

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

КУРГАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра “Технология машиностроения”

**ИЗМЕРЕНИЕ ОТКЛОНЕНИЙ ОТ ПРЯМОЛИНЕЙНОСТИ
И ПЛОСКОСТНОСТИ ОПТИЧЕСКОЙ ЛИНЕЙКОЙ**

Методические указания

к выполнению лабораторной работы для студентов
специальности 072000 “Стандартизация и сертификация”

Курган – 2003

Кафедра технологии машиностроения

Дисциплина “Методы и средства измерений, испытаний и контроля”

Специальность 0720000 “Стандартизация и сертификация”

Составили: *доцент, канд.техн.наук* Остапчук А.К.
 доцент, канд.техн.наук Марфицын В.В.
 ассистент Губанов В.Ф.

Рекомендованы редакционно-издательским советом университета
“ _____ ” _____ 2003 года

Работа выполнена при равноценном участии авторов

ВВЕДЕНИЕ

Для измерения отклонений от прямолинейности и плоскостности рабочих поверхностей поверочных линеек, разметочных плит, плоских поверхностей, а также образующих валов широко применяют оптические линейки.

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью выполнения лабораторной работы является ознакомление с конструкцией оптической линейки ОЛ-1600, приобретение практических навыков по настройке, выполнению контрольных операций и оценке результатов контроля.

2. НАЗНАЧЕНИЕ ПРИБОРА

Оптическая линейка ОЛ-1600 предназначена для определения отклонений от прямолинейности и плоскостности рабочих поверхностей поверочных линеек типа ШП и ШМ длиной 400 мм класса точности 1 и 2, линеек типа ШП, ШД, ШМ длиной от 630 до 1600 мм всех классов точности и размеров, поверочных и разметочных плит всех классов точности и размеров; плоских поверхностей длиной от 200 до 400 мм III степени точности и грубее длиной от 1000 до 1600 мм любой точности, а также образующих валов длиной от 200 до 1600 мм с 1 по X степени точности. Поверхности длиной свыше 1600 мм поверяются шаговым методом.

Регистрирующее устройство в приборе используется для наглядного графического изображения профиля контролируемой поверхности в заданном масштабе.

3. ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИБОРА

3.1.	Пределы измеряемых отклонений поверхности от прямолинейности и плоскостности, мм	
	а) по отсчетному устройству	$\pm 0,4$
	б) при регистрации	$\pm 0,1$
3.2.	Длина контролируемого участка поверхности, мм:	
	наименьшая	200
	наибольшая	1600
3.3.	Цена деления шкалы: отсчетного устройства, мм	0,001
3.4.	Пределы допускаемой погрешности прибора, мм	$\pm (0,001 + 0,01h)$

где h — измеряемое отклонение в мм

3.5.	Размах показаний отсчетного устройства при многократной установке каретки в одну точку мкм, не более	0,8
3.6.	Размах показаний регистрирующего устройства, мкм, не более	1,0
3.7.	Масштабы регистрации:	
	вертикальный	500 : 1
	горизонтальный	1 : 1
3.8.	Габаритные размеры прибора, мм, не более	
	длина	2220
	ширина	155
	высота	370
3.9.	Масса прибора, кг, не более	
	корпуса прибора	24,5
	измерительной каретки	1,4

4. СОСТАВ ПРИБОРА И КОМПЛЕКТ ПОСТАВКИ

Кол-во, штук

4.1.	Корпус прибора	1
4.2.	Каретка измерительная	1
4.3.	Доска для записи	1
4.4.	Опора регулируемая	1
4.5.	Опора неподвижная	1
4.6.	Опора регулируемая дополнительная	1
4.7.	Опора неподвижная дополнительная	1
4.8.	Регистрирующее устройство	1
4.9.	Наконечник дополнительный (плоский)	1
4.10.	Блок питания	1
4.11.	Лампа запасная РН8-20	3
4.12.	Кисть беличья	1
4.13.	Домкрат малый	4
4.14.	Домкрат большой	2
4.15.	Салфетка фланелевая 300 X 300 мм	1
4.16.	Винт В1МЗ-6g X 12.58.046 ГОСТ 17475-80	6
4.17.	Ручки для переноски прибора	2
4.18.	Тара потребительская	2
4.19.	Тара транспортная	2
4.20.	Паспорт	1

5. УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП РАБОТЫ ПРИБОРА

5.1. Принцип действия и схема прибора

В основу работы прибора положен принцип, позволяющий измерять отклонение от прямолинейности поверяемой поверхности относительно нематериальной прямой оптической оси прибора (рис. 1).

