияющие на точность измерений линейных размеров объектов контроля на цифровом проекторе;
- методика калибровки проектора и результаты проведенных измерений объектов;
- оценка точности проведенных измерений и перечислены способы повышения потенциальной точности цифрового проектора.

Для зачета в отчете должны быть представлены ответы на следующие вопросы по лабораторной работе:

- 1. При телецентрическом ходе лучей в пространстве предметов измерительного проекционного проектора юстировка необходимого масштаба создаваемого изображения контролируемого объекта производится изменением расстояния между задней фокальной плоскостью проекционного объектива и экраном (осевой подвижкой экрана на величину δL), либо изменением фокусного расстояния проекционного объектива Δf . Приведите формулы, связывающие изменение размера δy изображения, при такой юстировке, с δL и Δf .
- 2. С какой чувствительностью необходимо предусмотреть фокусировку проекционного объектива на контролируемый объект в цифровом измерительном проекторе данной лабораторной работы?

- 4. Используя функциональные схемы измерительных преобразователей измерительной цепи оптиметра окулярного типа составьте функциональную схему его измерительной цепи.
- 5. Рассчитайте коэффициенты преобразования преобразователей, образующих измерительную цепь оптиметров отечественных производителей.
- 6. Сделайте структурный анализ конструкции арктангенсного механизма измерительной цепи оптиметра (см. рис. 7).
- 7. Является ли окуляр измерительным преобразователем измерительной цепи оптиметра?
- 8. Какие погрешности влияют на точность измерения оптиметра?
- 9. Найдите для предложенной преподавателем первичной погрешности аналитическое выражение частичной погрешности и постройте её график.
- 10. Почему произведение всех коэффициентов преобразования преобразователей измерительной цепи оптиметра должно быть равно 1?
- 11. Каким образом в измерительной цепи оптиметра окулярного типа компенсируются линейные погрешности?
- 12. Как снимаются показания оптиметра до десятых долей микрона? Какое преобразование осуществляется при перемещении измерительного стержня если коэффициент преобразования этого преобразователя *K1*=1?
- 13. Зачем в ходе лучей оптиметра окулярного типа полезно ставить зелёный светофильтр?
- 14. С какой точностью обрабатывают поверхность рычага 5 (см. рис. 4б) и как её контролируют?
- 15. Зачем в оптиметрах окулярного типа предусмотрена регулировка «длины рычага»?
- 16. К какой погрешности измерения размера приведёт погрешность регулировки «длины рычага» в 0.01 мм?
- 17. Как обрабатываются и контролируются шарики для рычажного механизма оптиметра?
- 18. Рассчитайте погрешность от линеаризации функций преобразования арксинусного и арктангенсного механизмов для оптиметра?
- 19. Классифицируйте частичные погрешности оптиметра по характеру их изменения в пределах измерения оптиметра. Приведите примеры погрешностей.

Коэффициент преобразования оператора равен K6=Cd, мкм/дел.

На рис. 11 приведена полная структурная схема оптиметра окулярного типа.

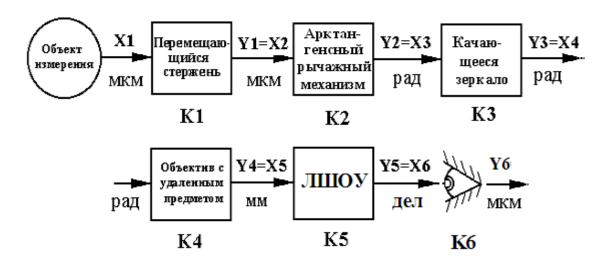


Рис. 11. Структурная схема оптиметра окулярного типа

Схемные параметры измерительной цепи оптиметра окулярного типа:

KI=1, мкм/мкм (б.р.в.) – коэффициент преобразования преобразователя перемещающийся измерительный стержень;

A — расстояние между траекторией движения центра сферы толкателя и осью вращения рычага, мм;

n — число отражений от качающегося зеркала;

f – заднее фокусное расстояние ОУП, мм;

Dd - длина деления шкалы ЛШОУ, мм/дел

Cd – цена деления ЛШОУ, мкм/делен.

Значения параметров оптиметра (по литературным данным):

A=5n=1, f=200, Dd=0.8, Cd=0.001.

Формулы для расчёта коэффициентов преобразования преобразователей:

 $K2=2 \cdot n$, K3=1/A, K4=f, K5=1/Dd, K6=Cd.

Проверка правильности выбора схемных параметров и коэффициентов преобразования измерительной цепи оптиметра окулярного типа: $K1\cdot K2\cdot K3\cdot K4\cdot K5\cdot K6=1$.

Вопросы, изучаемые при выполнении раздела 2

- 1. Изучив конструкцию оптиметра окулярного типа по рис. 4б, сделайте эскиз оптической схемы оптиметра окулярного типа.
- 2. Изучите преобразовательные элементы входящие измерительную цепь оптиметра окулярного типа.
- 3. Изучите структурную схему измерительной цепи оптиметра окулярного типа (рис. 11). 92

- 3. На что и как влияет система освещения объекта контроля в измерительном проекторе?
- 4. Известно, что дисторсия и астигматизм проекционного объектива измерительного проектора могут существенно влиять на точность измерений. Предложите способ компенсации влияния этих аберраций объектива в цифровом измерительном проекторе.

ЛИТЕРАТУРА

- 1. Ильин Р. С. и др. Лабораторные оптические приборы. М., Машиностроение, 1966.
- 2. Апенко М. И. и др. Оптические приборы в машиностроении. Справочник. М., Машиностроение, 1974.
- 3. Чуриловский В. Н. Теория оптических приборов.М-Л, Машиностроение, 1966, с.143-145.
- 4. Погарев Г. В. Юстировка оптических приборов. Л., Машиностроение, 1982, с.77-87.
- 5. Латыев С. М. Конструирование точных (оптических) приборов. СПб, Политехника, 2007.
- 6. Латыев С. М. Компенсация погрешностей в оптических приборах. Л., Машиностроение, 1985.
- 7. Polte G., Rennert K.-J., Linss G. Korrektur von Abbildungsfehlern fuer optische Messverfahren. Interner Workshop "Flexible Montage", TU Ilmenau, 09-10.03.2010.
- 8. Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. ГОСТ Р ИСО 5725-1-2002.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 4

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ РАБОТЫ ШАГОВОГО ДВИГАТЕЛЯ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью данной работы является исследование точности работы шагового двигателя и изучение конструкции фотоэлектрического преобразователя угловых перемещений

ЗАДАНИЕ ПО РАБОТЕ

- Ознакомьтесь с конструкцией стенда для исследования точности углов поворота вала шагового двигателя.
- Ознакомьтесь с конструкцией и принципом работы растрового (кодового) преобразователя угловых перемещений типа ЛИР 158А.
- Произведите измерение погрешности работы шагового двигателя.
- Перечислите основные погрешности стенда и оцените потенциальную точность проведенных измерений.

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Шаговые двигатели широко используются в приводах оптических приборов. С их помощью осуществляют перемещение (позиционирование) рабочих элементов прибора, всего прибора или объекта (обнаружения, измерения, управления) с которым работает прибор. Конкретные задачи приводов весьма разнообразны и зависят от их функционального назначения. Например, в оптико-электронных и оптических приборах [1, 2] они служат для: модуляции светового потока, сканирования изображения или поля обзора, фокусировки на объект, слежения за подвижными объектами наблюдения, смены увеличения или освещения изображения, возможности включения резервных элементов прибора при отказе основных и т.д.

Шаговый двигатель (ШД), особенно гибридный (см. рис. 1), может обеспечить достаточно малые дискретные углы поворота (или линейные перемещения) ротора, например с шагом $1,8^{\circ}$ (или $0,9^{\circ}$) с относительно высокой точностью шага, примерно, 5% от значения шага, которая определяется, главным образом, качеством механической обработки и сборки ротора и статора двигателя. Поэтому ШД часто используют в отсчетных (измерительных) приводах или приводах, работающих с высокой чувствительностью и стабильностью (воспроизводимостью, повторяемостью) перемещения рабочих элементов прибора (всего прибора или объекта) [3, 4]. Использование ШД, как правило, бывает экономически оправдано, т.к. он не нуждается в обратной связи (от датчиков углового или линейного перемещения).

Функция преобразования К3 имеет вид Y = 2nX, рад., а коэффициент преобразования K3 = 2n.

2.4. Структурная и функциональная схемы объектива, работающего с удалённым предметом (ОУП) приведены на рис 9а и б, соответственно.

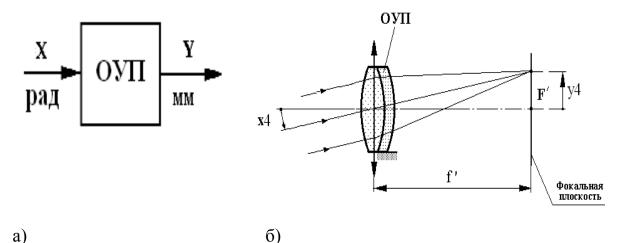


Рис. 9. Структурная и функциональные схемы объектива, X – угол поворота светового пучка, отраженного от **КЗ** и падающего на входной зрачок **ОУП**, рад; Y –линейное перемещение изображения удаленного предмета (щели, находящейся в фокальной плоскости коллиматора) в задней фокальной плоскости **ОУП**, мм; f – заднее фокусное расстояние **ОУП**, мм;

Теоретическая функция преобразования ОУП имеет вид Y = f'tgX, а коэффициент преобразования ОУП равен K4 = f'.

2.5. Структурная схема линейного шкального отсчётного устройства (ЛШОУ) приведена на рис.10.

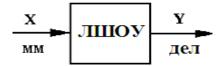


Рис.10. Структурная схема линейного шкального отсчётного устройства, X — расстояние между нулевой отметкой шкалы и указателем, мм; Y — показание ЛШОУ, дел; Dd — длина деления шкалы ЛШОУ, мм/дел.

Функция преобразования ЛШОУ имеет вид $Y = \frac{1}{Dd} X$, дел., а коэффициент преобразования равен $K5 = \frac{1}{Dd}$, дел/мм.

2.6. Функция преобразования оператора имеет $Y = \frac{1}{cd}X$, мкм. Здесь X – отсчёт, снятый с ЛШОУ, делен; Y – показание ЛШОУ, мкм; Cd – цена деления ЛШОУ, мм/делен.

преобразования «один к одному» влияют на результат работы оптиметра. Происходит преобразование физической природы сигналов на входе и выходе при сохранении их количественной оценки.

2.2. Структурная и функциональные схемы арктангесного рычажного преобразователя (АТРП) приведены на рис. 7а, б, соответственно.

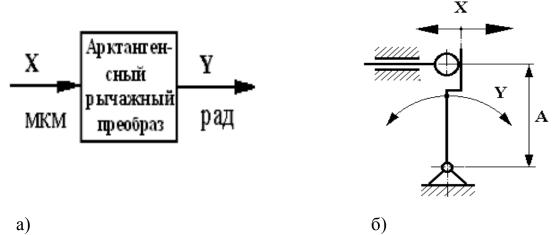
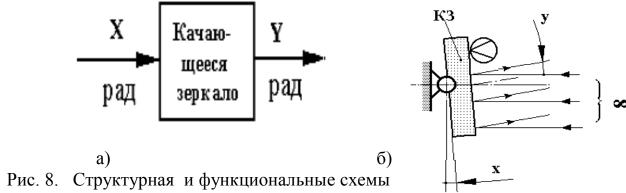


Рис. 7. Структурная схема арктангесного рычажного преобразователя,

A – расстояние между траекторией движения центра сферы толкателя и осью вращения рычага, мм; X – линейное перемещение толкателя, мм; Y – угловое перемещение рычага, рад.

Теоретическая функция преобразования АТРП имеет вид $Y = \operatorname{atan}(\frac{y}{A})$, а Линеаризованная функция $YL = \frac{1}{A}X$. При этом коэффициент преобразования АТРП равен $K2 = \frac{1}{4}$, рад/мм.

2.3. Структурная и функциональные схемы качающееся зеркала с одним отражением (КЗ) приведены на рис. 8а, б, соответственно.



качающееся зеркала,

 X_{I} – угол поворота зеркала, рад; Y_{I} – угол поворота светового пучка, отраженного от зеркала, рад; n – число отражений от качающегося зеркала; K_l – коэффициент преобразования К3, угл. мин/угл. мин. 90

В связи с этим, выбирая ШД при проектировании прибора необходимо знать такие его характеристики как точность и стабильность осуществляемого движения.

Точность шагового двигателя характеризуется погрешностью $\Delta \varphi$ угла поворота его вала (ротора) - разностью между действительным φ и номинальным φ_o (задаваемым управляющими импульсами) значениями поворота вала:

$$\Delta \varphi = \varphi - \varphi_o$$
.

Так как погрешность угла поворота вала зависит от погрешности шага ШД, которая различна для разных угловых положений ротора, то её изменение следует контролировать в пределах полного оборота вала ШД.

Конструкция гибридного ШД



a)

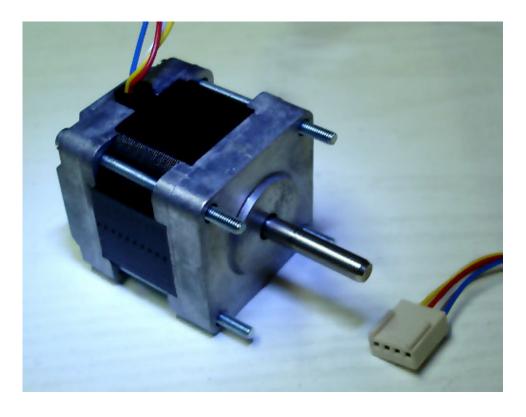


Рис. 1а, б. Конструкция (а) и внешний вид (б) гибридного шагового двигателя

Погрешность стабильности (повторяемости, сходимости) ШД характеризуется разностью углов поворота (или положений) его вала при повторных циклах функционирования ШД по одному и тому же управляющему сигналу

$$\Delta \varphi_{k,s} = \varphi_k - \varphi_s$$

где k и s - циклы повторного функционирования.

Погрешность стабильности обусловлена случайными погрешностями, поэтому для определения её характеристик необходимо произвести многократные (не менее 20) повторных измерений ШД.

Контроль вышеперечисленных характеристик точности ШД осуществляется на стенде, функциональная схема которого изображена на рис. 2.

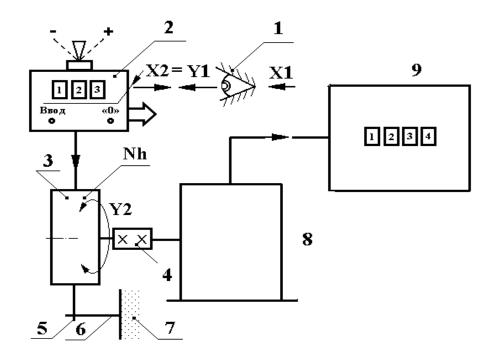


Рис. 2. Функциональная схема стенда для контроля точности шагового двигателя,

1 — оператор; 2 — электронный блок управления шаговым двигателем, 3 — шаговый двигатель (SM-20); 4 — глухая (либо точная компенсационная) муфта; 5 — поводок; 6 — ограничительная планка; 7 - основание; 8 — эталонный преобразователь угловых перемещений (ЛИР-158); 9 — персональный компьютер

Методика измерений точности ШД основана на сравнении, задаваемого блоком управления, углов поворота вала шагового двигателя с действительными углами поворота вала, которые измеряются с помощью точного (эталонного) преобразователя угловых перемещений (например, ЛИР-158, производимого фирмой СКБ ИС). Шаговый двигатель и эталонный преобразователь соединены глухой муфтой (с использованием поводка и ограничительной планки), либо прецизионной компенсационной муфтой [5, 6].

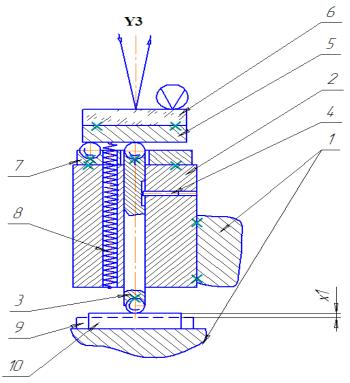


Рис. 5. Эскиз конструкции начала измерительной цепи оптиметра окулярного типа, 1 — корпус; 2 — направляющая измерительного стержня; 3 — измерительный стержень; 4 — ограничитель перемещений измерительного стержня; 5 — арктангенсный рычаг; 6 — качающееся зеркало; 7 — ось качания рычага 5 (два шарика); 8 — пружина силового замыкания контактных пар между шариками (3 шт.) и рычагом 5; 9 — эталон (концевая мера); 10 — измеряемая деталь (относительный метод измерения); X1 — относительно эталона измеряемый размер; Y3 — поворот светового пучка; × - неподвижное соединение

Структурные и функциональные схемы измерительных преобразователей измерительной цепи оптиметра окулярного типа

2.1. Структурная схема перемещающегося измерительного стержня приведена на рис. 6.



Рис. 6. Структурная схема трубки оптиметра

Функция преобразования ПС равна Y=X, а коэффициент преобразования ПС K1=1.

При помощи этого преобразователя линейный размер измеряемых деталей преобразуется в равное ему по величине линейное перемещение. Погрешности этого

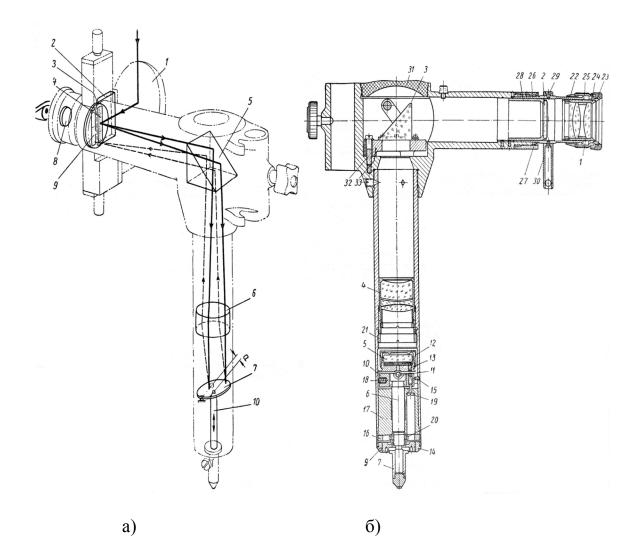


Рис. 4 а, б. Оптическая «схема» трубки оптиметра окулярного типа (а), конструкция трубки оптиметра окулярного типа (б),

для рис. 4 а: 1 — осветительное зеркало; 2 — стеклянная светопроводящая пластина; 3 — отражающая призма; 4 — шкала оптиметра; 5 — компоновочная призма AP-90; 6 — автоколлимационный объектив; 7 — качающееся зеркало; 8 — окуляр автоколлимационной зрительной трубки; 9 — автоколлимационное изображение шкалы оптиметра 4; 10 — измерительный стержень оптиметра; a — расстояние между осью качания зеркала и шариком, неподвижно закреплённым в измерительном стержне 10; f — фокусное расстояние автоколлимационного объектива 6;

для рис. 4 б: 1 – окуляр; 2 – шкала окуляра; 3 – призма AP-90; 4 – объектив; 5 – качающееся зеркало; 6 – измерительный стержень: 7 – наконечник; 10 – юстируемая пластина с двумя запрессованными шариками 11, образующими ось качания зеркала 5

Эскиз же конструкции начала измерительной цепи оптиметра окулярного типа приведен на рис. 5.

На рис. 3. представлена функциональная схема эталонного преобразователя, основанного на оптических круговых растрах [6].

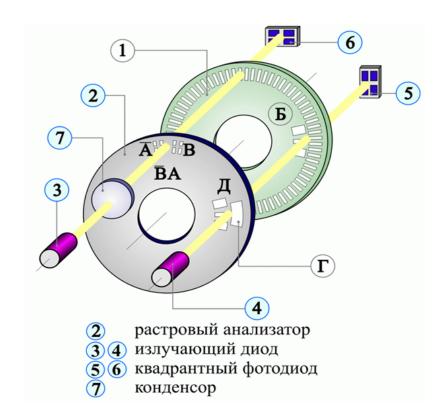


Рис. 3. Функциональная схема растрового преобразователя, 1- измерительный (вращающийся) растр; 2 - индикаторный (неподвижный) растр; 3, 4 - светодиоды; 5, 6 - фотоприемники (кремниевые фотодиоды); 7- конденсор.

При вращении измерительного растра 1, закрепленного на валу 10 преобразователя (см. рис. 4), происходит модуляция светового потока, проходящего от светодиодов 3,4 сквозь индикаторный 2 и измерительный растры на фотоприемники 6 измерительного канала и фотоприемники 5 канала референтных меток. Группы штрихов A, A и B, B на индикаторном растре, имеющие такой же период как и штрихи измерительного растра, изготовлены друг относительно друга со сдвигом в $^{1}\!\!/_{4}$, $^{3}\!\!/_{4}$ периода, поэтому фотоприемники 6 (попарно включенные встречно) вырабатывают квадратурный синусно-косинусный аналоговый сигнал [3]. Этот сигнал преобразуется стандартной электронной схемой [7, 8] в счетные электрические импульсы, вырабатываемые через 1/4 периода измерительного растра (без учета коэффициента интерполяции), поступающие на входы реверсивного счетчика импульсов.

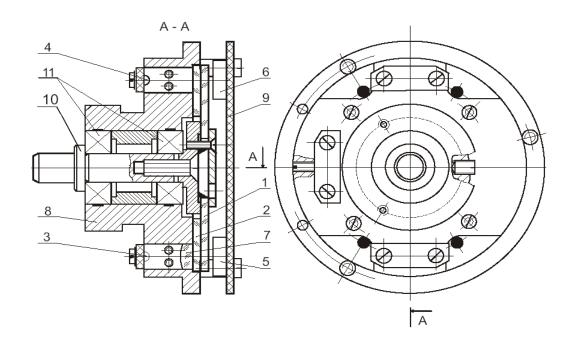


Рис. 4. Конструкция преобразователя ЛИР-158 фирмы СКБ ИС

ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТУ И ЗАЧЕТ

В отчете должны быть представлены:

- описание устройства ШД и примеры его применения в оптических приборах;
- перечислены характеристики ШД, представлена функциональная схема стенда для контроля точностных характеристик ШД;
- функциональная схема и упрощенная конструкция растрового преобразователя угловых перемещений;
 - графики и числовые значения измеренных погрешностей ШД;
- перечислены основные погрешности контрольного стенда и оценена его точность.

Для зачета в отчете должны быть представлены ответы на следующие вопросы по лабораторной работе:

- 1. Каков должен быть «метрологический запас точности» измерительного стенда по сравнению с точностью контролируемого ШД и почему?
- 2. От каких факторов зависит точность передачи движения от ШД к эталонному преобразователю в случаях, когда их соединяет компенсационная или глухая муфты?
- 3. Почему в измерительном канале эталонного преобразователя используются четыре фотоприемника, попарно включенные встречно?
- 4. Как влияет эксцентриситет измерительного растра эталонного преобразователя на его точность и как можно уменьшить или компенсировать это влияние?

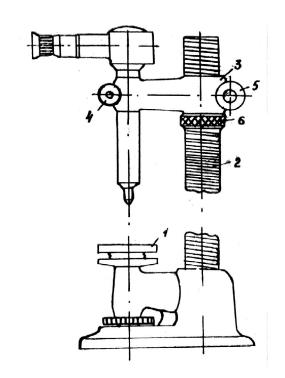


Рис. 3. Вертикальный оптиметр окулярного типа

Основные характеристики вертикального оптиметра

Наибольший предел измерений, мм 180 Пределы измерений по шкале окуляра, мм \pm 0,1 Цена деления шкалы окуляра, мм 0,001 Измерительное усилие, H не более 2 У оптиметров фирмы Цейс: a=5 мм, f=200 мм.

На рис. 4 и рис. 5 приведены оптическая часть трубки и конструкция оптиметра.

Оптиметры с такими трубками стали называть оптиметра проекционного типа (рис. 1б).

На современном этапе создания оптиметров трубки имеют цифровой выход, и отсчёт индицируется на цифровом табло или экране монитора — такие приборы можно называть **оптиметрами цифрового типа** (рис. 1г).

Прибор, в котором использовалось качающееся зеркало с автоколлимационной зрительной трубкой, впервые был изготовлен в 1925 году (фирма Цейс, Германия).

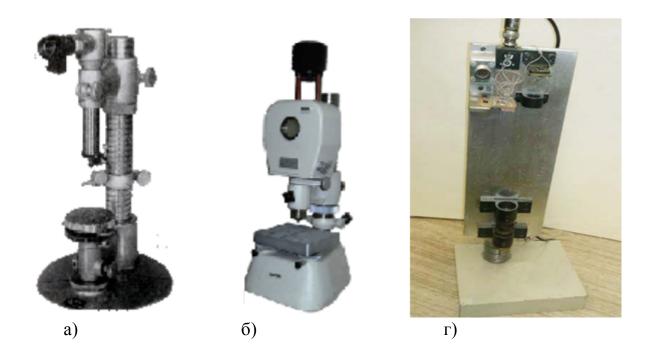


Рис. 1. Вертикальный оптиметр окулярного типа (а), проекционного типа (б) и макет цифрового оптиметра ИТМО

ОПТИМЕТР ОКУЛЯРНОГО ТИПА ФИРМЫ ЦЕЙСС

Вертикальный оптиметр состоит из автоколлимационной трубки, закреплённой в кронштейне 3 (рис. 3) с помощью зажимного винта 4, и кронштейна 3 с автоколлимационной трубкой, закреплённой на колонке прибора 2 — винтом 5 и регулировочной гайкой 6.

На основании колонки прибора 2 помещается ребристый столик 1, который можно его плавно поднимать или опускать вращением кольцевой гайки.

ЛИТЕРАТУРА

- 1. Проектирование оптико-электронных приборов. Под. Ред. Ю. Г. Якушенкова. М., «Логос», 2000.
- 2. Кулагин В. В. Основы конструирования оптических приборов. Л., Машиностроение, 1982
- 3. Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. ГОСТ Р ИСО 5725-1-2002.
- 4. Латыев С. М. Конструирование точных (оптических) приборов. СПб, Политехника, 2007.
- 5. Латыев С. М. Компенсация погрешностей в оптических приборах. Л., Машиностроение, 1985, с.220-224.
- 6. www.skbis.ru (Преобразователи угловых перемещений и муфты ЛИР производства СКБ ИС)
- 7. Муханин Л. Г. Схемотехника измерительных устройств. СПБ., Изд. «Лань», 2009.
- 8. Преснухин Л. Н. и др. Фотоэлектрические преобразователи информации. М., Машиностроение, 1974.
- 9. Москаленко В. В. Электрический привод. Учебник для ВУЗов. М., Академия, 2007.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 5

ЦЕНТРИРОВКА КРУГОВОГО РАСТРА ПО ОСЦИЛЛОГРАФУ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью данной работы является изучение методов повышения точности растровых преобразователей угловых перемещений и способов центрировки круговых измерительных растров.

ЗАДАНИЕ ПО РАБОТЕ

- 1. Ознакомьтесь с устройством и конструкцией растровых преобразователей угловых перемещений и составляющими погрешностей их работы.
- 2. Изучите методы компенсации влияния погрешностей деления штрихов и эксцентриситетов измерительных растров.
- 3. Выявите остаточный эксцентриситет растра в лабораторной установке и составьте методику его центрировки.
- 4. Оцените потенциальную точность (чувствительность) способа центрировки растра по осциллографу.

общие положения

В оптических приборах, станках и машинах в качестве преобразователей угловых и линейных перемещений их подвижных элементов используются фотоэлектрические измерительные преобразователи, основанные на растрах, кодовых шкалах, дифракционных решетках и позиционно-чувствительных приемниках, которые играют роль рабочей меры (эталона) перемещения. С теоретическими основами построения ряда фотоэлектрических преобразователей можно познакомиться в работах [1-5].

Преобразователи угловых перемещений на растрах и кодовых дисках (накапливающего типа, абсолютные и комбинированные) нашли наиболее широкое применение в приборостроении и машиностроении и производятся как унифицированные функциональные устройства (модули) [6].

Наиболее высокой точностью работы обладают преобразователи, основанные на измерительном и индикаторном растрах, находящихся в оптическом сопряжении друг с другом, один из которых (обычно измерительный) установлен на измерительном валу преобразователя.

На рис. 1 представлена схема растрового преобразователя с одним измерительным каналом [6].

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 11

ИССЛЕДОВАНИЕ, РАЗРАБОТКА И МАКЕТИРОВАНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ЦЕПЕЙ ОПТИМЕТРОВ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение изменений структуры измерительных цепей приборов для линейных измерений и исследование путей их развития с 1925 года и по настоящий день. Приобретение умений и навыков в составлении и описании их оптических, структурных и функциональных схем при разработке новых приборов такого типа.

ЗАДАНИЕ ПО РАБОТЕ

Работа состоит из следующих разделов:

- 1. Общие положения.
- 2. Оптиметр окулярного типа.
- 3. Оптиметр проекционного типа ИКВ-3.
- 4. Цифровой оптиметр ИТМО.
- 5. Общие вопросы для подготовки работы к защите.

общие положения

Оптиметр (от греч. optos - видимый и метр) - прибор для особо точных линейных измерений. Эти измерения выполняются контактным относительным методом. Измеряемый линейный размер преобразуется в линейное перемещение измерительного стержня, которое при помощи рычажного механизма преобразуется в угловое перемещение рычага, с которым неподвижно соединено плоское зеркало. Измерение угла поворота этого зеркала осуществляется автоколлимационным устройством оптиметра. Все эти устройства, образующие измерительную цепь оптиметра, конструктивно расположены в одном едином корпусе называемом трубкой оптиметра. Трубка оптиметра неподвижно закрепляется в корпусе оптиметра. С корпусом оптиметра так же соединен столик, на котором закрепляется измеряемая деталей. В зависимости от ориентации трубки в пространстве различают вертикальные и горизонтальные оптиметры, которые различаются между собой только конструкцией корпуса.

Первые оптиметры имели трубки, на выходе которых стояли окуляры. Наблюдатель смотрел в окуляр и отсчитывал значения размера по его шкале. Оптиметры с такими трубками стали называть **оптиметра окулярного типа** (рис. 1а). Оптиметры следующего поколения имели трубки, на выходе которых находились проекционные экраны, на которых визуализировалось шкалы, по которым снимался отсчёт.

- 2. Какой физический принцип положен в основу работы большинства компенсаторов нивелиров с самоустанавливающейся линией визирования?
- 3. Каким дополнительным устройством должен быть снабжён нивелир с компенсатором, чтобы в короткое время погасить колебания маятника? Что собой оно представляет и на каком физическом принципе работает?
- 4. Что произойдёт в работе нивелира с компенсатором, если прибор наклонить в боковом направлении, т.е. в плоскости, перпендикулярной оси визирования?
- 5. Что произойдёт в работе нивелира, если призму типа БР-180° компенсатора заменить призмой ВР-180°?
- 6. С помощью формулы (1) найдите численное выражение для коэффициента компенсации k, если в качестве компенсатора используется зеркальный ромб, у которого расстояние между зеркалами составляет величину b, а угол падения осевого луча на зеркало составляет в исходном положении 45° ?
- 7. Подсчитайте, с какой точностью следует регулировать длину маятниковой подвески призмы БР-180°, чтобы погрешность визирования не превысила 1"?
- 8. Какие типы шарниров маятниковых подвесок оптических элементов применяются в компенсаторах нивелиров?
 - 9. Что понимают под гистерезисом нитей компенсатора?
- 10. Как называется устройство, с помощью которого можно достаточно точно (например, с точностью 30") задать угол наклона нивелира в процессе исследования точности самоустановки линии визирования?
- 11. Как проконтролировать, что визирная линия нивелира строго горизонтальна?
- 12. Предложите способ (способы) приведения визирной линии нивелира в горизонт.

ЛИТЕРАТУРА

- 1. Кочетов Ф. Г. Нивелиры с самоустанавливающейся линией визирования. М.: «Недра», 1969.
- 2. Елисеев С. В. Геодезические инструменты и приборы. Основы расчёта, конструкции и особенности изготовления. Изд. 3-е, перераб. и доп. М.: «Недра», 1973, 392 с.
- 3. Черемисин М. С., Ардасенов В. Д., Кольцов В. П. Нивелиры с компенсаторами (Устройство, исследование, применение). М.: «Недра», 1978, 142 с.
- 4. Плотников В. С. Геодезические приборы: Учебник для вузов. М.: Недра, 1987. 396 с.
- 5. Геодезическое инструментоведение. Д-р-инж. Деймлих Ф. Перевод с 4-го перераб. и доп. немецкого издания. М.: Недра, 1970, 584 с.

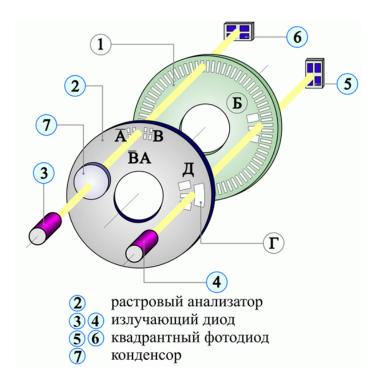


Рис. 1. Функциональная схема растрового преобразователя накапливающего типа, 1- измерительный (вращающийся) растр; 2 - индикаторный (неподвижный) растр; 3, 4 - светодиоды; 5, 6 - фотоприемники (кремниевые фотодиоды); 7- конденсор.

При вращении измерительного растра 1, закрепленного на измерительном валу 10 преобразователя (см. рис. 2), происходит модуляция светового потока, проходящего от светодиодов 3, 4 сквозь индикаторный 2 и измерительный растры на фотоприемники 6 измерительного канала и фотоприемники 5 канала референтных меток. Группы штрихов A, A и B, B на индикаторном растре, имеющие такой же период как и штрихи измерительного растра, изготовлены друг относительно друга со сдвигом в $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$ периода, поэтому фотоприемники 6 (попарно включенные встречно) вырабатывают квадратурный синусно-косинусный аналоговый сигнал (см. [1], с. 122, 323).

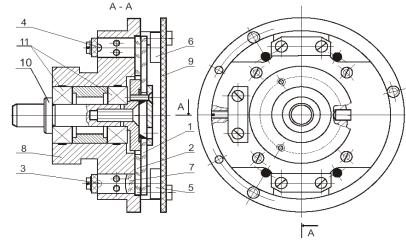


Рис. 2. Конструкция преобразователя ЛИР-158 фирмы СКБ ИС

Этот сигнал преобразуется стандартной электронной схемой [4, 5] в счетные электрические импульсы, вырабатываемые через 1/4 периода измерительного растра (без учета коэффициента интерполяции), поступающие на входы реверсивного счетчика импульсов. Так как известна угловая цена счетного импульса, то сосчитанное (накопленное) число импульсов определяет искомый угол поворота вала преобразователя, который соединен компенсационной муфтой с объектом измерения.