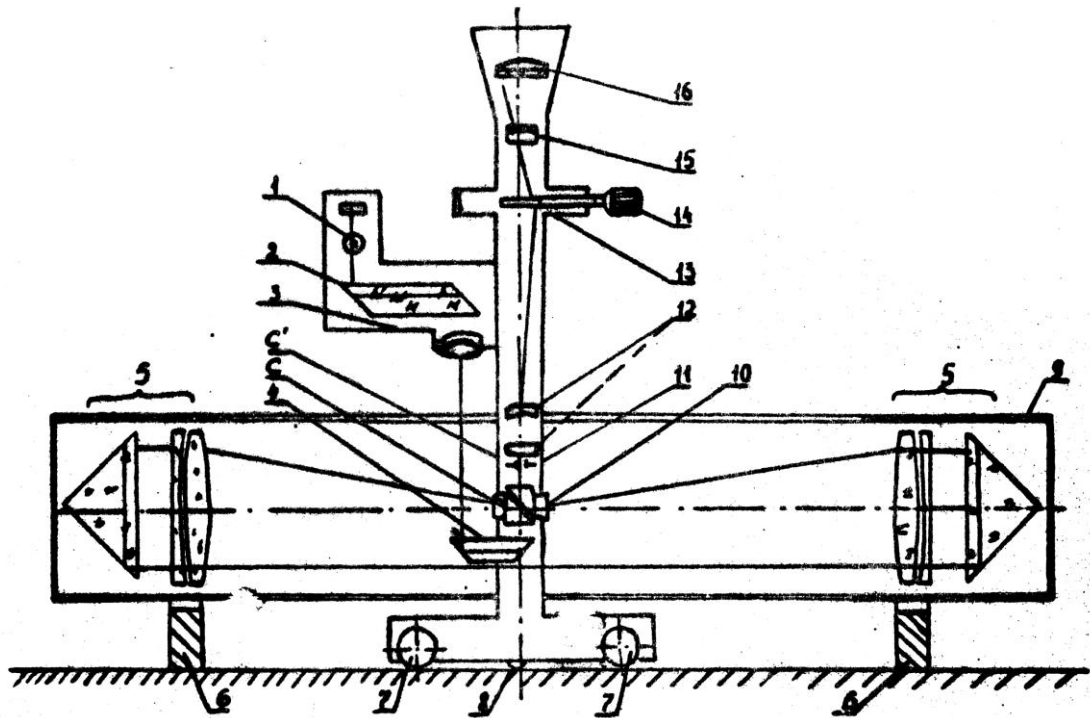


Рис. 1. Принципиальная опико-механическая схема прибора

- 1 – лампочка накаливания; 2, 3, 4, 10 – оптические элементы осветительной системы; 5 – зеркально-линзовые объективы; 6 – опоры корпуса линейки; 7 – ролики измерительной каретки; 8 – наконечник измерительной линейки; 9 – корпус линейки; 11 – полевая диафрагма; 12 – микрообъектив; 13 – сетка биссектора; 14 – винтовой микрометр; 15 – проекционный окуляр; 16 – коллектив экрана; С и С' – соответственно, визирный штрих и его изображение

Пучок лучей от лампочки 1, пройдя через призму 2, линзу 3, призму 4 и левую половину кубика 10, освещает визирный штрих С. Свет проходит, как указано стрелками, через зеркально-линзовые объективы 5 и создает изображение визирного штриха С¹ на полевой диафрагме 11. Микрообъектив 12 переносит увеличенное изображение визирного штриха С в плоскость сетки

биссектора **13**. Проекционный окуляр **15** проектирует биссектор и визирный штрих **С** в плоскость экрана, совмещенную с коллективом **16**.

Зеркально-линзовые объективы образуют автоколлимационную афокальную систему с увеличением $V = -1$. Указанная система обладает тем свойством, что расстояние вдоль оси системы между предметом **С** и его изображением C^1 постоянно и не зависит от положения предмета вдоль оси. При смещении предмета поперек оси вверх его изображение смещается на ту же величину вниз. Благодаря этим свойствам системы изображение C^1 визирного штриха **С** при движении измерительной каретки вдоль оси всегда остается резким на экране проекционного окуляра, а смещение наконечника измерительной каретки, возникающее из-за неровностей поверхности, вызывает смещение изображения визирного штриха относительно изображения биссектора. Это смещение измеряют винтовым микрометром **14**.

5.2. Описание конструкции прибора

Основным узлом прибора (рис. 2) является линейка, состоящая из корпуса **18**, соединяющего зеркально-линзовые объективы. Линейка служит только носителем оптической (нематериальной) прямой сравнения. Положение оптической прямой сравнения определяется только положением центров объективов.

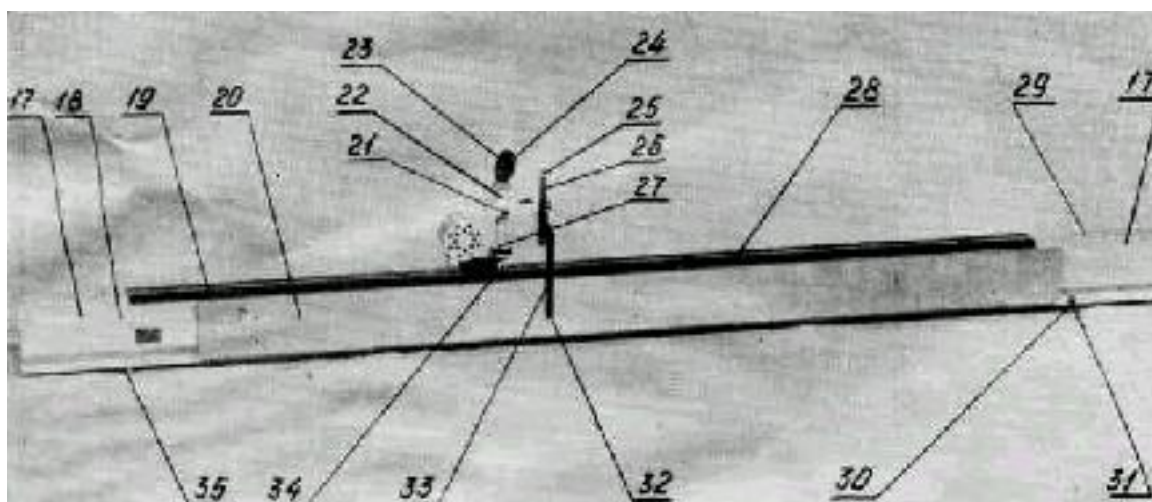


Рис. 2. Общий вид прибора

- 17** – колпаки; **18** – корпус прибора; **19** – линейная шкала прибора;
- 20** – доска для записи; **21** – винт, крепящий регистрирующее устройство;
- 22** – проекционный окуляр; **23** – экранирующая бленда; **24** – экран;
- 25** – корпус регистрирующего устройства; **26** – рейка;
- 27** – винты, крепящие верхнюю часть каретки; **28** – планки;
- 29** – винты, крепящие колпаки; **30** – регулируемая опора;
- 31** – винт регулируемой опоры; **32** – маркирующее острие;

33 – гибкая полоса; 34 – индекс каретки; 35 – неподвижная опора

Два одинаковых зеркально-линзовых объектива, установленные на концах корпуса, состоят (рис. 3) из двухкомпонентной линзовой системы 1 и 90-градусной призмы 2.

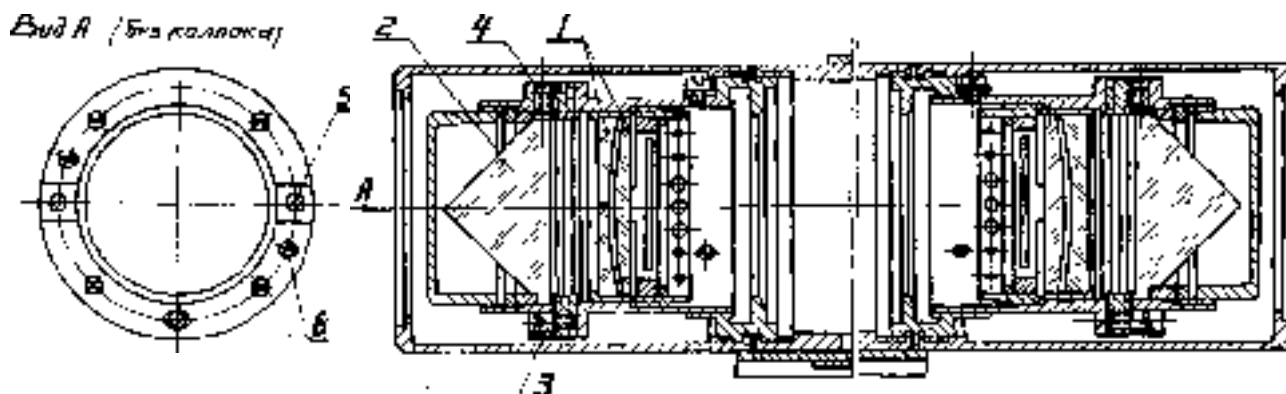


Рис. 3. Зеркально-линзовые объективы

1 – двухкомпонентный объектив; 2 – призма;
3, 4, 5 – юстированные винты; 6 – стопорный винт