Штрихи измерительного растра являются мерой угла, поэтому погрешность их деления (расположения), эксцентриситет относительно оси вращения, разноширинность штрихов и разность светопропускания приводят к погрешности работы преобразователя.

Основными из перечисленных первичных погрешностей являются установочный (геометрический) эксцентриситет и погрешность деления.

Погрешность измерения углов преобразователем из-за эксцентриситета определяется следующим выражением [7]

$$\Delta \varphi_{\Delta e} = [\sin \theta_{H} - \sin (\varphi + \theta_{H})] \Delta e/R$$
,

где $\theta_{\scriptscriptstyle H}$ - начальное направление вектора эксцентриситета; φ - угол поворота растра от начального до текущего положения; R - рабочий радиус растра.

График этой погрешности зависит от начальной фазы вектора эксцентриситета и имеет период 2π . В случаях, когда $\theta_{\scriptscriptstyle H} = 0$ или 180° график погрешности представляет собой синусоиду. В остальных случаях графики погрешности заключены между функциями $(cos\varphi\text{-}1)$ и $(1\text{-}cos\varphi)$. Это обстоятельство следует учитывать при выявлении гармонической составляющей погрешности от эксцентриситета растра по экспериментальному графику суммарной погрешности преобразователя и её коррекции.

Погрешность деления штрихов растра прямо влияет на точность работы преобразователя, поэтому растры стараются изготавливать как можно точнее (с погрешностью до нескольких угловых секунд), используя прецизионное оборудование, стабилизируя температуру, осуществляя защиту от вибраций и т.д. Исследования погрешности деления штрихов растров и лимбов показали, что она представляет собой переменную нерегулярную величину, содержащую периодическую систематическую и случайную составляющие [7].

Периодическая составляющая может быть представлена рядом Фурье, имеющим четные и нечетные члены разложения:

$$\Delta \varphi_{\sum} = \sum_{n=0}^{k} a_{2n+1} \sin(2n+1)\varphi + \sum_{n=0}^{l} a_{n} \sin 2n\varphi$$

где α - амплитуда гармоники; k — число нечетных и l - четных членов разложения, соответственно.

Случайная составляющая подчиняется закону Гаусса, причем 30

изображение штрихов и окружностей сетки коллиматора. Фокусировку производить продольным перемещением окулярного микрометра при отпущенном стопорящем винте с накаткой. Кроме того, следует убедиться в параллельности одного из штрихов сетки коллиматора биссектору сетки окуляр-микрометра. Исправление лучше производить разворотом последнего, но можно и разворотом трубки коллиматора при отпущенном (с помощью отвёртки) винте.

- 4. Совмещением биссектора окуляр-микрометра с ближайшим горизонтальным штрихом сетки коллиматора снять начальный отсчёт $a_{\rm H}$.
- 5. Наклонить основание макета нивелира в продольном направлении с помощью переднего установочного винта 8 на 24' (угловые минуты), для чего винт повернуть на два оборота (по часовой или против часовой стрелки).
- 6. Совмещением биссектора с тем же штрихом снять следующий отсчёт a_1 по барабанчику окуляр-микрометра.
- 7. Изменить длину рычага компенсатора путём его увеличения на одно деление основной шкалы, установив по ней отсчёт «6».
 - 8. Совмещением биссектора с прежним штрихом снять отсчёт a_2 .

Внимание! Наблюдаемую расфокусировку устранять не разрешается, а при необходимости перемещением окуляра получить более или менее приемлемую картину, позволяющую ввести штрих в биссектор.

- 9. Изменить длину рычага компенсатора путём её уменьшения на одно деление по сравнению с исходной длиной, установив по ней отсчёт «4».
- 10. Снять отсчёт a_3 по барабанчику окуляр-микрометра, руководствуясь теми же правилами.
- 11. Вычислить величину корректирующего изменения отсчёта по основной шкале по формуле (11). Для предложенных величин изменения длины рычага второй сомножитель в числителе будет равен 2.

$$\Delta S_{\rm K} = \frac{(a_1 - a_{\rm H})(\Delta S_1 - \Delta S_2)}{a_2 - a_3}$$
.

- 12. По формуле (4) рассчитывают S_0 . Если $\Delta S_{\rm K} > 0$, то $S_{\rm H}$ необходимо уменьшить.
 - 13. Установить по шкале длины рычага вычисленное значение S_0 .

ВОПРОСЫ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К ЗАЩИТЕ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

1. Что понимается под визирной линией нивелира, и какими способами можно компенсировать наклон корпуса нивелира в процессе измерения?

вдоль оптической оси. Восстановить фокусировку можно как смещением окулярного микрометра со втулкой при отпущенном стопорном винте в кронштейне, так и перемещением объектива. Первая регулировка нежелательна, так как может нарушиться параллельность биссектора окуляр-микрометра по отношению к штриху сетки коллиматора, да и усилие зажима стопорного винта будет влиять на положение окуляр-микрометра. Вторая регулировка может производиться лишь квалифицированным специалистом, поскольку сопряжение объектива с оправой осуществляется не по резьбе, а по плотной скользящей посадке при большом диаметре. Поэтому при возникновении расфокусировки следует обращаться к преподавателю, ведущему занятие.

- в) для исключения грубых погрешностей и повышения точности измерений следует руководствоваться следующими правилами:
- для исключения самопроизвольного «сползания» подвижной части рычага изза зазора в резьбе, под действием собственной тяжести, что можно наблюдать по шкале, установку определённого отсчёта по шкале следует производить исключительно на завинчивании приводного винта, при котором зазор выбирается.
- снимать отсчёты по окуляр-микрометру следует лишь в моменты точного совмещения штриха коллиматора с биссектором окуляр-микрометра и лишь в момент успокоения маятника;
- штрихи сетки коллиматора должны быть строго параллельны штрихам биссектора;
- отсчёт по барабанчику окуляр-микрометра производить с точностью до 0,1 деления;
- изменение длины рычага следует **оценивать в делениях шкалы**, и только лишь при определённых исследованиях можно учитывать цену деления.
- г) для проведения исследований по указанию преподавателя здесь приводится значение фокусного расстояния объектива нивелира, измеренное с погрешностью $\pm 1\%$ составляет $f'_{00} \approx 290$ мм.

ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

Предлагаемый порядок выполнения работы основывается на некоторых конструктивных особенностях макета нивелира.

- 1. Установить основание макета нивелира в горизонтальное положение (в продольном направлении), пользуясь передним установочным винтом 8 и контролируя по уровню.
- 2. Установить **отсчёт «5»** по основной шкале, добившись совмещения с этим штрихом нулевого штриха нониуса.
- 3. Убедиться в том, что при настройке окуляра по своему глазу (по резкости штрихов шкалы и сетки окулярного микрометра) одновременно резко наблюдается 82

$$\Delta \varphi_{\Sigma v} = \sum_{i=1}^{N} \Delta \varphi_{iv} = 0,$$

где N- число штрихов растра.

Для уменьшения влияния установочного эксцентриситета растра на точность работы преобразователя, при его сборке производят точную центрировку растра (по центрировочной окружности, по четырём штрихам, по измеренной погрешности угла поворота [7]) (см. также описание лабораторной работы №2 по дисциплине «Проектирование оптико-электронных приборов» [8]).

Для компенсации остаточного эксцентриситета растра в угловых преобразователях движения обычно применяется две отсчетные системы, установленные на диаметрально противоположных участках растра, либо перенос изображения освещенного участка растра на противоположный с увеличением, равным единице [7,8].

Компенсация влияния систематических составляющих погрешностей деления штрихов основана на увеличении числа считывающих систем (обычно до четырёх) или алгоритмическим методом, а случайных составляющих - частичным или полным интегральным считыванием штрихов растра [7] (см. также [1]).

В данной лабораторной работе моделируется современный метод центрировка растра фотоэлектрического преобразователя вращательного движения с помощью [9] осциллографа (рис.3).

Принцип метода заключается в следующем.

При равномерном вращении растра 1 электрический сигнал квазисинусоидальной формы, вырабатываемый считывающей системой 2, преобразуется формирователем 3 в узкий прямоугольный электрический импульс. Квазисинусоидальный сигнал, вырабатываемый считывающей системой 5, установленной на диаметрально противоположной стороне растра, остается неизменным. Оба сигнала подаются на вход осциллографа 4, создавая на его экране фигуру, изображенную на рис. 4.

Из-за установочного эксцентриситета растра и первой гармонической составляющей погрешности деления его штрихов, имеющей период 2π и оказывающей такой же характер влияния на погрешность измерения), прямоугольный импульс, играющий роль строб-индекса, перемещается относительно квазисинусоиды (по которой синхронизируется развертка).

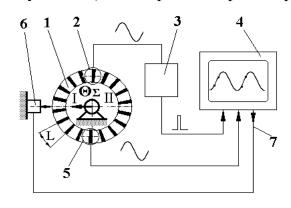


Рис. 3. Схема центрировки растра по осциллограф

Значение «суммарного» эксцентриситета определяется из следующего соотношения

$$\Delta e_{\Sigma} \approx (h_{max} - h_{min}/8H) \cdot L$$
,

где h_{max} , h_{min} — координаты максимального и минимального смещения прямоугольного импульса, соответственно, H — амплитуда квазисинусоидального сигнала, L - линейный шаг штрихов растра (см. рис.4).

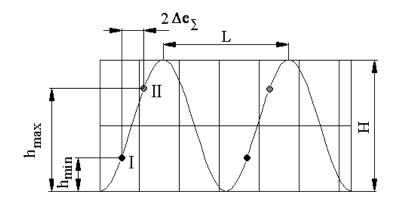


Рис. 4. К определению «суммарного» эксцентриситета

Чувствительность этого метода центрировки весьма высока благодаря масштабному усилению электрических сигналов на осциллографе и высокой чувствительности зрения оператора к определению взаимного смещения прямоугольного импульса и наклонной прямой участка квазисинусоиды.

На рис. 5 представлен макет устройства, реализующий рассмотренный способ центрирования. Здесь 1 — центрируемый растр, 2, 5 — считывающие системы, 3 — плата формирователя, 4 — привод.

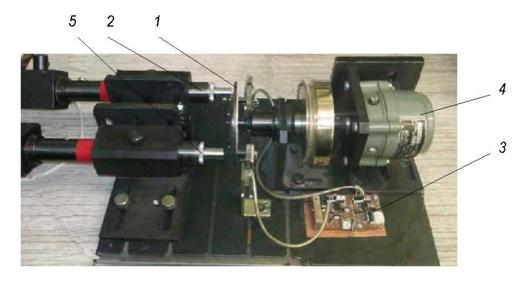


Рис. 5. Макет устройства для центрирования лимбов

Произведя замены в двух нижних уравнениях выражений $2\Delta S_{\rm K} \cdot \varepsilon$ из первого уравнения, получим следующую систему двух уравнений

1)
$$2\Delta S_1 \cdot \varepsilon = a_2 - a_1$$
;
2) $2\Delta S_2 \cdot \varepsilon = a_3 - a_1$. (9)

Вычтем из первого уравнения второе и найдём выражение для ε

$$\varepsilon = \frac{a_2 - a_3}{2(\Delta S_1 - \Delta S_2)}. (10)$$

Теперь подставим выражение для ε в первое уравнение системы (8) и найдём искомое выражение

$$\Delta S_{K} = \frac{(a_{1} - a_{H})(\Delta S_{1} - \Delta S_{2})}{a_{2} - a_{3}} . \tag{11}$$

ПОРЯДОК РАБОТЫ

Предварительные замечания и рекомендации

а) Конструкция маятникового рычага, на конце которого закреплена призма компенсатора, предусматривает возможность изменения его длины путём раздвижения двух его частей с помощью регулировочного винта с накатанной головкой. С «неподвижной» частью рычага жёстко связана ось, концы которой установлены в подшипники качения. Вместе с осью они выполняют функцию шарикоподшипниковой подвески рычага. Эта часть рычага в месте сопряжения с «подвижной» его частью содержит призматическую направляющую, охватываемую «вилкой» перемещаемой части рычага. На «неподвижной» части рычага закреплена шкала, по делениям которой оценивают величину раздвижки двух частей рычага. Цена деления этой (основной шкалы) составляет 0,8 мм. На подвижной же части рычага закреплён нониус (цена его деления составляет 0,75 мм). Приводной винт, который может лишь вращаться, закреплён на «неподвижной» части рычага. На «подвижной» же части рычага закреплена гайка. Таким образом, при завинчивании винта общая длина рычага уменьшается, что находится в соответствии с оцифровкой шкалы.

В процессе работы для оценки положения *S* регулируемой части рычага рекомендуется пользоваться основной шкалой и нулевым штрихом нониуса. Причём, рекомендуется изменение длины рычага производить на целое число делений основной шкалы.

б) При изменении длины рычага происходит расфокусировка изображения штрихов сетки коллиматора, поскольку изменяется положение призмы БР-180°

$$S_0 = 0.5f', (3)$$

где S_0 - «длина рычага», а точнее - расстояние от точки подвеса призмы компенсатора до ребра эквивалентного прямоугольного углового зеркала, которому эквивалентна стеклянная призма БР-180°.

Это выражение получается из условия компенсации смещения сетки нивелира по отношению к объективу (при наклоне прибора) сдвигом изображения этой сетки, осуществляемым призмой - компенсатором, подвешенной с помощью рычага на оси качания подобно маятнику.

Пусть для исходного положения прибора неизвестная нам длина рычага равна S_H (начальная), которую можно представить как

$$S_{\rm H} = S_0 + \Delta S_{\rm K} \,. \tag{4}$$

Здесь S_0 - значение длины рычага, при котором происходит точная компенсация направления линии визирования при наклоне прибора, $\Delta S_{\rm K}$ - искомое нами корректирующее изменение длины $S_{\rm H}$ рычага, позволяющее добиться условия компенсации (3). Снимем начальный отсчёт $a_{\rm H}$ по окулярному микрометру. Далее наклоним прибор на угол ε и снимем следующий отсчёт $a_{\rm I}$ по окулярному микрометру. Составим первое уравнение

$$2S_{\rm H}\varepsilon - f'\varepsilon = a_1 - a_{\rm H}. \tag{5}$$

Изменим длину рычага на ΔS_1 и снимем отсчёт a_2 по окулярному микрометру. Составим второе уравнение

$$2(S_{H} + \Delta S_{1})\varepsilon - f'\varepsilon = a_{2} - a_{H}. \tag{6}$$

Ещё раз изменим длину рычага, и это суммарное его изменение по отношению к $S_{\rm H}$ обозначим как ΔS_2 . Снова снимем отсчёт по окулярному микрометру - a_3 , и напишем третье уравнение:

$$2(S_{\rm H} + \Delta S_2)\varepsilon - f'\varepsilon = a_3 - a_{\rm H}. \tag{7}$$

Заменим во всех трёх уравнениях $S_{\rm H}$ по формуле (4).

С учётом выражения (3) мы получили систему из трёх уравнений с тремя неизвестными: $\varepsilon, f', \Delta S_{\rm K}$, которую можно решить относительно $\Delta S_{\rm K}$

1)
$$2\Delta S_{\rm K} \cdot \varepsilon = a_{\rm l} - a_{\rm H}$$
;

2)
$$2\Delta S_{\rm K} \cdot \varepsilon + 2\Delta S_{\rm 1} \cdot \varepsilon = a_2 - a_{\rm H};$$
 (8)

3)
$$2\Delta S_{\rm K} \cdot \varepsilon + 2\Delta S_2 \cdot \varepsilon = a_3 - a_{\rm H}$$

80

Для центрировки растра 1 его сдвигают относительно оси вращения (с помощью пьзокерамического вибратора 6 (рис. 3), съемного юстировочного механизма, или вручную постукиванием в направлении, перпендикулярном линии, соединяющей считывающие системы.

Данную операцию выполняют для одного из крайних положений прямоугольного импульса на экране осциллографа (какого именно - определяется экспериментально), которому соответствует направление вектора «суммарного» эксцентриситета перпендикулярное линии, соединяющей считывающие системы. Отъюстированное положение растра может быть зафиксировано на валу (оправе) быстроотвердевающим клеем под действием ультрафиолетового излучения.

ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТУ И ЗАЧЕТ

В отчете должны быть представлены:

- назначение и описание устройства и конструкций растровых угловых преобразователей движения;
- перечислены основные погрешности преобразователей и методы их компенсации;
 функциональная схема макета стенда для центрировки растров;
- перечислены основные параметры и погрешности, влияющие на точность и чувствительность привода;
- произведена оценка чувствительности выявления эксцентриситета измерительного растра на установке.

Для зачета в отчете должны быть представлены ответы на следующие вопросы по лабораторной работе:

- 1. Благодаря чему в растровом преобразователе накапливающего типа (рис.1) учитывается направление вращения измерительного вала?
- 2. Осуществляется или нет компенсация остаточного эксцентриситета измерительного растра преобразователя, представленного на рис. 1?
- 3. Какие конкретно погрешности растрового преобразователя компенсируются при использовании 2-х и 4-х считывающих систем?
- 4. Как компенсируется случайная составляющая погрешности деления штрихов измерительного растра?
- 5. Можно ли применить осциллограф для центрировки растра, если оба квазисинусоидальных сигнала, вырабатываемые отсчетными системами, подаются на осциллограф (отсутствует формирователь 3)?

ЛИТЕРАТУРА

- 1. Латыев С. М. Конструирование точных (оптических) приборов. СПб, Политехника, 2007.
- 2. Высокоточные угловые измерения/ Под. ред. Якушенкова Ю. Г. –М., Машиностроение, 1987.
- 3. Маламед Е. Р. Фотоэлектрические преобразователи линейных перемещений на дифракционных решетках. Учебное пособие. Л., ЛИТМО, 1991.
- 4. Фотоэлектрические преобразователи информации. /Под ред. Преснухина Л. Н. –М., Машиностроение, 1974.
- 5. Муханин Л. Г. Схемотехника измерительных устройств. СПБ., Изд. «Лань», 2009.
- 6. www.skbis.ru (Преобразователи угловых перемещений ЛИР производства СКБ ИС)
- 7. Латыев С. М. Компенсация погрешностей в оптических приборах. Л., Машиностроение, 1985, с.220-224.
- 8. Латыев С. М., Егоров Г. В., Тимощук И. Н. Методические указания по выполнению лабораторных работ. Проектирование оптико-электронных приборов и систем. СПб, ИТМО, 2001.
- 9. Егоров Г. В. и др. Центрировка растров фотоэлектрических преобразователей углового перемещения. Приборостроение, №4, 2007.

Пучок световых лучей из коллиматора 1, имитирующего линию горизонта, падает на пентапризму 2 нивелира перископического типа, попадает в объектив 3, проходит призму 4 типа БР-180° компенсатора, неподвижную призму 5 типа АР-90°, и строит изображение горизонтальной линии на сетке 6 окулярного микрометра 7.

Призма 4 компенсатора, свободно подвешенная с помощью рычага на оси качания 9, осуществляет сдвиг изображения сетки нивелира.

При наклоне макета нивелира на угол ε изображение горизонтальной нити сетки коллиматора сместится на величину $f'\varepsilon$, призма — на величину εS , а изображение сетки, наблюдаемое со стороны объектива нивелира, - на $2\varepsilon S$, где f' — фокусное расстояние объектива, S - расстояние от точки подвеса рычага до ребра призмы (длина рычага).

Из уравнения (1) находим коэффициент компенсации

$$f'/S = k = 2. (2)$$

При выполнении этого требования линия горизонта, создаваемая коллиматором 1, будет совпадать с горизонтальным штрихом сетки нивелира, что исключит погрешность измерений из-за наклона нивелира.

При юстировке макета необходимо получить резкое изображение горизонтального штриха сетки коллиматора 1 и с помощью маховичка окулярного микрометра 7 привести его в биссектор сетки 6, а также отрегулировать длину плеча рычага для выполнения равенства (2).

Юстировка осуществляется смещением и разворотом узла сетки с окуляром нивелира (в качестве такого узла использован стандартный окуляр-микрометр). Длина плеча рычага регулируется специальным устройством.

Исследование компенсатора заключается в анализе влияния первичных погрешностей компенсатора и определении пределов его работы. Наклоняя основание макета передним установочным винтом 8 последовательно на углы 1'; 12'; 36'; 1° вниз и затем вверх от горизонта, измеряют уход линии горизонта, создаваемого коллиматором 1, от биштриха сетки 6. Величина угла наклона основания макета нивелира определяется долями или целым числом оборотов переднего установочного винта 8, имеющего шаг резьбы t = 0.75 мм и действующего на длине плеча рычага R = 205 мм. Как нетрудно подсчитать - цена одного оборота винта 8 при этих параметрах составит, примерно, 12' (угл. мин.).

Технические подробности [1-5].

Вывод выражения для определения величины корректирующего изменения длины рычага для выполнения условия компенсации

Как было показано выше, условие компенсации можно представить следующим выражением:

а для третьей –

$$f' \cdot \varepsilon = k \cdot \varepsilon'$$

где f — фокусное расстояние объектива зрительной трубы, S — длина рычага или длина хода осевого луча от точки его падения на зеркало компенсатора до сетки, k — коэффициент, зависящий от свойств и параметров как оптической системы, так и механической.

Условие работы компенсаторов, расположенных за объективом нивелира (внутри трубы)

$$f'/S = \varepsilon'/\varepsilon = k, \tag{1}$$

где k - коэффициент компенсации (угловое увеличение компенсатора).

Обычно компенсатор представляет собой механический или гидромеханический маятник. Для получения необходимого коэффициента компенсации (k) подвеску маятника рассчитывают так, чтобы при наклоне визирной трубы на угол ε компенсатор отклонял визирный луч на угол $\varepsilon' = k\varepsilon$

Необходимая величина коэффициента k достигается механическим, оптическим или оптико-механическим способами. Компенсаторы могут быть установлены в сходящемся пучке лучей и в параллельном — перед объективом зрительной трубы нивелира. В данной работе исследуется работа компенсатора, установленного в сходящемся пучке лучей и работающего по принципу сдвига изображения сетки нитей нивелира.

ЮСТИРОВКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МАКЕТА КОМПЕНСАТОРА НИВЕЛИРА "Ni-007"

Принцип работы компенсатора можно пояснить на макете установки для исследования стабильности линии визирования нивелира (рис. 2).

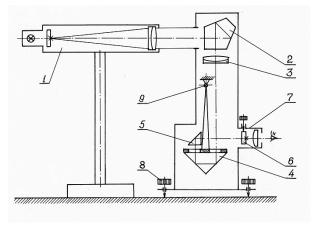


Рис. 2. Схема установки для исследования компенсатора

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 6

ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ И ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА НА СФЕРОМЕТРЕ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Ознакомить студентов с принципами работы, устройством фотоэлектрических сферометров для измерения радиусов кривизны сферических линз и методами их аттестации, привить практические навыки работы на сферометре.

ПЕРЕЧЕНЬ ОБОРУДОВАНИЯ

- 1. Фотоэлектрический сферометр на основе преобразователя. Персональный компьютер семейства Pentium.
- 2. Плоскопараллельная пластина, меры плоскости.
- 3. Сферические линзы для измерения радиусов кривизны.
- 4. Пробное стекло с известным радиусом кривизны.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАБОТЫ

- 1. Ознакомиться с назначением и принципом действия сферометров.
- 2. Изучить принцип действия фотоэлектрического сферометра на основе преобразователя линейных перемещений ЛИР-14.
- 3. Провести измерения радиусов кривизны линз (линзы выдает преподаватель).
- 4. Составить отчет по работе.

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О ПРИНЦИПЕ РАБОТЫ И КОНСТРУКЦИИ СФЕРОМЕТРА

Оптические детали со сферическими поверхностями (линзы, зеркала) являются широко распространенными элементами оптических систем. Качество изображения, даваемого оптическими системами, во многом зависит от того, насколько точно соответствуют расчетным значениям радиусы кривизны сферических поверхностей, полученные при обработке деталей. Поэтому измерение радиусов сферических поверхностей является обязательной и весьма ответственной операцией, как при изготовлении, так и при приеме оптических деталей. Измерение выполняется с относительной погрешностью от 0,05 до 0,2 % от величины радиуса.

Для измерения радиусов кривизны линз используются визуальные и фотоэлектрические сферометры, однако первые имеют низкую производительность и содержат возможность появления грубых ошибок в процессе измерений.

Рассмотрим измерение радиуса кривизны сферической поверхности на кольцевом сферометре.

По способу получения результатов измерений рассматриваемый метод является косвенными основан на вычислении радиуса кривизны r сферической поверхности 1 (рис. 1a), установленной на опорное кольцо 2 с известным радиусом r_{κ} по измеренной с помощью измерительного стержня 3 стрелки прогиба h.

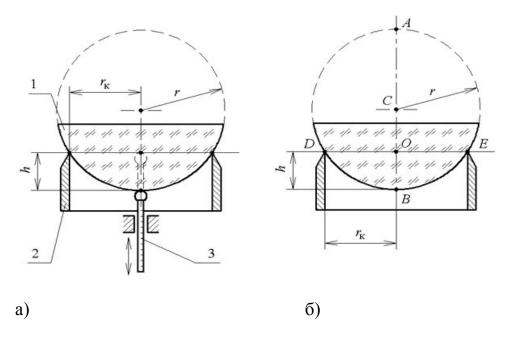


Рис. 1. Принцип работы кольцевого сферометра (а); к выводу расчетной формулы сферометра (б)

Расчетная формула сферометра может быть выведена на основании рис. 1б.

$$r = \frac{r_k^2 + h^2}{2h} \,. \tag{2}$$

При измерении радиусов кривизны полированных поверхностей используют кольца, опорами в которых являются три шарика установленные под углом 120°.

На основании рис. 2 следует рассмотреть влияние радиусов шариков на результаты измерения. Несложно заметить, что при использовании колец с опорными шариками определяется радиус сферы проходящей через центры этих шариков. Следовательно, при вычислении по формуле (2) радиуса кривизны выпуклой измеряемой сферы (рис. 2а) из полученного результата необходимо вычесть значение радиуса опорного шарика, и прибавить его при вычислении радиуса кривизны вогнутой сферической поверхности (рис. 2б). В результате расчетная формула (2) примет вид

автоматически устанавливающие визирную линию нивелира (визирную ось) в горизонтальное положение [1-5].

Напомним, что визирной линией нивелира называют прямую, проходящую через заднюю узловую точку объектива и отметку (в частности, центр перекрестия) на сетке нитей. Отсюда можно сделать выводы относительно того, как можно изменить направление визирной линии в пространстве.

В нивелирах без компенсаторов горизонтальности визирной линии добиваются с помощью уровня путём приведения его пузырька в определённое положение подъёмными винтами нивелира.

Принцип работы компенсаторов нивелиров состоит в том, что при наклонах нивелира, обусловленных погрешностью его выверки или нестабильностью основания, компенсаторы изменяют положение визирной оси в приборе таким образом, чтобы направление визирной оси в пространстве предметов сохранялось горизонтальным. В нивелирах с оптико-механическими компенсаторами маятникового типа это достигается различными способами: непосредственными сдвигами сетки или объектива, либо (и эти способы получили наибольшее распространение) сдвигами изображения сетки, осуществляемыми наклонами оптических элементов.

Схемы некоторых способов компенсации угла наклона трубы нивелира приведены на рис. 1. Здесь: на рис. 1а - компенсация перемещением сетки нивелира из положения z в положение z_0 механическим рычагом с плечом S; на рис. 1б - компенсация сдвигом изображения сетки с помощью подвешенного зеркала, установленного в точке p; на рис. 1в - компенсация сдвигом изображения сетки наклоном зеркального ромба, также подвешенного на нитях.

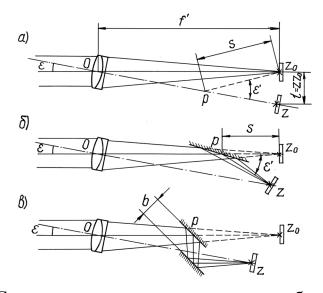


Рис. 1. Схема компенсации угла наклона трубы нивелира

Для первых двух схем компенсации должно выполняться условие

$$f' \cdot \varepsilon = S \cdot \varepsilon'$$
,

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 10

ЮСТИРОВКА И ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПЕНСАТОРАСТАБИЛИЗАЦИИ ЛИНИИ ВИЗИРОВАНИЯНИВЕЛИРА "Ni-007"

Цель работы — изучение способов стабилизации визирной линии геодезического прибора и методов его юстировки

ЗАДАНИЕ И ЗАЧЕТ ПО РАБОТЕ

- 1. Ознакомиться с назначением и принципами действия компенсаторов нивелиров
- 2. Изучить схему и устройство компенсатора нивелира "Ni-007" перископического типа фирмы "Карл Цейс".
- 3. Выявить основные первичные погрешности компенсатора, рассчитать допуски на них
- 4. Составить укрупнённую методику окончательной юстировки нивелира с компенсатором.
- 5. Исследовать точность и пределы работы компенсатора.
- 6. По заданию преподавателя выполнить дополнительное исследование, связанное с юстировкой компенсатора или определением параметров нивелира.

Для зачета предъявить отъюстированный макет нивелира с компенсатором и отчет с описанием выполненной работы, методикой юстировки, результатами расчетов и исследований.

КОМПЛЕКТ УСТАНОВКИ

 1. Макет нивелира "Ni-007"
 - 1 шт.

 2. Коллиматор
 - 1 шт.

 3. Осветитель
 - 1 шт.

 4. Блок питания
 - 1 шт.

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Для повышения производительности и точности работы современных нивелиров широкое применение нашли специальные устройства - компенсаторы,

$$r = \frac{r_k^2 + h^2}{2h} \mp \rho , \qquad (3)$$

где $-\rho$ — для выпуклой сферической поверхности; $+\rho$ — для вогнутой сферической поверхности.

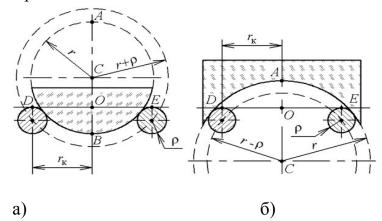


Рис. 2. Влияние радиусов шариков опорного кольца на результат измерения: а) выпуклой поверхности; б) вогнутой поверхности

В формуле (3) величины r_{κ} и ρ заранее измеряют с высокой точностью и записывают в аттестат прибора, а величину h измеряют в процессе контроля.

Для ее измерения используются визуальные методы, как, например, в сферометре ИЗС-7 или фотоэлектрические, где отсчеты снимаются с помощью преобразователей линейных перемещений (фотоэлектрический стационарный сферометр ИЗС-11), схема которого приведена на рис. 3.

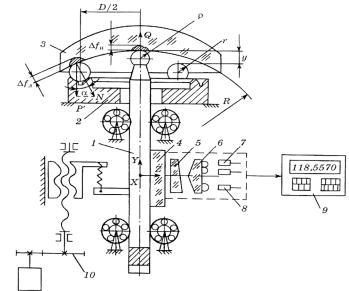


Рис. 3. Автоматизированный сферометр,

1 — измерительная пиноль; 2 — кольцо (сменное) с тремя сферическими опорами (шарами); 3 — проверяемая деталь (пробное стекло); 4-8 — преобразователь линейных перемещений, состоящий из отражающей 4 и прозрачной 5 дифракционных решеток, блока 6 из отклоняющего клина и линз, фотоприемников 7 и светодиода 8; 9 — микропроцессор серии К 580; 10 — привод пиноли.

Контроль радиуса сферы R поверяемой линзы производится путем измерения стрелки прогиба y поверхности измерительной пинолью с последующим вычислением величины радиуса микропроцессором по формуле

$$R = \frac{D^2}{8y} + \frac{y}{2} \pm r_k = \frac{D^2}{8nA} + \frac{nA}{2} \pm r_k$$
(4)

где D — диаметр опорного кольца, r_k — радиус сферы опоры — шара (для вогнутой поверхности знак плюс, выпуклой — минус), n — число электрических счетных пульсов, вырабатываемых преобразователем линейных перемещений, A — цена импульса (A = 0,1 мкм).

Технические данные сферометра

Контролируемый радиус, мм:

наименьший10,	
наибольший ∞	
Предел измерения стрелки прогиба, мм±15	
Диаметр сменных колец, мм:	
наименьший	
наибольший 120	
Максимальная масса контролируемой детали, кг	
Диапазон изменения значения измерительного усилия, Н	5 - 5
Предельное значение погрешности	
(по результатам испытания опытного образца), % 0,0	12

В предлагаемой лабораторной работе представлен макет «накладного» (переносного) сферометра, основанного на базе фотоэлектрического преобразователя линейных перемещений ЛИР 14, изготовленного в СКБ ИС (г. С.-Петербург).

Устройство этого преобразователя приведено на рис. 4.

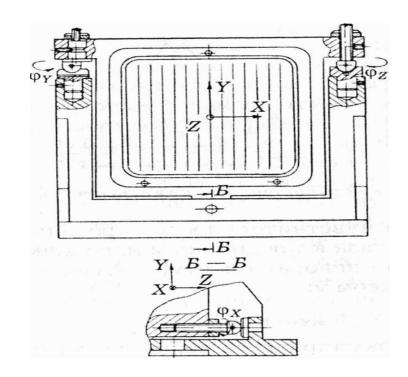


Рис. 7. Юстировочное устройство дифракционной решётки с тремя угловыми подвижками

Дифракционная решётка в оправе (К27)

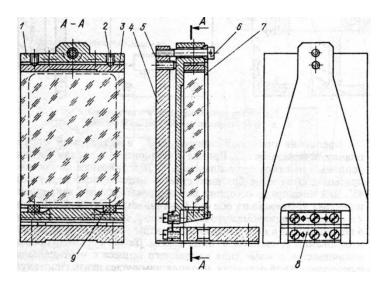


Рис. 8. Дифракционная решётка в оправе,

1 — оправа; 2 — винты; 3 — вкладыш; 4 — основание; 5 — отжимной винт; 6 — прижимной винт; 7 — прижимная планка (в виде рамки); 8 — пружинный шарнир; 9 — упругие пятки



Рис. 3. Юстировочное винто-рычажное поворотное устройство зеркала танкового прицела



Рис. 4. Несущее устройство плоского зеркала с тремя юстировочными подвижками



Рис. 5. Юстировочное поворотное устройство дальномера



Рис. 6. Винто-пружинное поворотное юстировочное устройство плоского зеркала

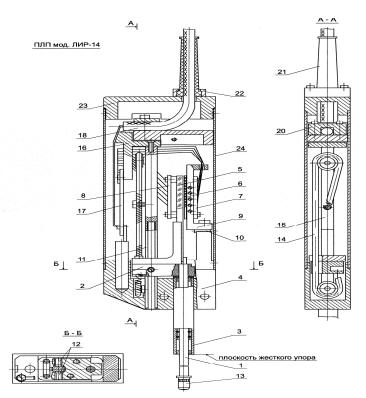


Рис. 4. Устройство фотоэлектрического преобразователя линейных перемещений ЛИР-14

Основные узлы фотоэлектрического преобразователя линейных перемещений (ПЛП):

- шток 1 с запрессованным на нем ограничителем 2 перемещается в подшипнике качения, наружная обойма 3 которого запрессована в корпусе 4; растровая шкала 5 в оправе жестко связана через ограничитель со штоком;
- узел считывания в составе индикаторной пластины 6, платы осветителей 7 и платы фотоприемников 8, смонтированных на оправе 9, крепится к корпусу 4 через штифт 10, что позволяет создавать наклон индикаторной пластины относительно шкалы для обеспечения параллельности штрихов их растров.