Ребро прямого угла призмы 2 лежит на оптической оси линзового объектива нормально к плоскости чертежа. Объективы установлены на концах корпуса таким образом, что ребра прямых углов призм между собой параллельны и лежат в плоскости, проходящей через оптическую ось, соединяющую центры линзовых компонентов объективов. Оптические элементы корпуса защищены от повреждения колпаками 17 (рис.2).

Вдоль корпуса сделан меридиональный паз, в котором перемещается измерительная каретка. Паз ограничен планками 28 (рис. 2). На одной стороне корпуса установлена линейная шкала 19. На этой же стороне корпуса можно установить доску для записи 20 (рис. 2).

Вторым узлом прибора является измерительная каретка 22 (рис. 2), которая с помощью роликов 7 (рис. 1) перемещается по контролируемой поверхности, с последней всегда находится в контакте измерительный наконечник 8, жестко связанный с кареткой.

Измерительная каретка содержит осветительную и наблюдательно-измерительную часть прибора, но с линейкой находится только в оптической, а не в механической связи.

Осветитель (рис. 4) содержит лампу 38 типа РН-8-20. Патрон 44 с лампой 38 устанавливается во фланце 45 и может перемещаться в нем в осевом направлении и поворачиваться вокруг своей оси, затем фиксироваться в нужном положении винтом 46. Фланец 45 с помощью трех винтов 43 может перемещаться перпендикулярно оси лампы и тем самым устанавливать ее нить в нужное положение на оптическую ось осветительной системы. Для улучшения

освещенности прибора в корпусе **37** осветителя устанавливается сферический рефлектор **42** в оправе с внешней резьбой, позволяющей перемещать рефлектор в осевом направлении. В поперечном направлении рефлектор юстируется винтом **39**. Положение рефлектора фиксируется кольцом **40** и винтом **41**. Осветитель включается в сеть 220 вольт через блок питания **36**.

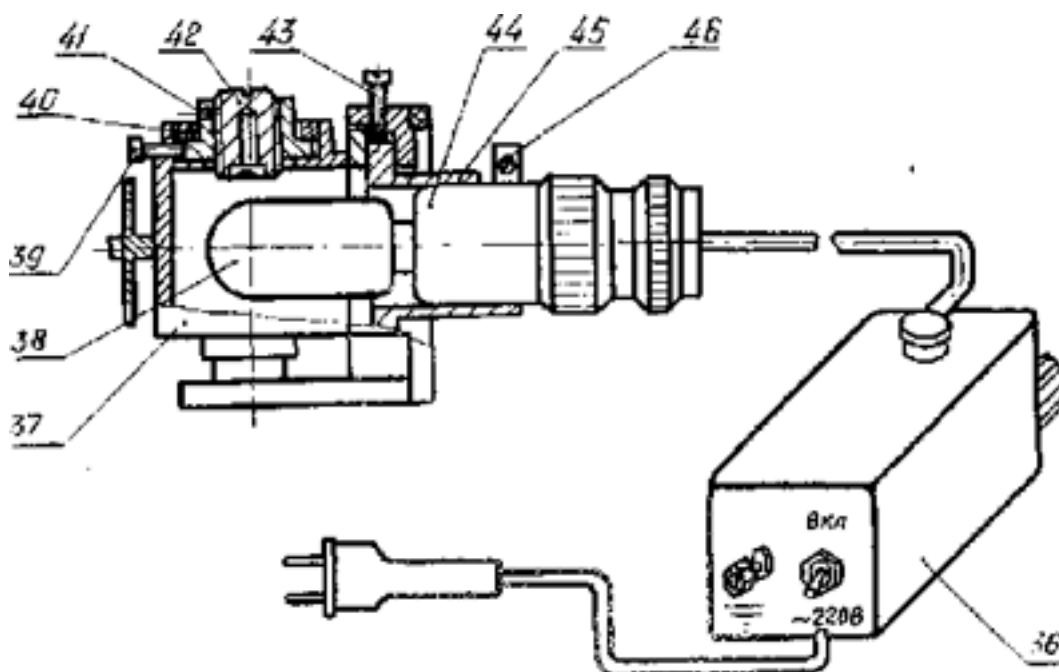


Рис. 4. Осветитель и блок питания

36 – блок питания; **37** – корпус осветителя; **38** – лампа;
39 – регулировочный винт рефлектора; **40** – кольцо;
41 – крепежный винт рефлектора; **42** – рефлектор;
43 – регулировочный винт лампы; **44** – патрон; **45** – фланец;
46 – крепежный винт патрона.

Осветитель **47** (рис. 5) устанавливается на плате **48**, несущей основные элементы осветительной системы. Плата **48** устанавливается на стопке **55**, которая является корпусом каретки, несущим ее оптические и измерительные элементы. В нижней части стойка **55** несет коромысло **51**, по концам которого на осях смонтированы ролики **52**. В центре коромысла устанавливаются сменные наконечники **50** и **53**. Сферический корундовый наконечник **53** используется при контроле шлифованных и доведенных поверхностей. Плоский самоустанавливающийся наконечник **50** используется при контроле шабренных поверхностей. В центральной части стойки устанавливаются нижняя осветительная призма **49**, центральный призмный кубик и сетка с визирным штрихом **54**. В верхней части каретки устанавливается проекционный микроскоп **58** с бинтовым окулярным микрометром.