Шток, ограничитель и шкала образуют подвижный модуль, способный совершать поступательные перемещения относительно индикаторной пластины в пределах хода штока. Параллельно перемещению штока в корпус установлена направляющая 11. Двумя винтами 12 выбирается зазор между ограничителем и направляющей, что исключает разворот подвижного модуля.

Усилие, обеспечивающее постоянный контакт наконечника 13 с поверхностью контролируемого объекта и возврат штока в исходное положение (при любой ориентации ПЛП в пространстве), создается работающей на растяжение цилиндрической пружиной 14. Один конец пружины закреплен на стойке 15 неподвижной части ПЛП, а другой - на ограничителе 2 подвижного модуля.

Со стойкой 15 жестко связан кронштейн 16 с закрепленным на нем нормирующем формирователем 17. Через отверстия в кронштейне пропущены провода от плат узла считывания к нормирующему формирователю.

Кабель 18 обеспечивает питание ПЛП и его связь с устройством приема информации потребителя. В ПЛП моделей ЛИР-15, ЛИР-17 кабель вклеен в

отверстие корпуса 4, к которому крепится кожух 19. В ПЛП модели ЛИР-14 положение кабеля фиксируется прижимом 20, что предохраняет распайку кабеля на плате нормирующего преобразователя. Выходящий из ПЛП конец кабеля проходит через ниппель 21, зафиксированный прижимом 22 на крышке 23 кожуха 24.

Принципиальная схема сферометра приведена на рис. 5.

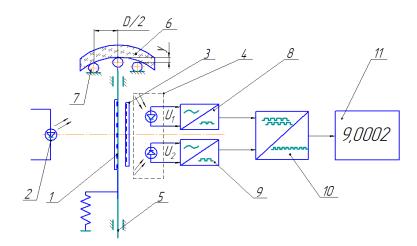


Рис. 5. Принципиальная схема сферометра на базе преобразователя ЛИР-14, 1- измерительный оптический растр; 2 - источник излучения; 3 - индикаторный оптический растр; 4 - фотоприёмники; 5 — измерительный шток; 6 — контролируемая линза; 7 — опорные шары; 8,9 - преобразователи сигналов U_1 и U_2 (усилители и формирователи импульсов); 10 — блок интерполирования; 11 - цифровой дисплей

Линейное перемещение штока 5 преобразуется с помощью измерительного 1 и индикаторного 3 оптических растров в изменение светового потока, падающего на фотоприёмники 4, которые вырабатывают пропорциональные аналоговые электрические сигналы U_1 и U_2 . Эти сигналы усиливаются, обрабатываются и из них формируются счётные электрические импульсы.

Функция, связывающая перемещение штока с числом n счётных импульсов, имеет вид

$$y = \frac{kT}{4} \cdot n = A \cdot n$$

где κ - коэффициент деления интерполятора, T - период деления растров, A - цена счетного импульса в линейной мере.

Вычисление радиуса R линзы производится по следующей формуле 4. Основными погрешностями, влияющими на точность измерений в этом сферометре являются: погрешность диаметра опорного кольца ($\Delta R_{\Delta D}$), погрешность радиуса сферических опор ($\Delta R_{\Delta \Gamma}$), контактная деформация линзы и опор, обусловленная весом линзы (Δf_{π}); контактная деформация линзы и сферического наконечника штока под действием мерительного усилия (Δf_{π}); погрешность измерения стрелки прогиба ($\Delta R_{\Delta y}$); влияние отклонение температуры от 40

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

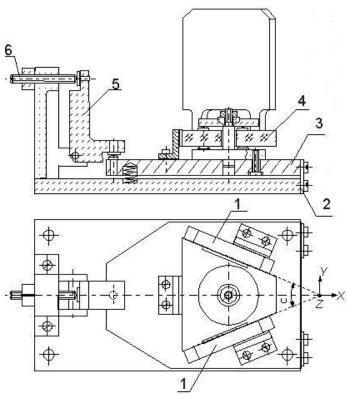


Рис. 4. Эскиз конструкции несущего устройства концевого отражателя с устройством для юстировочных подвижек,

1 - зеркала концевого отражателя; 2 — упругий шарнир; 3 — качающаяся пластина; 4 — основание концевого отражателя; 5 — двуплечий рычаг; 6 — юстировочный микровинт.

ПОВОРОТНЫЕ УСТРОЙСТВА



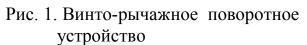




Рис. 2. Винто-рычажное поворотное устройство с двумя рычажными механизмами

где $\alpha i l$ – заданное угловое перемещение юстировочного винта, град;

 $\beta i2$ – измеренный угловой поворот зеркала, угл.с;

Si1-3 - значение чувствительности УЮП, рассчитанное по измеренным значениям $\alpha i1$ и $\cdot \beta i2$, угл. с/град.

5. Результаты измерений и расчет чувствительности УЮП

Результаты измерений:

 αi 1=45 град;

 $\beta i 2 = 4.5 \text{ угл.мин.}$

Расчет чувствительности УЮП по результатам измерений:

$$Si1-3=2\cdot(4.5/45)=0.2$$
,

т.е. чувствительность Si1-3=0.2 угл.мин/град.

6. Оценка погрешности измерения чувствительности УЮП

6.1. Абсолютная погрешность экспериментального определения чувствительности УЮП

$$\Delta S1-3 = Si1-3-S1-3$$

где Si1-3 - экспериментально определенная чувствительность цепи УЮП; S1-3 - чувствительность, рассчитанная по номинальным значениям схемных параметров цепи УЮП.

$$\Delta S1-3 = 0.2-0,21=-0,01$$
 угл. мин/град.

6.2. Относительная погрешность чувствительности в процентах

Относительная погрешность чувствительности в процентах определяется по следующей формуле

$$\Delta SI - 3\% = (\Delta SI - 3/SI - 3) \cdot 100\%$$
.

Её величина будет равна ΔSI -3%=(-0.01/2.01)·100=0.5%.

номинального значения ($\Delta R_{\Delta T}$), а так же погрешность измерения радиуса, возникающая из-за смещения штока относительно центра опорного кольца (несоосность) ($\Delta R_{\Delta x}$).

Эти погрешности оказывают существенное влияние на точность контроля радиусов сферических поверхностей, но могут быть скомпенсированы алгоритмически.

Аттестация сферометра может производиться различными методами, например, измеряя известные радиусы кривизны пробных (эталонных) стекол.

Макет устройства изображен на рис. 6.

Сферометр состоит из корпуса, с тремя ножками-опорами 4 в верхней части которого крепится опорное кольцо 3. Это опорное кольцо может быть сменным 6 и в нем закреплены через 120° три опоры-шара 7 для установки и базирования контролируемой линзы. В нижней же части корпуса установлен преобразователь линейных перемещений 3 ЛИР 14, сигналы которого подаются на персональный компьютер 8, где по специальной программе вычисляется по формуле (3) радиус контролируемой линзы.

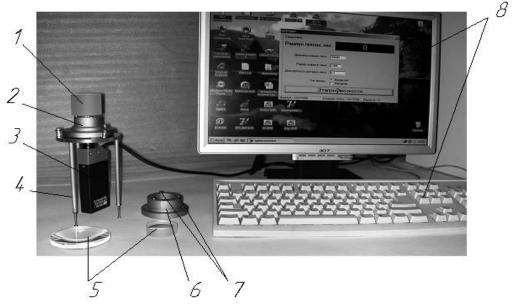
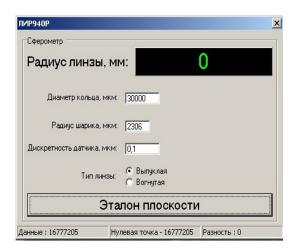


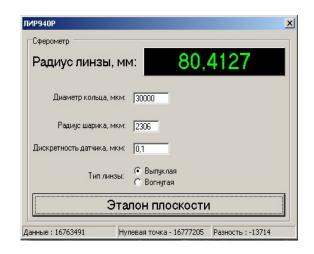
Рис. 6. Внешний вид макета фотоэлектрического сферометра,

1 — эталон плоскости; 2 - опорное кольцо; 3 — фотоэлектрический преобразователь ЛИР-17; 4 — корпус сферометра; 5 — контролируемые линзы; 6 — сменное опорное кольцо; 7 — опоры-шары; 8 — персональный компьютер.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Включить в сеть персональный компьютер 8 (рис. 6), дождаться загрузки операционной системы и запустить программу работы со сферометром, кликнув мышкой по пиктограмме с именем «Spherometer». Вид интерфейса программы приведен на рис. 7.





a)

б)

Рис. 7. Вид интерфейса программы, а) – при нажатой кнопке «Эталон плоскости»; б) - при измерении радиуса кривизны линзы

- 2. Провести измерения радиусов кривизны линз (получить у преподавателя), вначале устанавливая на опорное кольцо 2 (рис .6) эталон плоскости 1 и нажимая соответствующую кнопку («Эталон плоскости»), а затем измеряемую линзу. Все измерения выполняются не менее 3-х раз.
- 3. Оценить точность контроля радиусов сферометром, измерив радиус кривизны пробного стекла, имеющегося в составе сферометра.
- 4. По результатам работы составить отчет, который должен содержать следующее: цель работы; сведения о назначении и устройстве сферометра; ПЛП, краткий принцип работы фотоэлектрического преобразователя; результаты измерений.

вопросы для защиты

- 1. Изложить порядок измерения радиуса кривизны отдельной сферической поверхности.
- 2. Вывести формулу для определения радиуса кривизны сферической поверхности.
- 3. Определить погрешности, оказывающие большее влияние на результат измерения радиуса кривизны сферической поверхности.
- 4. Оценить погрешность сферометра из-за влияния погрешности диаметра опорного кольца.
- 5. Оценить погрешность сферометра из-за влияния погрешности измерения стрелки прогиба.
 - 6. Объяснить устройство сферометра и рассказать принцип его работы.
 - 7. Перечислить основные погрешности рассмотренного устройства.

2. Расчет чувствительности УЮП по результатам натурных измерений его параметров

Измеренные параметры УЮП:

 $S_3 := \frac{21600}{\pi}$

 $\mathbf{k} := 1$ - число заходов резьбы юстировочного винта

t := 0.4 - шаг резьбы юстировочного винта, мм

a := 38 - межосевое расстояние (между осью юстировчного винта и

 $S_3 = 6875.5$

Расчет чувствительности устройства юстировочных подвижек зеркала

$$\mathbf{S_1} \coloneqq \frac{\mathbf{k} \cdot \mathbf{t}}{360}$$
 , мм/град

$$\mathbf{S_2} := \frac{1}{\mathbf{a}}$$
 , рад/мм

$$\mathbf{S_{123}} := \mathbf{S_1} \cdot \mathbf{S_2} \cdot \mathbf{S_3}$$
 $\mathbf{S_{123}} := \frac{\mathbf{k} \cdot \mathbf{t}}{360} \cdot \frac{1}{\mathbf{a}} \cdot \frac{21600}{\pi}$ $\mathbf{S_{123}} = 0.201$, угл.мин/град

, угл.мин/рад

3. Схема установки для экспериментального определения чувствительности УЮП

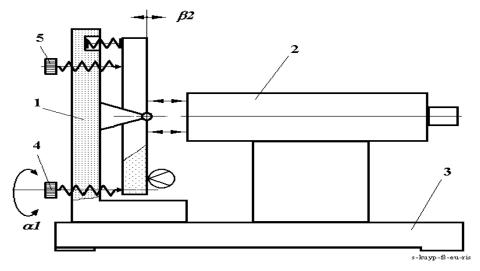


Рис. 3. Схема установки для экспериментального определения чувствительности УЮП,

1 - несущее устройство плоского зеркала с УЮП; 2 - автоколлиматор; 3 - монтажная плита; 4 - юстировочный винт; 5 — фиксирующий винт; αI — угол поворота юстировочного винта, град; $\beta 2$ — угловое перемещение зеркала.

4. Формула для расчета чувствительности подвижной цепи УЮП по экспериментальным данным

$$Si1-3=2\cdot\beta i2/\alpha i1$$
,

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

ПРИМЕР ОФОРМЛЕНИЯ ОТЧЕТА ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

1. Составление функциональной и структурной схем юстировочной цепи УЮП плоского зеркала

1.1. Функциональная схема устройства юстировочных подвижек плоского зеркала

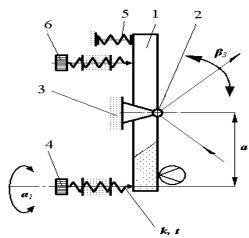


Рис. 1. Функциональная схема устройства юстировочных подвижек плоского зеркала.

1 — плоское зеркало; 2 — вращательная кинематическая пара; 3 — стойка; 4 — винт юстировочный; 5 — пружина для силового замыкания; 6 — распорный винт; k и t — число заходов и шаг резьбы винта; a — расстояние между осью винта и осью качания зеркала

1.2. Структурная схема устройства юстировочных подвижек зеркала

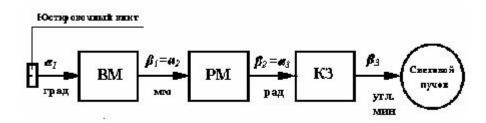


Рис. 2. Структурная схема устройства юстировочных подвижек зеркала,

ВМ — винтовой механизм; РМ - рычажный механизм; КЗ — качающееся зеркало; α_{I} - угол поворота винта 4, град; β_{I} - перемещение винта 4, мм; α_{2} - перемещение винта 4, выполняющего роль толкателя рычажного механизма, мм; β_{2} - угол поворота рычага (оправа плоского зеркала 1), рад; α_{3} - угол ворота зеркала 1, рад; β_{3} - угол отклонения пучка лучей отраженного от зеркала 1, угл. мин. 70

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 7

УСТРОЙСТВО И ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ИНДИКАТОРА НА ОСНОВЕ ФОТОПРИЕМНИКА МУЛЬТИСКАН

ШЕЛЬ РАБОТЫ

Ознакомить студентов с принципами устройства и работы фотоэлектрических индикаторов для измерения линейных размеров, провести исследование точностных характеристик индикатора на основе фотоприемника мультискан.

ПЕРЕЧЕНЬ ОБОРУДОВАНИЯ

- 1. Фотоэлектрический индикатор на основе фотоприемника мультискан.
- 2. Блок согласования с платой интерфейса для передачи данных о перемещении на персональный компьютер.
- 3. Персональный компьютер семейства Pentium.
- 4. Меры длины, концевые плоскопараллельные, набор №1, класс точности 2 ГОСТ 9038-73.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАБОТЫ

- 1. Ознакомиться с назначением и принципом действия фотоэлектрических индикаторов.
- 2. Изучить принцип действия фотоприемника мультискан и устройство индикатора на его основе.
 - 3. Исследовать точностные характеристики индикатора.
 - 4. Составить отчет по работе.

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О ПРИНЦИПЕ РАБОТЫ И КОНСТРУКЦИИ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ИНДИКАТОРОВ

Конструкции типовых фотоэлектрических индикаторов, предназначенных для измерения линейных размеров, достаточно разнообразны. Среди них различают бесконтактные фотоэлектрические индикаторы, иначе называемых датчиками положений или расстояний (датчики фирм Turck, ERVIN, SICK, PEPPERL&FUCHS, OMRON), основанные на измерении расстояний с помощью лазерных диодов [1];

контактные, в которых использовано растровое сопряжении линейных шкал [2]. Бесконтактные индикаторы, в основном, используются для обнаружения объектов и реже - для измерения расстояний, при этом погрешность измерения достигает больших величин.

Контактные индикаторы выпускаются разными компаниями.

Рассмотрим принцип действия контактного индикатора на примере рис. 1.

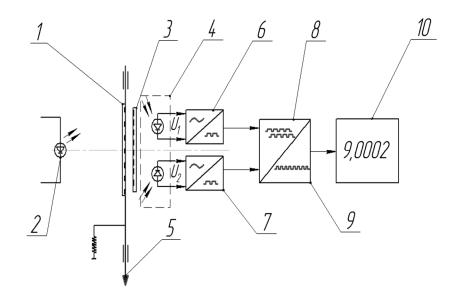


Рис. 1. Функциональная схема индикатора ЛИР-17И,

1 - измерительный оптический растр; 2 - источник излучения; 3 - индикаторный оптический растр; 4 - фотоприёмник; 5 — измерительный шток; 6 - преобразователь сигнала U_I ; 7 - преобразователь сигнала U_2 ; 8 - сигнал сканирования; 9 - умноженная оценка сигнала (интерполяция); 10 - цифровой дисплей

Линейное перемещение штока 5 преобразуется с помощью измерительного 1 и индикаторного 3 оптических растров в изменение светового потока, падающего на фотоприёмники 4, которые вырабатывают пропорциональные аналоговые электрические сигналы U_1 и U_2 . Эти сигналы усиливаются, обрабатываются и из них формируются счётные электрические импульсы.

Функция, связывающая перемещение штока с числом n счётных импульсов, имеет вид

$$y = \frac{kT}{4} \cdot n = A \cdot n$$

где T - период деления растров, κ - коэффициент деления интерполятора, A - цена счетного импульса в линейной мере.

Конструкция этого преобразователя приведена на рис. 2.

- 5. Латыев С. М. Конструирование точных (оптических) приборов. Методы повышения качества приборов при конструировании. СПб.: Политехника, 2007. 579 с.
- 6. Латыев С. М., Егоров Г. В., Зверева Т. Л. Сборник задач по курсу "Конструирование оптических приборов". Л., :ЛИТМО ,1985. 39 с. Задачи №23 и №24.
- 7. Плотников В. С. Геодезические приборы. М.: Недра, 1987. 396 с., с. 85 92.
- 8. Погарев Г. В. Юстировка оптических приборов. Л.: Машиностроение, 1982. 237 с., с. 24 62.
- 9. Шарловский Ю. В. Механические устройства малых оптических систем. М.: Машиностроение, 1979. 127 с., с. 36 43.

- 3. Какие основные характеристики имеет исследованное Вами УЮП?
- 4. Что такое порог перемещения органа управления УЮП $(\Delta \alpha lp)$ и от чего зависит его величина?
- 5. Что такое чувствительность подвижной цепи УЮП (S1-n), как и из каких соображений определяется ее величина?
- 6. Какие требования предъявляются к кинематическим парам подвижной цепи УЮП и почему? Как они обеспечиваются в исследуемом УЮП?
- 7. Какие органы управления подвижной цепью УЮП Вы знаете? Дайте им сравнительную характеристику.
- 8. Приведите по литературным данным пример несущего устройства оптической детали с несколькими УЮП, обеспечивающими независимые юстировочные подвижки. Каким образом достигается в нем независимость юстировочных подвижек?
- 9. Составьте структурную и функциональную схемы подвижной цепи УЮП по его сборочному чертежу. Найдите основное условие для выбора схемных параметров подвижной цепи УЮП.
- 10. Какие параметры конструкции УЮП определяют диапазон юстировочных подвижек? Оцените диапазон работы исследуемого Вами УЮП.
- 11. Что предусмотрено в исследуемой конструкции УЮП для фиксации отъюстированного положения оптической детали? Какие способы фиксации Вы еще знаете?
- 12. Из какого материала сделаны детали несущего устройства и его УЮП и почему?
- 13. Как влияют на погрешность юстировочной подвижки погрешности схемных параметров подвижной цепи УЮП и погрешности от линеаризации функций преобразования ее преобразовательных элементов?
- 14. Как можно экспериментально определить чувствительность подвижной цепи УЮП?
 - 15. В каких углах поворота оцифрована шкала автоколлиматора?
- 16. Оцените чувствительность подвижной цепи УЮП и погрешность юстировочной подвижки оптической детали для предложенного образца УЮП.
- 17. Какие эргономические требования к УЮП влияют на конструкцию УЮП и конструкцию несущего устройства оптической детали в целом?

ЛИТЕРАТУРА

- 1. ГОСТ 16263-70. Метрология, термины и определения.-53 с.
- 2. Конструирование приборов. / Под ред. В. Краузе. Пер. с нем. В. Н. Пальянова; Под ред. О. Ф. Тищенко. М.: Машиностроение, 1987.- 376 с., с. 246 251.
- 2. Кулагин В. В. Основы конструирования оптических приборов. Л.: Машиностроение, 1982 .- 312 с., с. 113 135.
- 3. Латыев С. М. Компенсация погрешностей в оптических приборах. Л.: Машиностроение, 1985. 248 с., с. 220 224.

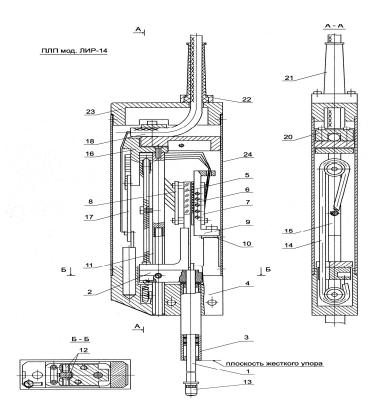


Рис. 2. Устройство фотоэлектрического преобразователя линейных перемещений ЛИР-17

Основные узлы фотоэлектрического преобразователя линейных перемещений (ПЛП):

- шток 1 с запрессованным на нем ограничителем 2 перемещается в подшипнике качения, наружная обойма 3 которого запрессована в корпусе 4;
- растровая шкала 5 в оправе жестко связана через ограничитель со штоком;
- узел считывания в составе индикаторной пластины 6, платы осветителей 7 и платы фотоприемников 8, смонтированных на оправе 9, крепится к корпусу 4 через штифт 10, что позволяет создавать наклон индикаторной пластины относительно шкалы для обеспечения параллельности штрихов их растров.

Шток, ограничитель и растровая шкала образуют подвижный модуль, способный совершать поступательные перемещения относительно индикаторной пластины в пределах хода штока. Параллельно перемещению штока в корпус установлена направляющая 11. Двумя винтами 12 выбирается зазор между ограничителем и направляющей, что исключает разворот подвижного модуля.

Усилие, обеспечивающее постоянный контакт наконечника 13 с поверхностью контролируемого объекта и возврат штока в исходное положение (при любой ориентации ПЛП в пространстве), создается работающей на растяжение цилиндрической пружиной 14. Один конец пружины закреплен на стойке 15 неподвижной части ПЛП, а другой - на ограничителе 2 подвижного модуля.

Со стойкой 15 жестко связан кронштейн 16 с закрепленным на нем нормирующем преобразователем 17. Через отверстия в кронштейне пропущены провода от плат узла считывания к нормирующему преобразователю.

Кабель 18 обеспечивает питание ПЛП и его связь с устройством приема информации потребителя. В ПЛП моделей ЛИР-15, ЛИР-17 кабель вклеен в отверстие корпуса 4, к которому крепится кожух 19. В ПЛП модели ЛИР-14 положение кабеля фиксируется прижимом 20, что предохраняет распайку кабеля на плате нормирующего преобразователя. Выходящий из ПЛП конец кабеля проходит через ниппель 21, зафиксированный прижимом 22 на крышке 23 кожуха 24.

Фотоэлектрический индикатор можно построить и на основе позиционно-чувствительного приемника мультискан.

Линейный многоэлементный фотоприемник мультискан предназначен для электрических измерений пространственных характеристик оптического излучения. Мультискан включает в себя линейку 2 фотоприёмных элементов (фотодиодов) и систему обрамления (резистивный слой), обеспечивающую предварительную обработку изображения (рис. 3 a), [1, 2].

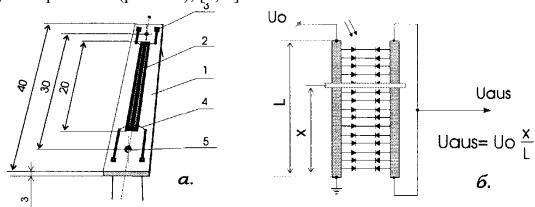


Рис. 3. Общий вид фотоприемника мультискан, а – конструктивные параметры, б – схема формирования выходного сигнала

В случае использования в индикаторе мультискан работает в режиме координатоуказателя, т.е. с фотоприемника снимается аналоговый сигнал — напряжение, пропорциональное расстоянию от светового пятна до какого-либо из контактов 3 или 4 (рис. 3).

В режиме координатоуказателя на один из делительных слоев мультискана подается опорное напряжение, а с другого снимается напряжение сигнала, пропорциональное координате светового пятна на мультискане [3, 4], (рис. 3 б)

$$U_{aus} = U_{\mathbf{o}} \cdot \frac{x}{L}$$

где U_{aus} - выходное напряжение, снимаемое с мультискана, x – расстояние от

- 2. Обоснование необходимости введения в конструкцию несущего устройства оптической детали УЮП.
- 3. Выбор числа, вида, места положения и ориентации УЮП относительно рабочего элемента оптической детали.
- 4. Выбор вида органа управления движением подвижной цепи УЮП.
- 5. Выбор схемы подвижной цепи УЮП. Составление структурной и функциональной схем этой цепи.
- 6. Определение необходимой чувствительности и выбор схемных параметров УЮП.
- 7. Расчет необходимого рабочего диапазона юстировочных подвижек.
- 8. Выбор конструкций кинематических пар с зазоровыбирающими устройствами.
- 9. Разработка конструкции устройства для фиксации УЮП после завершения юстировки оптической детали.
- 10. Разработка конструкции сборочного чертежа несущего устройства оптической детали с УЮП.
 - 11. Выпуск рабочих чертежей несущего устройства.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

- 1. Функциональная схема подвижной цепи УЮП с включением при необходимости преобразовательных элементов, образованных перемещаемыми оптическими деталями. Схемные параметры. Кинематические параметры.
- 2. Структурная схема подвижной цепи УЮП оптической детали. Преобразовательные элементы подвижной цепи УЮП. Функции преобразования и чувствительности преобразовательных элементов. Формула для расчета чувствительности подвижной цепи УЮП. Результаты измерений и анализа схемных параметров и расчет чувствительности подвижной цепи УЮП.
- 3. Основное условие для выбора схемных параметров подвижной цепи УЮП при его проектировании.
- 4. Схема установки для экспериментального определения чувствительности подвижной цепи образца УЮП. Кинематические параметры. Формула для расчета чувствительности подвижной цепи УЮП по экспериментальным данным. Результаты измерений и расчет чувствительности подвижной цепи УЮП. Оценка погрешности ее измерения.
- 5. Эскизы кинематических пар подвижной цепи УЮП (по согласованию с преподавателем).
 - 6. Решение задач.

Контрольные вопросы и задания

- 1. В каких случаях в конструкцию несущего устройства оптической детали вводятся устройства для юстировочных подвижек и где они могут располагаться?
 - 2. Каким основным требованиям должны удовлетворять УЮП и почему?

Чувствительностью S преобразовательного элемента [1] называют производную от его функции $\alpha_i = f(\beta_i)$ преобразования по входному параметру

$$S = \frac{\Delta \alpha}{\Delta \beta}$$

Чувствительность подвижной цепи УЮП, состоящей из n последовательно соединенных преобразовательных элементов, равна произведению их чувствительностей

$$S_{1-n} = S_1 \cdot S_2 \cdot \cdot S_n$$

где n - число преобразовательных элементов в цепи УЮП.

Погрешность выполнения юстировочной подвижки при помощи УЮП $\Delta \beta n \Sigma$ зависит от порогового перемещения $\Delta \alpha lp$ органа управления подвижной цепи УЮП и погрешностей самой цепи $\Delta \beta nc$

$$\Delta \beta n \Sigma = \Delta \beta n \Delta \alpha l p + \Delta \beta n c.$$

Пороговым перемещением органа ручного управления подвижной цепи УЮП называют такое минимальное перемещение этого органа, которое удается осуществить оператору после его трогания с места.

На погрешность выполнения юстировочных подвижек оказывает влияние только скачкообразная составляющая погрешности подвижной цепи УЮП.

Скачкообразные изменения погрешности подвижной цепи происходят в основном из-за смещений в зазорах и слоях смазки ее кинематических пар, из-за контактных и объемных деформаций деталей УЮП от скачкообразного изменения сил и моментов сопротивления движению, которые обусловлены шероховатостью поверхностей кинематических пар.

Обычно стараются уменьшить величину этих скачкообразных изменений погрешности подвижной цепи до величины в три и более раз меньшей порогового перемещения органа управления этой цепи УЮП. В этом случае погрешность юстировочной подвижки будет практически зависеть только от порогового перемещения его органа управления

$$\Delta \beta n \Sigma = \Delta \beta n \Delta \alpha l p = Sl - n \cdot \Delta \alpha l p.$$

Эмпирически установлено следующее соотношение между погрешностью юстировочного перемещения и допустимой погрешностью юстировочного перемещения

$$\Delta \beta n \Sigma \leq (1/3...1/5) \cdot \delta \beta n$$
.

Последние два соотношения позволяют найти основное условие для выбора чувствительности подвижной цепи УЮП:

$$S1-n \leq (1/3...1/5) \cdot (\delta \beta n /\Delta \alpha 1 p)$$
.

Процесс конструирования устройств для юстировочных перемещений оптической детали содержит следующие основные этапы:

1. Разработки частного технического задания на проектирование УЮП.

одного из контактов до энергетического центра падающего светового пятна, L - длина светочувствительного слоя мультискана (рабочее поле).

Рассмотрим более подробно структуру мультискана с точки зрения точностных параметров. Погрешность работы любого фотоэлектрического приемника состоит из 2 основных частей:

- погрешностей, заложенных в процессе разработки и изготовления фотоприемника (конструкторско-технологических);
- погрешностей, связанных с влиянием внешних рабочих факторов (эксплуатационных).

Так как мультискан по своей структуре является дискретным датчиком, а выходное напряжение является аналоговым сигналом, то очевидно, что точность аппроксимации положения "центра тяжести" светового пятна [1] в промежутках между дискретными диодами соседних ячеек определяется однородностью делительного слоя на малых участках R_n (рис 3 б), а общая нелинейность будет связана с нелинейностью распределения опорного напряжения U_o по опорному делительному слою , т. к. $R_n = R_{n+i}$, где (n=1,2,3,...).

Кроме того, очевидно, что при малом входном сопротивлении устройства, принимающего сигнал с мультискана, значительный вклад в нелинейность внесут сами фотодиоды, в частности, неодинаковость их чувствительности от диода к диоду внутри мультискана. Значит, в мультискан уже при разработке заложена конструкционно-технологическая погрешность Δ_k , которая состоит из следующих составляющих

$$\Delta_k = \Delta_{\kappa H} + \Delta_{\kappa \partial} + \Delta_{\kappa R}$$

где Δ_{κ_H} - погрешность от неоднородности делительных слоев, $\Delta_{\kappa\partial}$ - погрешность от неодинаковости фотодиодов, Δ_{kR} - погрешность от неодинаковости расстояний между фотодиодами.

Очевидно, что достичь равенства $R_n = R_{n+1}$ и равенства расстояний S_n между соседними диодами $S_n = S_{n+i}$, где (n=1, 2, 3, ...) невозможно и значит $\Delta_k \neq 0$ и ее величина зависит от технологии изготовления мультискана.

На точность работы мультискана будут влиять также климатические факторы, в частности, основные из них - влажность и температура.

Мультискан имеет очень малые выходные токи (порядка 10 нА-10 мкА) и при повышенной влажности возможно возникновение ложных токов утечки, складывающиеся с рабочим сигналом и вносящие значительную погрешность в работу мультискана (конструктивно мультискан не герметизирован). Изменение же температуры в процессе работы мультискана приведет к следующему:

- 1) изменению рабочей длины кристалла 2 и подложки 1 (см. рис. 3 а);
- 2) изменению фоточувствительности диодов;
- 3) изменению положения мультискана относительно рабочего светового пятна. Кроме этого на работу мультискана влияют :
- 1) нестабильность опорного напряжения U_o ;
- 2) случайные, нерабочие засветки;

3) сильные электромагнитные поля и т.д.

Таким образом, комбинация влияний из всех выше перечисленных факторов приведет к некоторой суммарной погрешности мультискана.

В ряде случаев (автоматическое регулирование, прицеливание) характеристика точности должна отражать в первую очередь стабильность, повторяемость, сходимость, т. е. близость друг к другу результатов повторного функционирования прибора по одному и тому же объекту, выполняемому в одинаковых условиях.

Такой характеристикой может служить погрешность стабильности (повторяемости, воспроизводимости) [5] результатов функционирования — разность значений i-х информативных параметров выходного сигнала прибора, соответствующих одному и тому же значению i-го информативного параметра объекта, при повторных циклах функционирования

$$\Delta y_{iksp} = y_{ik} + y_{is},$$

где y_{ik} и y_{is} - значения информативного параметра выходного сигнала при k-м и s-м циклах повторного функционирования.

Наиболее полной характеристикой точности является погрешность результата процесса функционирования — разность между изменением i-го информативного параметра выходного сигнала прибора y_{tu} и его расчетным (номинальным) изменением y_{tuo} , соответствующих одному и тому же изменению i-го информативного параметра объекта x_{iuo}

$$\Delta y_{ipn\phi} = y_{iu} - y_{iuo}$$
.

Функциональная схема устройства индикатора на основе мультискана приведена на рис. 4.

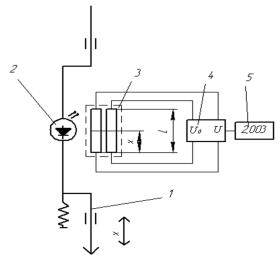


Рис. 4. Функциональная схема индикатора,

1 — измерительный шток, 2 — светодиод, 3 — мультискан, 4 — блок питания и электроники, 5 — цифровой дисплей.

Во-вторых, если НУ обеспечивает требуемую точность ориентирования рабочего элемента оптической детали при изготовлении деталей НУ на пределе технологических возможностей производства, но его изготовление экономически невыгодно.

В-третьих, если при помощи действенных подвижек [8,] рабочего элемента оптической детали компенсируют погрешности оптической системы от погрешностей ориентирования других ее деталей.

Устройством для юстировочных подвижек (УЮП) будем называть часть конструкции несущего устройства оптической детали при помощи, которой осуществляются требуемые действенные подвижки этой детали.

В обоснованных случаях конструкция несущего устройства оптической детали может иметь несколько УЮП для различных подвижек. УЮП могут располагаться в следующих местах несущего устройства оптической детали [6]:

- 1. Между оптической деталью и ее оправой или корпусом прибора, если оптическая деталь сразу соединяется с корпусом прибора;
 - 2. Между оправой оптической детали и корпусом прибора;
- 3. Между оправой оптической детали и дополнительной деталью, специально введенной в конструкцию несущего устройства оптической детали для размещения УЮП.