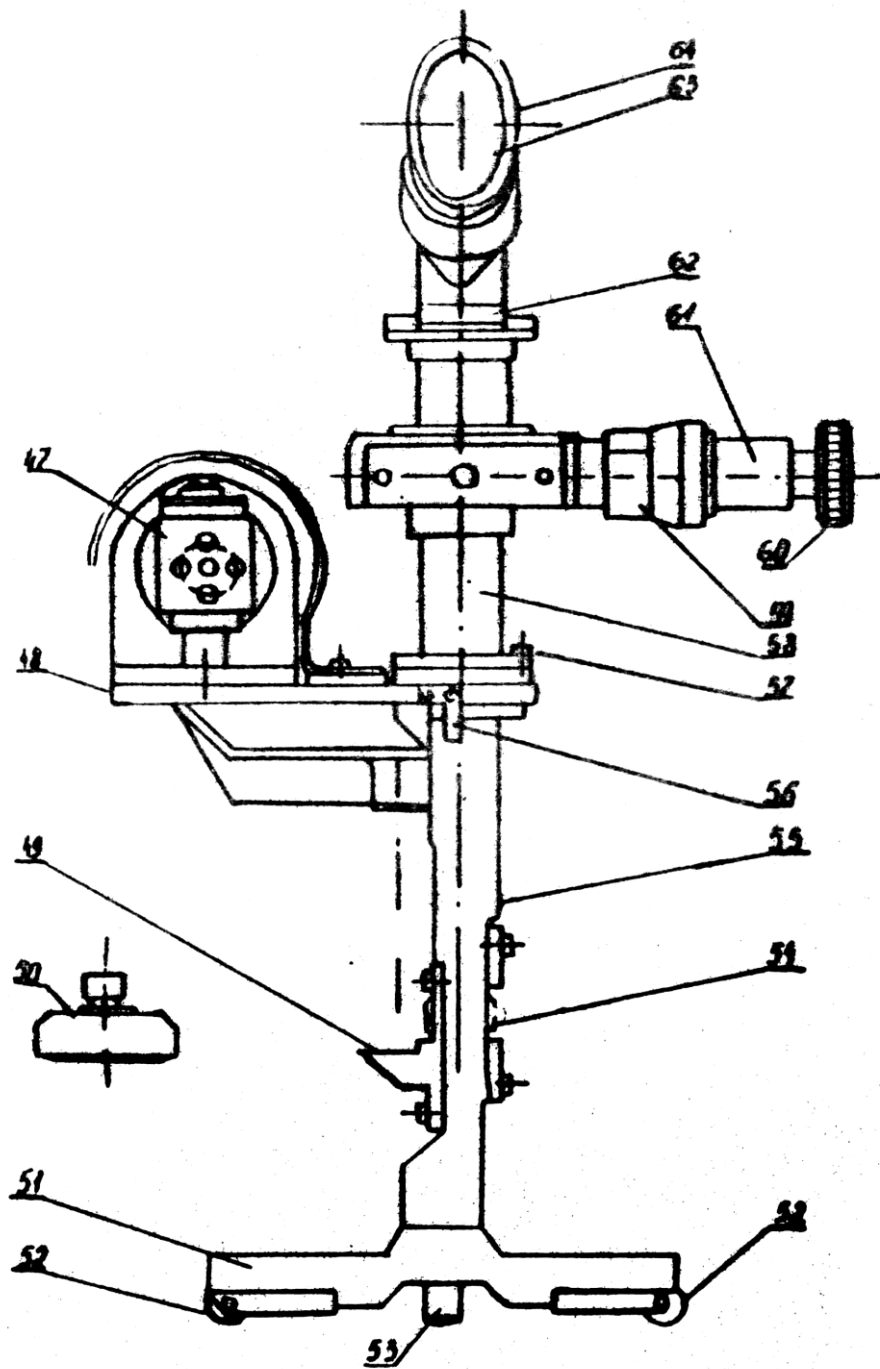


Рис. 5. Измерительная каретка

- 47 – осветитель; 48 – плата; 49 – нижняя осветительная призма;
 50 – плоский наконечник; 51 – коромысло каретки; 52 – ролики;
 53 – сферический наконечник; 54 – призмный кубик с визирным штрихом;
 55 – стойка; 56 – индекс каретки; 57 – винт, крепящий верхнюю часть каретки;
 58 – трубка; 59 – микровинт; 60 – рукоятка микровинта; 61 – шестерня;
 62 – проекционный окуляр; 63 – экран; 64 – экранирующая бленда

Микроскоп состоит из:

а) микрообъектива, заключенного в трубку и находящегося внутри корпуса каретки **55**;

б) винтового микрометра **59**, одно деление на барабане которого равно 1 мкм. Рукоятка **60** микровинта пестит шестерню **61**, которая приводит в движение регистрирующее устройство, устанавливаемое в нужных случаях на винтовом микрометре;

в) проекционного окуляра **62**, который устанавливается на крышке винтового микрометра. Наблюдение изображения визирного штриха и биссектора ведется на экране проекционного окуляра. Экранирующая бленда **64** защищает экран **63** от внешнего света и делает возможным наблюдение в светлом помещении. На каретке установлен индекс **56**, который совмещается с линейной шкалой **19** линейки (рис. 2).

Для установки линейки на контролируемую поверхность служат опоры. Одна из них неподвижная **35**, а вторая регулируемая **30**. Опоры обеспечивают трехточечную установку линейки на контролируемой плоскости. Две точки образует неподвижная опора **35**, третью точку - регулируемая опора **30**. Регулировка опоры производится винтом **31**.

Регистрирующее устройство (рис. 2) состоит из корпуса **25**, в котором перемещается репка **26**, несущая гибкую полосу **33**, снабженную в нижней своей части маркирующим острием **32**. Регистрирующее устройство устанавливается и с помощью одного винта **21** жестко фиксируется на корпусе микрометра каретки. При этом репка регистрирующего устройства сцепляется с шестерней винта микрометра, которым и управляется в процессе измерения. На доске для записи **20**, устанавливаемой на корпус линейки, крепится миллиметровая бумага.

Следует подчеркнуть, что пределы измерения при использовании регистрирующего устройства заметно меньше, нежели при простом измерении по барабану винтового микрометра.

6. МЕРЫ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РАБОТЕ С ПРИБОРОМ

Оптическая линейка ОЛ 1600 предназначена для работы в помещениях без повышенной электроопасности. Условиями, создающими повышенную опасность, являются:

- а) сырость или токопроводящая пыль;
- б) токопроводящие полы (металлические, земляные, железобетонные, кирпичные);
- в) высокая температура (свыше $+30^{\circ}\text{C}$);
- г) одновременное прикосновение работающего на оптической линейке к имеющим соединение с землей металлоконструкциям зданий, с одной стороны, и к металлическому корпусу блока питания, с другой стороны;
- д) относительная влажность более 80%.

Перед включением прибора в сеть заземлить блок питания через клемму заземления. Замену лампы в осветителе следует проводить только при отключенном питании от сети.

7. ПОДГОТОВКА ПРИБОРА К РАБОТЕ

7.1. Распаковку прибора, перенесенного из холодного помещения в теплое, проводите через 10—12 часов. Затем приступайте к осмотру; проверке комплектности согласно разделу 3 и расконсервации прибора по ГОСТ 9.014-78.

7.2. При переноске корпуса не беритесь за колпаки **17** (рис. 2), закрывающие зеркально-линзовые объективы.

Когда измерительную каретку вынимаете из ящика или устанавливаете через паз корпуса на контролируемую поверхность, беритесь за окрашенную трубку **58** (рис. 5), расположенную под корпусом микрометра. Вставляйте каретку в паз осторожно, без перекосов, чтобы не повредить оптические элементы каретки.

7.3. Перед работой протрите контролируемую поверхность. Пыль с оптических деталей прибора смахните кисточкой.

7.4. Прибор перед работой выдержите в помещении, где проводите измерения, 10—12 часов. Изменение температуры в помещении в процессе измерения должно быть не более $0,5^{\circ}\text{C}$ в течение часа.

7.5. При установке оптической линейки на поверяемую поверхность располагайте опоры линейки по краям опорных ребер корпуса, так как при таком расположении опор уменьшается влияние внешних факторов.

7.6. При контроле объектов на всей длине 1600мм и менее путем непосредственного наложения оптической линейки пользуйтесь дополнительными опорами, выполненными в виде подков, в углубления которых входит коромысло с роликами измерительной каретки. Одна регулируемая опора имеет два котировочных винта, вращение которых позволяет выставить оптическую ось линейки параллельно измеряемой поверхности.

ПРИМЕЧАНИЕ. При работе с дополнительными опорами в левом конечном положении (при переходе на другой ролик) шадить в измерения поправку, которая определяется разностью отсчетов по микрометру, полученных при опоре каретки на левый и на правый ролик.

7.7. Если длина измеряемой поверхности не превышает 800 мм или измеряемая поверхность узкая и не позволяет установить опоры линейки, то пользуйтесь домкратами, входящими в комплект прибора. Четыре малых домкрата предназначены для узких длинных поверхностей. В этом случае домкраты устанавливаются попарно по стропам измеряемой поверхности. Большие домкраты предназначены для коротких поверхностей и устанавлива-

ются по концам измеряемой поверхности. Предварительно верхние плоскости домкратов должны быть выставлены на одной высоте с поверяемой поверхностью с точностью $\pm 0,05$ мм, а затем на них устанавливаются опоры оптического линейки и измерение производится обычным способом.

7.8. Применяйте сферический наконечник при измерении доведенных и шлифованных поверхностей.

7.9. Применяйте плоский самоустанавливающийся наконечник при измерении шабренных поверхностей.

8. ПОРЯДОК РАБОТЫ ПРИБОРА

8.1. Установите оптическую линейку на опоры на измеряемую поверхность или вне ее на домкраты или специальные опоры.

8.2. Установите на измеряемую поверхность через меридиональный паз корпуса измерительную каретку.

8.3. Включите блок питания в сеть.

8.4. Включите лампу и наблюдайте в поле зрения экрана изображение визирного штриха и биссектора (рис. 6а).

8.5. Установите оптическую ось линейки параллельно измеряемой поверхности следующим образом:

- а) переместите измерительную каретку в крайнее левое положение. Рекомендуется перемещать каретку на левом ролике, слегка приподняв правый и не касаясь щупом контролируемой поверхности;
- б) наведите вращением микровинта **59** (рис. 5) биссектор на изображение визирного штриха;
- в) переместите измерительную каретку в правое крайнее положение;
- г) наведите изображение визирного штриха на биссектор вращением винта **31** (рис. 2) регулируемой опоры;
- д) переместите снова измерительную каретку в крайнее левое положение и наведите биссектор на визирный штрих вращением микровинта;
- е) повторите п.8.5в и п.8.5г, а затем п.8.5а и п.8.5б с тем, чтобы при положении измерительной каретки в крайнем левом и крайнем правом положениях изображение визирного штриха было совмещено с биссектором (рис. 6). Неточность совмещения не должна превышать 0,5 мкм.

ПРИМЕЧАНИЕ. Наводку биссектора на визирный штрих рекомендуется проводить с одной стороны.

8.6. Снимите отсчет (не менее пяти) по микрометру каретки при положении каретки в крайнем левом положении. Вычислите среднее арифметическое из пяти отсчетов (a_0).

8.7. Приступите к измерению отклонений от прямолинейности поверяемой поверхности, для чего:

- а) устанавливайте измерительную каретку через определенные интервалы вдоль всей трассы измерения, ориентируясь по шкале корпуса;

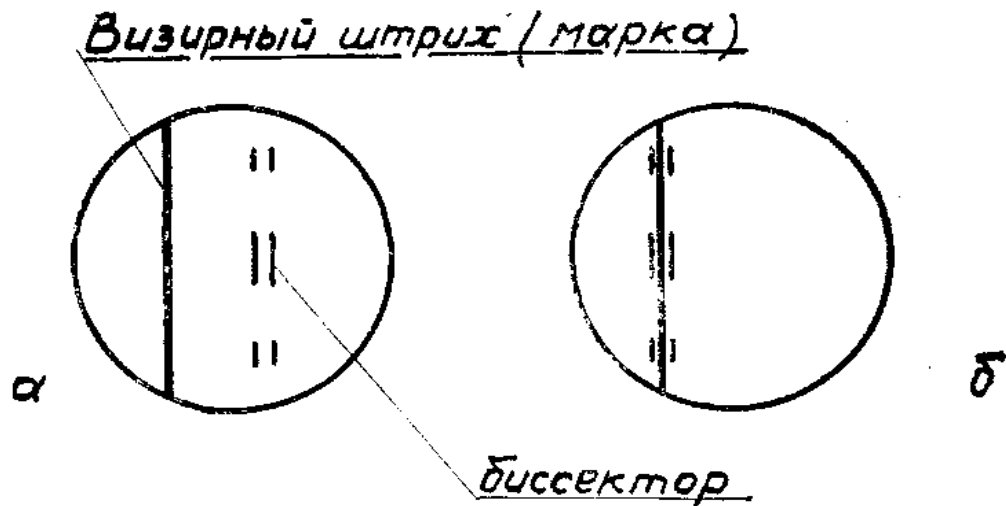


Рис. 6. Вид поля зрения

- б) при каждом положении каретки наводите биссектор на изображение визирного штриха и снимайте отсчет (не менее пяти) по барабану микрометра. Вычислите среднее арифметическое из пяти отсчетов ($a_1, a_2, a_3, \dots, a_i \dots a_k$).