К УЮП предъявляются следующие основные специфические требования:

- 1. Обоснованность введения УЮП в конструкцию несущего устройства оптической детали;
 - 2. Достаточность чувствительности подвижной цепи УЮП;
- 3. Независимость действия юстировочных подвижек, осуществляемых при помощи УЮП;
- 4. Отсутствие в подвижной цепи УЮП мертвого хода и скачков в ее функции преобразования;
 - 5. Возможность надежной фиксации положения оптической детали после окончания юстировочных подвижек. При этом не должно происходить дополнительных подвижек оптической детали в процессе этой фиксации;
 - 6. Требуемый диапазон работы устройства;
 - 7. Эргономичность управления подвижной цепью УЮП.
 - В качестве органа управления подвижной цепью УЮП могут быть использованы:
 - 1. Отвертка; 2. Шпилька; 3. Ключ; 4. Маховичок; 5. Рукоятка; 6. Молоточек для постукивания; 7. Деталь УЮП.

Основные характеристики УЮП:

- 1. Вид юстировочной подвижки (линейная или угловая);
- 2. Диапазон юстировочной подвижки;
- 3. Допустимая погрешность юстировочной подвижки;
- 4. Чувствительность подвижной цепи УЮП;
- 5. Вид органа управления подвижной цепью УЮП;
- 6. Условия проведения юстировочных подвижек.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 9

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОДВИЖНЫХ ЦЕПЕЙ ЮСТИРОВОЧНЫХ УСТРОЙСТВ ОПТИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ ДЛЯ УГЛОВЫХ ПОДВИЖЕК

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью данной работы является закрепление представлений и знаний, полученных на лекционных и практических занятиях, по конструированию устройств для юстировочных подвижек (УЮП) оптических деталей, а также получение умений и навыков по следующим вопросам:

- 1. Анализ и описание структуры подвижных цепей УЮП.
- 2. Расчетная и экспериментальная оценка чувствительности подвижных цепей, как вновь создаваемых, так и готовых образцов УЮП.
- 3. Выбор схемных параметров подвижных цепей вновь создаваемых УЮП, исходя из заданного допуска на погрешность юстировки оптической детали.
- 4. Конструирование и оформление чертежей, как отдельных кинематических пар, так и всего устройства в целом.
- 5. Освоение терминологии и понятий в области конструирования подвижных цепей УЮП.
 - 6. Самостоятельная работа с литературой в данной области знаний.

МАТЕРИАЛЫ И ОБОРУДОВАНИЕ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ РАБОТЫ

- 1. Образцы несущих устройств оптических деталей, имеющие устройства для юстировочных подвижек (линейных или угловых).
 - 2. Сборочные чертежи несущих устройств оптических деталей с УЮП.
- 3. Установка для экспериментального определения чувствительности подвижной цепи УЮП.
 - 4. Методические указания по данной лабораторной работе.
- 5. Конспекты лекций и практических занятий по курсу КОП. Рекомендованная для самостоятельной работы литература.

Конструирование устройств для юстировочных подвижек оптических деталей

В конструкции несущих устройств (НУ) оптических деталей вводят устройства для юстировочных подвижек (УЮП) в следующих случаях:Во-первых, если НУ не может обеспечить требуемой точности ориентирования рабочего элемента оптической детали даже при изготовлении деталей НУ на пределе технологических возможностей производства и нет возможности компенсации погрешности другими способами

При перемещении измерительного штока 1 происходит смещение центра светового пятна, создаваемого светодиодом 2, на светочувствительной площадке мультискана 3, с которого снимается аналоговый электрический сигнал $U = U_{aus}$.

Искомое перемещение x и величина электрического сигнала связаны выражением

$$x = U_{aus} \cdot \frac{L}{U_o}$$

Внешний вид установки приведен на рис. 5.

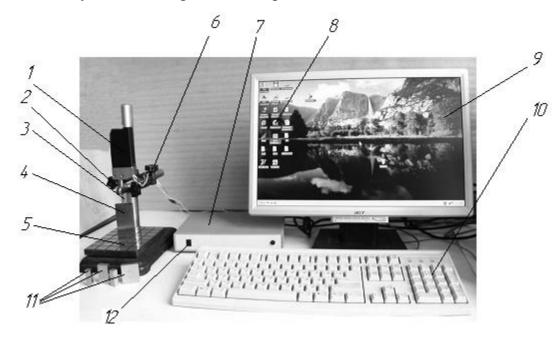


Рис. 5. Внешний вид лабораторной установки,

1 — фотоэлектрический индикатор; 2 —фиксатор вертикальной подвижки; 3 — измерительный шток индикатора; 4 — измеряемая концевая; 5 — штатив; 6 — фиксатор поворотный; 7 — блок сопряжения; 8 — пиктограмма запуска программы работы индикатора; 9 — дисплей; 10 — клавиатура; 11 — концевые меры; 12 — кнопка включения блока сопряжения.

Лабораторная установка (рис. 5) состоит из фотоэлектрического индикатора 1, закрепленного на штативе 5 соответствующими фиксаторами 2, 6, наборов концевых мер 4, 11, устанавливаемых на столик штатива поочередно. Индикатор электрическим шлейфом подключен через блок сопряжения 8 к персональному компьютеру, имеющим в своем составе дисплей 9 и клавиатуру 10. При включении питания на системном блоке компьютера и блоке сопряжения (кнопка 12) на экране дисплея можно запустить программу 8 («Multiscan.exe»)для индикации отсчетов индикатора на экране.

Вид интерфейса программы приведен на рис. 6.

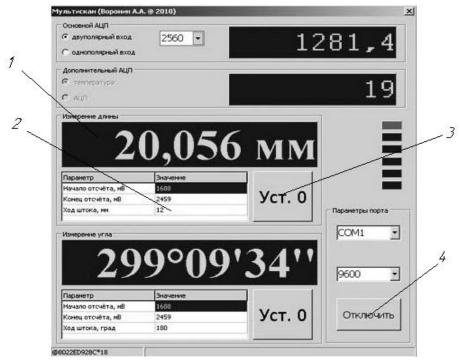


Рис. 6. Интерфейс программы,

1 – текущий отсчет; 2 – возможное перемещение измерительного штока; 3 – кнопка обнуления отсчета индикатора; 4 – кнопка подключения отключения порта.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

- 1. Внимательно изучить настоящее описание лабораторной работы.
- 2. Включить в сеть персональный компьютер, дождаться загрузки операционной системы и запустить программу работы с индикатором, кликнув мышкой по пиктограмме с именем «Multiscan.exe». Включить питание (кнопка 12) на блоке 7 (рис. 5). Вид интерфейса программы приведен на рис. 6.
- 3. Для дальнейшей работы индикатора необходимо подключить порт для приема информации с индикатора, нажав кнопку «Подключить» (поз. 4).
- 4. Провести измерения стабильности при многократных измерениях. Число измерений и размер концевой меры определяет преподаватель.
- 5. Измерить точность функционирования индикатора, проведя измерения для концевых мер размером 2, 4, 6 и 8 мм. Каждое измерения проводится не менее 10-ти раз. (Задание уточнить у преподавателя).
- 6. По результатам выполнения пункта 5.4. построить полигон рассеяния.

50

- 7. По результатам выполнения пункта 5.5. построить график изменения погрешности индикатора.
- 8. По результатам работы составить отчет, который должен содержать следующее: цель работы; сведения о назначении и устройстве

Метод Крамера поддаётся простой автоматизации. Далее приведен текст модуля на языке Delphi, в котором описывается процедура нахождения коэффициентов A0, $A1\ u\ A2$ для нахождения квадратичной теоретической зависимости по массиву дискретных точек (рис. 2.).

```
unit Matrix;
interface
// Единственная процедура в модуле - поиск коэффициентов A0=c , A1=b и A2=a
// для квадратичной зависимости y=a*x*x+b*x+c
// х и у - массивы, содержащие аргументы и значения эмпирически полученных данных
// n - количество точек
Procedure GetCoeffs(x,y : array of real; n : integer; var A0, A1, A2 : real);
Type Matrix3x3 = array [0..2,0..2] of real; // Тип данных - матрица 3x3 для поиска определителей
 // Вспомогательная функция - поиск определителя матрицы размером 3х3 элементов
Function Det(M : Matrix3x3) : real;
 {\tt Result:=M[0,0]*M[1,1]*M[2,2]+M[1,0]*M[2,1]*M[0,2]+M[0,1]*M[1,2]*M[2,0]}
         -M[2,0]*M[1,1]*M[0,2]-M[1,0]*M[0,1]*M[2,2]-M[0,0]*M[1,2]*M[2,1];
Procedure GetCoeffs(x,y : array of real; n : integer; var AO, A1, A2 : real);
Var K : array[1..8] of real; // Массив коэффициентов системы уравнений
   D. DX, DY, DZ : real; // Определители
   i : integer;
                             // Вспомогательная переменная - счётчик для организации цикла
                             // и индексации значений в массиве
   x2 : real:
                             // Вспомогательная переменная - значение х*х
   M : Matrix3x3:
                             // Матрица, заполняемая коэффициентами, предназначенная для поиска определителей
for I := 1 to 8 do K[I]:=0; // Очищаются значения коэффициентов
K[5]:=n; // Один из коэффициентов системы уравнений известен сразу
for I := 0 to n - 1 do // Остальные вычисляются в виде сумы
 Begin
 x2:=x[I]*x[I];
 K[1]:=K[1]+x2*x2;
 K[2] := K[2] + x[1] * x2;
 K[3]:=K[3]+x2;
 K[4] := K[4] + x[I];
 K[6] := K[6] + y[I] *x2;
 K[7] := K[7] + y[I] * x[I];
 K[8]:=K[8]+y[I];
 / Заполняется матрица для поиска определителя, указываемого в знаменателе формул Крамера
M[0,0]:=K[1]; M[1,0]:=K[2]; M[2,0]:=K[3];
M[0,1]:=K[2]; M[1,1]:=K[3]; M[2,1]:=K[4];
M[0,2]:=K[3] ; M[1,2]:=K[4] ; M[2,2]:=K[5] ;
D:=Det(M); // Вычисляется определитель
// Заполняется матрица для поиска определителя, указываемого в числителе коэффициента "a"
M[0,0]:=K[6]; M[1,0]:=K[2]; M[2,0]:=K[3];
M[0,1]:=K[7]; M[1,1]:=K[3]; M[2,1]:=K[4];
M[0,2]:=K[8] ; M[1,2]:=K[4] ; M[2,2]:=K[5] ;
DX:=Det(M); // Вычисляется определитель
// Заполняется матрица для поиска определителя, указываемого в числителе коэффициента "b"
M[0,0]:=K[1] ; M[1,0]:=K[6] ; M[2,0]:=K[3] ;
M[0,1]:=K[2]; M[1,1]:=K[7]; M[2,1]:=K[4];
M[0,2]:=K[3] ; M[1,2]:=K[8] ; M[2,2]:=K[5] ;
DY:=Det(M); // Вычисляется определитель
// Заполняется матрица для поиска определителя, указываемого в числителе коэффициента "с"
M[0,0]:=K[1] ; M[1,0]:=K[2] ; M[2,0]:=K[6] ;
M[0,1]:=K[2]; M[1,1]:=K[3]; M[2,1]:=K[7];
M[0,2]:=K[3]; M[1,2]:=K[4]; M[2,2]:=K[8];
DZ:=Det(M); // Вычисляется определитель
// Вычисляются значения коэффициентов квадратичной зависимости
A2:=DX/D;
A1:=DY/D:
A0:=DZ/D:
End:
```

Рис. 2. Фрагмент программы вычисления коэффициентов

63

К1..К8(строка 13 таблицы) коэффициенты системы уравнений

$$\begin{cases} a \cdot K1 + b \cdot K2 + c \cdot K3 = K6 \\ a \cdot K2 + b \cdot K3 + c \cdot K4 = K7 \\ a \cdot K3 + b \cdot K4 + c \cdot K5 = K8 \end{cases}$$

Далее вычислим определители для решения системы по методу Крамера:

$$D = \begin{array}{|c|c|c|c|c|c|c|c|} \hline K1 & K2 & K3 \\ \hline K2 & K3 & K4 \\ \hline K3 & K4 & K5 \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|c|c|c|c|} \hline 2,533 & 3,025 & 3,850 \\ \hline 3,025 & 3,850 & 5,500 \\ \hline 3,850 & 5,500 & 10,000 \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|c|c|c|} \hline 0,436 \\ \hline \end{array} \\ \hline D_a = \begin{array}{|c|c|c|c|} \hline K6 & K2 & K3 \\ \hline K7 & K3 & K4 \\ \hline K8 & K4 & K5 \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|c|c|} \hline 7,400 & 3,025 & 3,850 \\ \hline 10,829 & 3,850 & 5,500 \\ \hline 20,335 & 5,500 & 10,000 \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|c|c|} \hline -0,316 \\ \hline \end{array} \\ \hline D_b = \begin{array}{|c|c|c|} \hline K1 & K6 & K3 \\ \hline K2 & K7 & K4 \\ \hline K3 & K8 & K5 \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|c|c|} \hline 2,533 & 7,400 & 3,850 \\ \hline 3,025 & 10,829 & 5,500 \\ \hline 3,850 & 20,335 & 10,000 \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|c|c|} \hline 0,160 \\ \hline \end{array} \\ \hline D_c = \begin{array}{|c|c|c|} \hline K1 & K2 & K6 \\ \hline K2 & K3 & K7 \\ \hline K3 & K4 & K8 \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|c|c|} \hline 2,533 & 3,025 & 7,400 \\ \hline 3,025 & 3,850 & 10,829 \\ \hline 3,850 & 5,500 & 20,335 \\ \hline 3,850 & 5,500 & 20,335 \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|c|c|} \hline 0,919 \\ \hline \end{array}$$

Вычислив определители, находим сами коэффициенты

Для наглядности построим эмпирические значения и теоретическую зависимость в одной системе координат

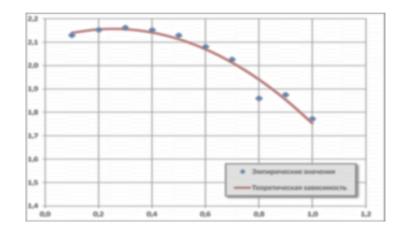


Рис. 1. Кривые вычисляемых зависимостей

фотоэлектрического индикатора; его основные отличия от индикатора ЛИР; краткий принцип работы индикатора на основе фотоприемника мультискан; результаты измерений; графики.

ВОПРОСЫ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К РАБОТЕ

- 1. Объяснить принцип действия преобразователя линейных перемещений с фотоприемником мультискан.
- 2. Дать определение погрешности прибора.
- 3. Объяснить методику измерения погрешности функционирования индикатора.
- 4. Объяснить методику определения стабильности индикатора.

ЛИТЕРАТУРА

- 1. ЗАО «ТЕХНОЭКСАН» Каталог продукции (позиционно-чувствительный приёмник «Мультискан») [Электронный ресурс]/ ЗАО «ТЕХНОЭКСАН»-режим доступа: www.technoexan.ru.
- 2. Датчики перемещения СКБ ИС ЛИР-14 (Инкрементный преобразователь линейных перемещений) [Электронный ресурс]/ Датчики перемещения СКБ ИС режим доступа: www.skbis.ru.
- 3. Подласкин Б. Г., Дич Л. З., Токранова Н. А. Экспериментальное исследование параметров фотоприемников "мультискан" в режиме координатоуказателя. // Письма в ЖТФ, 1994, т. 20, вып .2, 6 стр.
- 4. Латыев С.М., Дич Л.З., Кириков С.О. Применение фотоприемника «мультискан» в приборах для измерения геометрических параметров. // Оптический журнал, 1995, №8.
- 5. Латыев С. М. Конструирование точных (оптических) приборов. СПб, Политехника, 2007, 579 с.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 8

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ПОЗИЦИОННО-ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ДАТЧИКА ЛИНЕЙНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ НА БАЗЕ ПЗС-ЛИНЕЙКИ

ШЕЛЬ РАБОТЫ

Ознакомить студентов с одним из вариантов применения ПЗС-линеек — в качестве позиционно-чувствительного датчика; показать возможности обеспечения и повышения точности функционирования датчиков линейных перемещений на основе моделирования работы датчиков с различными размерами фоточувствительных элементов.

ПЕРЕЧЕНЬ ОБОРУДОВАНИЯ

- 1. Датчик линейных перемещений, построенный на базе фотоприёмника Toshiba TCD 1304.
- 2. Персональный компьютер семейства Pentium.
- 3. Меры длины, концевые плоскопараллельные, набор №1, класс точности 2 ГОСТ 9038-73.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАБОТЫ

- 1. Ознакомиться с конструкцией, принципом действия и одним из вариантов применения фотоприёмника.
 - 2. Изучить принцип действия датчика линейных перемещений.
- 3. Создать или доработать программное обеспечение в части интерфейса пользователя и расширения функциональных возможностей, которые позволят смоделировать и сохранить результаты работы датчика с различным размером фоточувствительных элементов.
- 4. Исследовать методы повышения точности функционирования и быстродействия датчика линейных перемещений.
 - 5. Составить отчет по работе.

$$\begin{cases} a \cdot \sum_{i=1}^{n} x_{i}^{4} + b \cdot \sum_{i=1}^{n} x_{i}^{3} + c \cdot \sum_{i=1}^{n} x_{i}^{2} - \sum_{i=1}^{n} (x_{i}^{2} \cdot y_{i}) = 0 \\ a \cdot \sum_{i=1}^{n} x_{i}^{3} + b \cdot \sum_{i=1}^{n} x_{i}^{2} + c \cdot \sum_{i=1}^{n} x_{i} - \sum_{i=1}^{n} (x_{i} \cdot y_{i}) = 0 \\ a \cdot \sum_{i=1}^{n} x_{i}^{2} + b \cdot \sum_{i=1}^{n} x_{i} + c \cdot n - \sum_{i=1}^{n} y_{i} = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} a \cdot \sum_{i=1}^{n} x_{i}^{4} + b \cdot \sum_{i=1}^{n} x_{i}^{3} + c \cdot \sum_{i=1}^{n} x_{i}^{2} = \sum_{i=1}^{n} (x_{i}^{2} \cdot y_{i}) \\ a \cdot \sum_{i=1}^{n} x_{i}^{3} + b \cdot \sum_{i=1}^{n} x_{i}^{2} + c \cdot \sum_{i=1}^{n} x_{i} = \sum_{i=1}^{n} (x_{i} \cdot y_{i}) \\ a \cdot \sum_{i=1}^{n} x_{i}^{2} + b \cdot \sum_{i=1}^{n} x_{i} + c \cdot n = \sum_{i=1}^{n} y_{i} \end{cases}$$

Получена система из трёх уравнений с тремя неизвестными. В результате её решения (например, по методу Крамера) будут получены коэффициенты для искомой квадратичной теоретической функции.