Отклонение от прямолинейности $h_{изм}$ определяйте по формуле:

$$h_{изм} = (a_i - a_0) - \frac{(a_k - a_0)}{l_k} \text{ при } (a_k - a_0) \geq 0,5 \text{ мкм,} \quad (1)$$

при $(a_k - a_0) \leq 0,5$ мкм $h_{изм}$ определяйте по формуле:

$$h_{изм} = a_i - \frac{a_0 + a_k}{2}, \quad (2)$$

где a_i - среднее значение из пяти отсчетов по микрометру каретки, соответствующих установке каретки в точке i поверяемой поверхности, a_0 и a_k - средние значения из пяти отсчетов, соответствующих установке каретки в крайних точках поверяемой поверхности; l_i и l_k - расстояние между точками $o-i$ и $o-k$ соответственно.

8.8. При измерении с помощью регистрирующего устройства соблюдайте следующий порядок:

а) установите доску для записи. Для этого отверните 6 винтов на корпусе и установите доску, пользуясь винтами В1МЗ-6g x 12.58.046 ГОСТ 17475-80, входящими в комплект прибора;

б) установите регистрирующее устройство на измерительной каретке и закрепите винтом **21** (рис. 2);

в) укрепите на доске для записи миллиметровую бумагу;

г) установите оптическую ось прибора параллельно измеряемой поверхности вышеописанным способом;

д) перемещайте измерительную каретку слева направо, через определенные интервалы останавливайте ее, производите совмещение биссектора с визирным штрихом, делая при этом наколы иглой регистрирующего устройства на миллиметровой бумаге;

е) соедините точки наколов линиями для получения профилограммы измеряемой поверхности.

Помните, что вертикальный масштаб регистрации 500:1, а горизонтальный - 1:1.

9. МЕТОДИКА ПОВЕРКИ ОПТИЧЕСКИХ ЛИНЕЕК

Линейки оптические проверяются по «Методике поверки оптических линеек ИС-36М МП 4-74».

10. ХАРАКТЕРНЫЕ НЕИСПРАВНОСТИ И МЕТОДЫ ИХ УСТРАНЕНИЯ

Основные причины характерных для оптических линеек неисправностей и методы их устранения приведены в таблице 1.

11. ПРИМЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ ОПТИЧЕСКИХ ЛИНЕЕК

11.1 Измерение отклонений от прямолинейности

Линейка может применяться во всех случаях, где до сих пор использовались обычные поверочные или инструментальные линейки, при этом надежность и точность увеличиваются в несколько раз, исключается какой-либо износ и старение, а процесс измерения упрощается и ускоряется.

Прибор может применяться для аттестации прямолинейности поверочных и инструментальных линеек и плоскостности плит.

При контроле линеек, длина которых больше, чем длина оптической линейки, отклонения от прямолинейности следует определять шаговым методом. В таких случаях измерения производятся в несколько приемов N (серий). На рис. 7 изображена схема измерения оптической линейкой в две серии.

Таблица 1

№ п/п	Наименование неисправностей, внешнее проявление и дополнительные признаки	Вероятная причина	Метод устранения	Примечание
1	Поле зрения прибора не полностью заполнено светом (часть поля зрения затемнена).	Разворот концевой призмы вокруг оси.	<p>а) установить линейку на опоры на точную поверхность;</p> <p>б) отвернуть винту 29 (рис.2.) и снять колпаки, закрывающие зеркально-линзовые объективы;</p> <p>в) открепить стопорные винты 6 (рис.3.) концевых объективов;</p> <p>г) установить измерительную каретку у неподвижной опоры (крайнее левое положение);</p> <p>д) юстировочными винтами 5 (рис.3) правого объектива добиться, чтобы поле зрения было полностью заполнено светом;</p> <p>е) передвинуть измерительную каретку в правое крайнее положение (у регулируемой опоры) и наблюдать поле зрения. Если поле зрения не полностью заполнено светом, то юстировочными винтами 5 (рис.3) левого объектива добиться полного заполнения светом поля зрения.</p> <p>ж) передвинуть каретку в крайнее левое положение (п. «г») и проверить заполнение светом поля зрения. Если наблюдается срезание поля зрения, то повторить п. «д»; повторить п. «е»;</p> <p>з) передвигать измерительную каретку вдоль всей трассы и наблюдать поле зрения. Поле зрения на всей трассе движения каретки должно быть полностью заполнено светом;</p> <p>и) закрепить стопорные винты 6, залить клеем или лаком юстировочные и стопорные винты и одеть колпаки, завернув винты 29 (рис.2).</p>	<p>Работу по устранению недостатков желательно поручить опытному механику, знакомому с юстировкой оптико-механических приборов.</p> <p>В случае необходимости для исправления указанных дефектов следует вызвать представителя завода-изготовителя.</p>

1	2	3	4	5
2	Неплавный ход измерительной каретки в меридиональном пазу (заедание или большой люфт).	Деформация корпуса после транспортирования или износ корпуса каретки.	а) установить линейку на опоры на точную поверхность; б) незначительно открепить винты на верхних незаштифованных планках 28 (рис. 2), образующих меридиональный паз; в) выставить планки таким образом, чтобы на всей трассе движения измерительной каретки зазор между кареткой и планками был не более 0,1 мм; г) закрепить винты на планках.	
3	Незначительный перекося изображения визирного штриха относительно штрихов биссектора.	Ослабление винтов, крепящих верхнюю часть измерительной каретки	Открепить винты 27 (рис.2) и, наблюдая за изображением визирного штриха в поле зрения каретки, немного развернуть верхнюю часть измерительной каретки, добиваясь параллельности изображения визирного штриха штрихам биссектора.	