Для поиска теоретической квадратичной зависимости можно воспользоваться программой MS Excel. Для начала занесём в таблицу эмпирически полученные величины x, y и номер i (соответственно, столбцы 2, 3 и 1).

Эмпирические величины коэффициентов

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	i	X	y	\mathbf{x}^4	\mathbf{x}^3	\mathbf{x}^2	$y \cdot x^2$	y·x	Y
2	1	0,100	2,130	0,000	0,001	0,010	0,021	0,213	2,140
3	2	0,200	2,153	0,002	0,008	0,040	0,086	0,431	2,155
4	3	0,300	2,161	0,008	0,027	0,090	0,194	0,648	2,156
5	4	0,400	2,151	0,026	0,064	0,160	0,344	0,860	2,142
6	5	0,500	2,128	0,063	0,125	0,250	0,532	1,064	2,113
7	6	0,600	2,080	0,130	0,216	0,360	0,749	1,248	2,070
8	7	0,700	2,026	0,240	0,343	0,490	0,993	1,418	2,012
9	8	0,800	1,859	0,410	0,512	0,640	1,190	1,487	1,940
10	9	0,900	1,875	0,656	0,729	0,810	1,519	1,688	1,854
11	10	1,000	1,772	1,000	1,000	1,000	1,772	1,772	1,753
12	Σ	5,500	20,335	2,533	3,025	3,850	7,400	10,829	
13	K5	K4	K8	K1	K2	K3	K6	K7	

После этого необходимо вычислить значения столбцов с 4 по 8-й по формулам, написанным в строке 1, затем просуммировать значения в этих столбцах и записать их в соответствующие ячейки в строку 12. Обозначим через

$$\begin{cases} a \cdot \sum_{i=1}^{n} x_i^2 + b \cdot \sum_{i=1}^{n} x_i - \sum_{i=1}^{n} (x_i \cdot y_i) = 0 \\ a \cdot \sum_{i=1}^{n} x_i + b \cdot n - \sum_{i=1}^{n} y_i = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} a \cdot \sum_{i=1}^{n} x_i^2 + b \cdot \sum_{i=1}^{n} x_i = \sum_{i=1}^{n} (x_i \cdot y_i) \\ a \cdot \sum_{i=1}^{n} x_i + b \cdot n = \sum_{i=1}^{n} y_i \end{cases}$$

В итоге получена система из двух уравнений с двумя неизвестными, решение которой приведёт к возможности записи искомой линейной функции $y=a\cdot x+b$.

Для квадратичной функции вида

$$y = a \cdot x^2 + b \cdot x + c$$

сумма наименьших квадратов отклонений примет следующее выражение

$$S = \sum_{i=1}^{n} (a \cdot x_i^2 + b \cdot x_i + c - y_i)^2$$

Значения а, b и с также находятся из следующего выражения

$$\begin{cases} S'_a = 0 \\ S'_b = 0 \\ S'_c = 0 \end{cases}$$

Выражения для частных производных по каждой из неизвестных примут следующий вид

$$\begin{split} S'_{a} &= 2 \cdot \sum_{i=1}^{n} (a \cdot x_{i}^{2} + b \cdot x_{i} + c - y_{i}) \cdot x_{i}^{2} = 2 \cdot (a \cdot \sum_{i=1}^{n} x_{i}^{4} + b \cdot \sum_{i=1}^{n} x_{i}^{3} + c \cdot \sum_{i=1}^{n} x_{i}^{2} - \sum_{i=1}^{n} (x_{i}^{2} \cdot y_{i})) \\ S'_{b} &= 2 \cdot \sum_{i=1}^{n} (a \cdot x_{i}^{2} + b \cdot x_{i} + c - y_{i}) \cdot x_{i} = 2 \cdot (a \cdot \sum_{i=1}^{n} x_{i}^{3} + b \cdot \sum_{i=1}^{n} x_{i}^{2} + c \cdot \sum_{i=1}^{n} x_{i}^{1} - \sum_{i=1}^{n} (x_{i} \cdot y_{i})) \\ S'_{c} &= 2 \cdot \sum_{i=1}^{n} (a \cdot x_{i}^{2} + b \cdot x_{i} + c - y_{i}) = 2 \cdot (a \cdot \sum_{i=1}^{n} x_{i}^{2} + b \cdot \sum_{i=1}^{n} x_{i} + c \cdot n - \sum_{i=1}^{n} y_{i}) \end{split}$$

Таким образом, систему уравнений можно записать так:

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ЭЛЕКТРОННОЙ ЧАСТИ ДАТЧИКА

В основе исследуемого в работе датчика линейных перемещений лежит фотоприёмник Toshiba TCD 1304, который представляет собой прибор с зарядовой связью, обеспечивающий возможности его применения в спектральной технике, либо в качестве датчика линейного перемещения. Внешний вид фотоприёмника приведён на рис. 1.

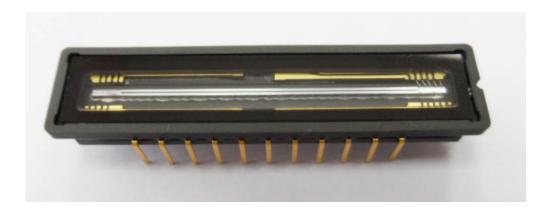


Рис. 1. Внешний вид фотоприёмника TCD 1304 Технические характеристики фотоприёмника следующие:

Количество точек	3648
Размер одной точки, мкм	8 x 200
Рабочий диапазон температур, °С	от -25 до +60
Спектральный диапазон чувствительности (для	
уровня сигнала более 20% от максимального),	от 400 до 900
HM	
Габариты, мм	41,6x9,65x3,22
Длина чувствительного слоя, мм	29,1 (8 мкм x 3648 точек)
Вес г	3.5

Как видно из характеристик, дискретность снятия отсчётов при применении линейки в качестве позиционно-чувствительного датчика составляет 8 мкм. Выход фотоприёмника – аналоговый видеосигнал, поэтому для цифровой обработки и передачи информации необходимо применение аналого-цифрового преобразователя. Существуют специализированные измерительные быстродействующие АЦП, предназначенные для обработки сигналов с ПЗСприёмников, один из таких АЦП – AD9826 (производитель – AnalogDevices). Он обладает разрядностью 16 бит и предназначен для обработки видеосигналов по трём каналам (в случае применения ПЗС-линейки используется один канал). Результаты преобразования сигнала АЦП способен помещать в буферную память, откуда впоследствии данные могут быть переданы для обработки в контроллер или на ПК. Для управления ПЗС и АЦП, а также для связи с ПК посредством порта USB,

применён контроллер LPC1754 (производитель – NXP), т.к. он обладает достаточным быстродействием и достаточным количеством портов ввода/вывода для обеспечения задач управления ПЗС и АЦП.

В качестве источника излучения применён светодиод, причём в отличие от электронной схемы для фотоприёмника Мультискан, в данной схеме не требуется стабилизация потока излучения светодиода, т.к. каждая точка фотоприёмника опрашивается последовательно и результаты опроса следуют последовательно в виде видеосигнала.

Принципиальная схема реализации позиционно-чувствительного датчика приведена на рис. 2.

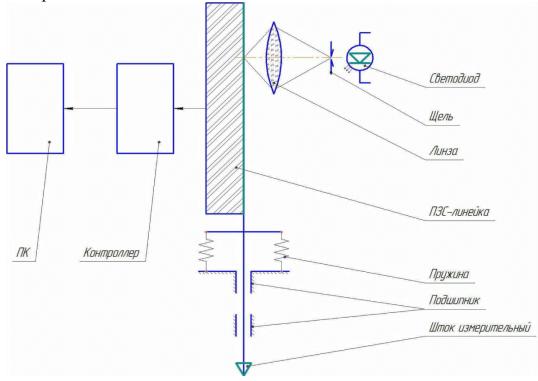


Рис. 2. Схема принципиальная датчика линейных перемещений

Шток измерительный перемещается на расстояние, которое также проходит фотоприёмник относительно изображения щели, подсвеченной светодиодом и спроецированной на фоточувствительную поверхность линзой. Сигнал с фотоприёмника поступает в контроллер, преобразуется в цифровой вид и передаётся на ПК для дальнейшей обработки.

Интерфейс программного обеспечения датчика

Внешний вид интерфейса программного обеспечения датчика приведен на рис. 3.

Кнопка «Подключить (Отключить)» используется для включения и отключения взаимодействия датчика с ПК. Кнопка «Опросить датчик» производит 54

ПРИМЕР РЕАЛИЗАЦИИ ПОИСКА КВАДРАТИЧНОЙ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЗАВИСИМОСТИ ДЛЯ ДИСКРЕТНЫХ ЗНАЧЕНИЙ.

Метод наименьших квадратов (МНК) используется для поиска такой теоретической функциональной зависимости, которая предельно близко описывает дискретно эмпирически полученные значения, а именно сумма квадратов отклонений значений теоретической зависимости и эмпирических значений минимальна. Рассмотрим реализацию метода для поиска линейной и квадратичной функциональных зависимостей.

Зная зависимость между величинами, представленными в таблице и полученными опытным путем, необходимо составить математическую зависимость (функциональную зависимость). Причем, эту зависимость необходимо составить наилучшим образом. Воспользуемся методом наименьших квадратов. Пусть опытные данные, близкие к линейной функции, записаны в таблицу:

i	1	2		n
	\mathbf{x}_1	\mathbf{X}_2		X _n
Y	\mathbf{y}_1	y ₂	•••	y _n

Подбираем $y=a\cdot x+b$ таким образом, чтобы сумма квадратов отклонений была наименьшей

$$S = (\bar{y}_1 - y_1)^2 + (\bar{y}_2 - y_2)^2 + \dots + (\bar{y}_n - y_n)^2$$

$$S = (ax_1 + b - y_1)^2 + (ax_2 + b - y_2)^2 + \dots + (ax_n + b - y_n)^2$$

$$S = \sum_{i=1}^{n} (ax_i + b - y_i)^2$$

S зависит от a и b, т.е. функция двух переменных принимает наименьшее значение в стандартной точке, которая находится из условия

$$\begin{cases} S'_{a} = 0 \\ S'_{b} = 0 \end{cases},$$

$$S'_{a} = 2 \cdot \sum_{i=1}^{n} (ax_{i} + b - y_{i}) \cdot x_{i} = 2 \cdot (a \cdot \sum_{i=1}^{n} x_{i}^{2} + b \cdot \sum_{i=1}^{n} x_{i} - \sum_{i=1}^{n} (x_{i} \cdot y_{i})) \end{cases},$$

$$S'_{b} = 2 \cdot \sum_{i=1}^{n} (ax_{i} + b - y_{i}) = 2 \cdot (a \cdot \sum_{i=1}^{n} x_{i} + b \cdot n - \sum_{i=1}^{n} y_{i})$$

ВОПРОСЫ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К РАБОТЕ И СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЁТА

- 1. Дать описание принципа работы ПЗС-линейки и устройства датчика линейных перемещений на её основе.
- 2. Перечислить основные причины возникновения погрешностей измерений в датчиках линейных перемещений.
- 3. Составить отчёт, в котором привести результаты измерений и результаты оценивания точности в виде таблицы и вывода.

однократное получение видеосигнала с датчика, его оцифровку и передачу на ПК для последующего отображения в верхнем поле окна программы в виде графика красным цветом. Кнопка «Найти вершину» запускает алгоритм поиска теоретической квадратичной зависимости для описания характера пика и поиска вершины. После подбора теоретической зависимости она отображается на графике зелёным цветом, а значение координаты вершины выводятся в поля «Позиция» и «Расстояние».

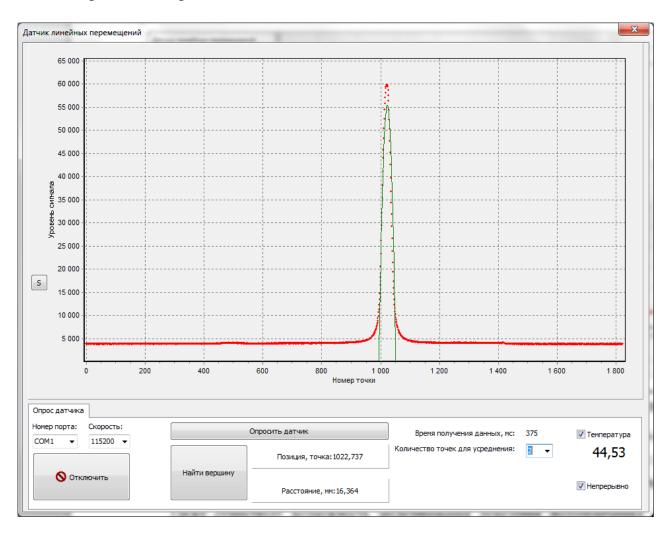


Рис. 3. Внешний вид интерфейса программного обеспечения датчика

Также существует возможность моделирования поведения фотоприёмника с меньшим количеством точек. Для этого в интерфейсе программного обеспечения предусмотрен список «Количество точек для усреднения». При выборе различных значений из данного списка будет меняться алгоритм опроса. Значения для усреднения, а также количество и размер точек моделируемого фотоприёмника приведены в табл. 1.

Табл. 1	К выбору точек усреднения

Количество точек для	Количество точек	Ширина одной точки, мкм
усреднения	фотоприёмника	TO IKH, WIKW
1	3648	8
2	1824	16
4	912	32
8	456	64
12	304	96
16	228	128
32	114	256
64	57	512

Галочка «Непрерывно» переводит программное обеспечение в режим непрерывного снятия показаний фотоприёмника и поиск вершины функциональной теоретической зависимости.

Галочка «Температура» при отмеченной галочке «Непрерывно» обеспечивает возможность контроля температуры фотоприёмника.

Информационно отображается «Время получения данных» в миллисекундах. Эта возможность демонстрирует существенную разницу во времени, которая требуется для передачи и обработки различных по размеру массивов информации.

В интерфейсе обеспечивается возможность увеличения отдельных фрагментов графиков — это позволяет рассмотреть явление, связанное с рассеянием светового пятна и шумом самого фотоприёмника. Укажите область графика, которую необходимо рассмотреть подробнее, при помощи выделения мышью. Результат выделения области приведён на рис. 4.

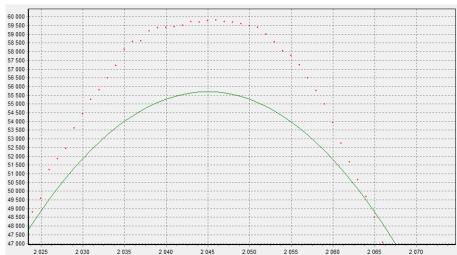


Рис. 4. Увеличенный фрагмент графиков

Из рис. 4 видно, вершина параболы, т.е. средневзвешенное значение координаты вершины находится на некотором удалении от максимального значения, что позволяет судить о смещении энергетического центра светового пятна, либо о шуме электронного тракта.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

- 1. Внимательно изучить настоящее описание лабораторной работы.
- 2. Включить в сеть персональный компьютер, дождаться загрузки операционной системы и открыть в среде программирования проект для доработки программного обеспечения.
- 3. Выяснить назначение основных элементов управления и других визуальных компонентов.
- 4. Организовать возможность записи результатов измерений в файл (показания датчика и наименование концевой меры).
- 5. Исследовать точность функционирования установки при помощи набора концевых мер. Для различного количества точек для усреднения (1, 4, 12, 32) составить и заполнить табл. 2.

Табл. 2. Результаты измерений на приборе

Величина	Результат	Результат	 Результат	Среднее	Абсолютное	Отн.
длины	измерений 1,	измере-	измере-	квадрати-	значение	погр.,
концевой	MM	ний 2, мм	ний 5, мм	ческое	погрешности	%
меры, мм				отклонение	измерений, мм	
0,1						
0,5						
•••						
15,0						

Для каждой концевой меры необходимо произвести 5 измерений, изменив условия (например, пусть разные операторы производят разные измерения), затем вычислить среднее квадратическое отклонение, а также значения абсолютной и относительной погрешностей.

6. Составить сводную табл. 3 по средним и максимальным величинами погрешностей измерений для разного количества точек для усреднения следующего вида.

Табл. 3. Сводные результаты измерений

Количество	СКО,	СКО,	Абсолютная	Абсолютная	Отн.
точек для	среднее	максимальное	погрешность,	погрешность,	погр.,
усреднения			среднее	максимальное	макс.
			значение, мм	значение, мм	знач., %
1					
4					
12					
32					