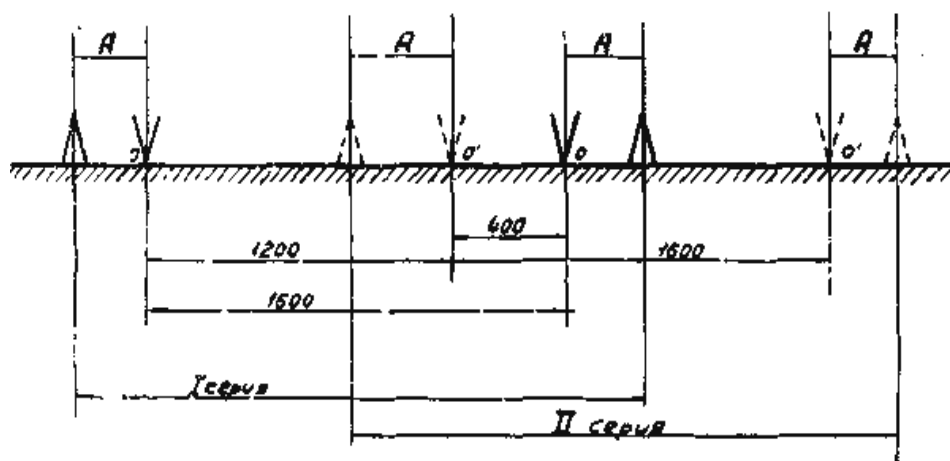


Рис. 7. Схема проверки больших протяжений с переналожением

Первая серия измерений производится обычным способом на длине $X=1600$ мм, по окончании которой против отметки шкалы прибора, например, в 1200 мм (переналожение $x_1=1/4X$) на контролируемой поверхности мелом или восковым карандашом наносится отметка той точки, от которой начинается вторая серия измерений. При перестановке оптической линейки левая неподвижная опора устанавливается от меловой засечки на расстоянии A . При этом левый ролик измерительной каретки, подведенной до упора к левой опоре, установит измерительный щуп точно в точку левой засечки.

После уже известной регулировки оптической линейки на параллельность оптической прямой сравнения с ее «нулевыми» точками производят вторую серию измерений.

Такие приемы (серии измерений) продолжаются до тех пор, пока контролируемая поверхность по всей длине не будет измерена. Сравнительно простым и точным способом измерений больших протяжений, если величина отступлений при каждой серии измерений не превышает ± 50 мкм, является метод последовательного снятия профилограмм на бумаге с переналожением $x_1=(1/8 \div 1/4)X$ по вышеописанной методике. Так как на каждой профилограмме имеются участки с одинаковой кривизной (300—400 мм), то при точном совмещении этих участков профилограммы образуют общий искомый профиль. Практически такое совмещение одинаковых участков производится наложением двух профилограмм при наблюдении, например, на свет настольной лампы. Края совмещенных профилограмм после этого склеиваются. Следует указать, что совмещение профилограмм требует большой аккуратности, так как в противном случае это повлечет за собой дополнительную погрешность при определении величины прямолинейности.

Преимущество регистрирующего устройства при измерениях в несколько серий заключается в том, что в процессе измерения не требуется определять, с каким знаком идут отсчеты (плюс или минус) от нулевой линии.

Важным обстоятельством, повышающим производительность измерения, является то, что одновременно с измерением прямолинейности строится профилограмма. Основным недостатком подобного способа заключается в том, что трудно манипулировать профилограммами значительной длины, в частности, трудно проводить общую «нулевую» для определения ординат и т. д.

Ввиду изложенного, для всех поверхностей без исключения рекомендуется графический способ построения профиля по результатам измерения серий.

Графический способ заключается в следующем: на оси абсцисс (рис. 8) откладывают в соответствующем масштабе Vr - длину контролируемой трассы $[NX-(N-1) Xs]$; затем, принимая ось абсцисс за линию, проходящую через «нулевые» точки $o'n'$, откладываем от этой линии через заданные интервалы Xo в соответствующем масштабе Vb ординаты, полученные при первой «серии» измерений, соединяя линиями точки ординат, получаем кривую профиля поверхности этого участка. Затем в последней точке (n') первой «серии» откладываем в том же масштабе Vb ординату, полученную для этой же точки во второй «серии» измерений. При этом следует помнить, что если отсчет второй «серии» измерений, относящийся к последней точке (n') первой «серии», положительный (бугор), то значение ординаты ($Y''n'$) надо откладывать от «нулевой» точки (n') вниз; если этот отсчет отрицательный (яма), то значение ординаты ($Y''n'$) надо откладывать вверх. Затем проводим через левую «нулевую» точку второй «серии» и вышеупомянутую ординату ($Y''n'$) прямой.

Очевидно, что эта прямая пройдет и через вторую «нулевую» точку второй «серии» и от нее откладываем значения ординат второй «серии» измерений, которые также соединяем линиями, образуя профиль второго участка. Теперь (рис. 8), соединив прямой первую «нулевую» точку O' первой «серии» и последнюю «нулевую» точку n' второй, получаем в принятом масштабе Vb истинные значения ординат для замеренных точек между кривой линией профиля $o'n'$ и общей «нулевой» прямой $o'n'$.

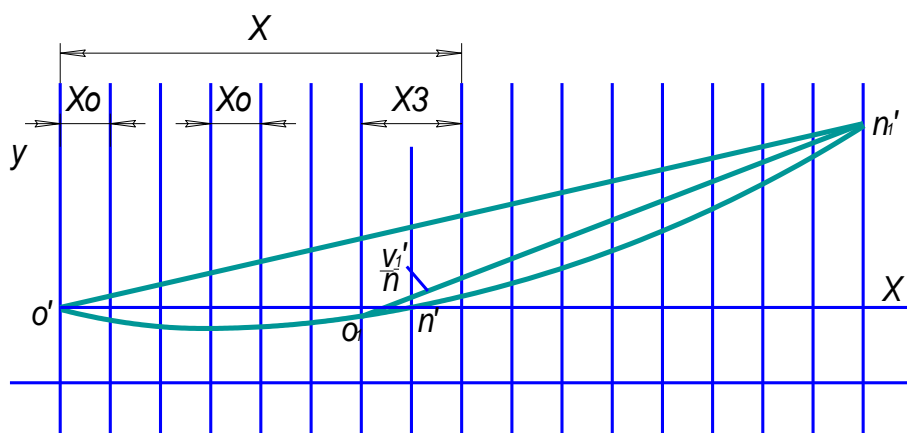


Рис. 8. Графический способ построения профиля поверхности по результатам двух серий измерения с переналожением

При контроле отклонений от прямолинейности в несколько серии в результате передвижения оптической линейки, неизбежных неточностей построения профилограммы, ошибок измерения масштабной линейкой и при проведении результирующей «нулевой» и прилегающей прямой точность измерения несколько понижается.

Предельная погрешность метода контроля оптической линейкой при измерениях в несколько серий может быть выражена следующей формулой:

$$\delta = \pm \sqrt{\delta_{np}^2 + \delta_{nn}^2 + \delta_{gp}^2 + \delta_{из}^2 + \delta_{рез}^2 + \delta_{л}^2}, \quad (3)$$

где: δ_{np} - погрешность прибора на трассе 1600 мм,

δ_{nn} - погрешность переналожения,

δ_{gp} - графическая погрешность профилограммы,

$\delta_{из}$ - ошибка измерения масштабной линейкой,

$\delta_{рез}$ - погрешность проведения результирующей,

$\delta_{л}$ - погрешность проведения прилегающей прямой.

Погрешность в отсчете максимальных отклонений от общей «нулевой» δ_{nn} , вызываемая погрешностью переналожения dy , зависит от числа переналожений N и будет равна $\delta_{nn} = \frac{dyx}{2x_s} \cdot \sqrt{N-1}$

При $x_s = 1/4X$ $N = 2$; $\delta_{nn} = 2dy = 2\delta_{np}$, которое принимаем равным ± 2 мкм.

В тех случаях, когда профилограмма строится карандашом при вертикальном масштабе 500^x (1 мм на профилограмме соответствует 2 мкм), ошибки δ_{gp} , $\delta_{рез}$, $\delta_{л}$ не превышают $\pm 0,5$ мкм каждая.

Масштабной линейкой можно производить измерения с точностью $\pm 0,5$ мм, а поэтому $\delta_{из} = \pm 0,5$ мкм, откуда $\delta = \pm \sqrt{(5\delta_{np}^2 + 1\text{мкм}^2)}$.

Так как оптическая линейка измеряет с точностью $\delta_{np} \approx \pm 1$ мкм, то $\delta = \pm 2,5$ мкм.

Пример: при проверке линейки-мостика второго класса точности по ГОСТ 8026-75 размером 3000X90 мм были получены результаты измерений в микрометрах, приведенные в таблице 2.

Таблица 2

Точки серии	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600
I	-8	-6	-11	-18	-23	-17	-21	-21	-21	-21	-24	-18	-20	-24	-7	0
II	-	+7	+10	+21	+21	+27	+27	+35	+36	+37	+34	+32	+29	+11	+11	0

Производим графическую привязку обеих серии измерений, помня, что вторая серия начиналась сточки 1400мм. Привязка осуществляется способом, упомянутым выше. По данным таблицы 2, на миллиметровой бумаге строят профилограмму (рис. 9). Обе крайние точки соединяются прямой $o'n'_1$, которая является результирующей «нулевой». Из рис. 9 видно, что наивысшая точка o'_1 , реального профиля находится на расстоянии 2700 мм от начальной точки измерения. Через точку o'_1 и точку o' , которые лежат вне материала детали,

проводим прилегающую линию $o'o'_1$, при этом расстояние наиболее удаленной точки ($n' - 2$) реального профиля от прилегающей прямой будет наибольшим.

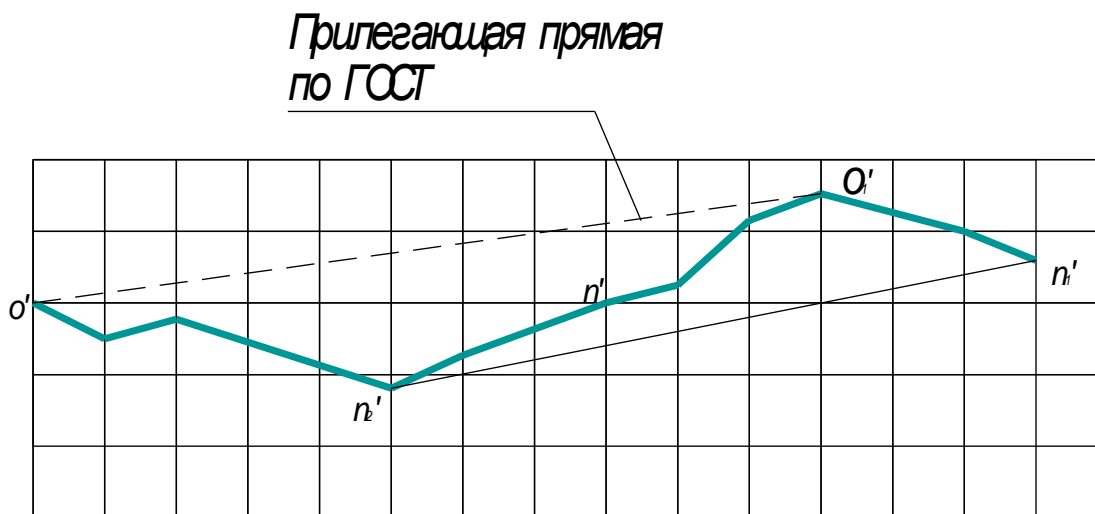


Рис. 9. Построение прилегающей на графике

11.2 Измерение отклонений от плоскостности

Оптическая линейка ОЛ-1600 может быть применена также для контроля отклонений от плоскостности. Измерение производится в соответствии с ГОСТ 8.210-76.

Прибор может быть применен в энергомашиностроении при контроле плоскостности дисков-подпятников, имеющих форму, представленную на рисунке 10. Для оценки отклонений от плоскостности поверхности подобной детали представляется целесообразно провести измерения по сторонам равносностороннего треугольника AB , BC , AC . При этом за «исходную» плоскость можно принять плоскость, проходящую через точки A , B и C , ординаты которых равны нулю. Относительно этой плоскости можно давать оценку отклонений от плоскостности диска. Дополнительные точки можно получить последовательными измерениями 2-й серии по направлениям Aa , Bb и Cc . Затем последовательными измерениями 3-й серии нормально к направлениям Aa , Bb и Cc по сечениям mm'' , nn , kk , ряд точек па которых известен, а остальные дополняются, получают полное представление о рельефе поверхности.

Следует указать, что начальные измерения дают уже хорошее представление о рельефе и позволяют судить, имеем ли мы плоскость со случайными отступлениями или, например, характерную вогнутую или выпуклую коническую поверхность.

Линейка может быть использована для контроля образующих цилиндров. В этом случае необходимо применять специальные накладные рейтеры или вышеупомянутые домкратики.

Возможен контроль V-образных направляющих. В этом случае необходимо наклонить линейку так, чтобы опорная сторона была параллельна контролируемой поверхности.

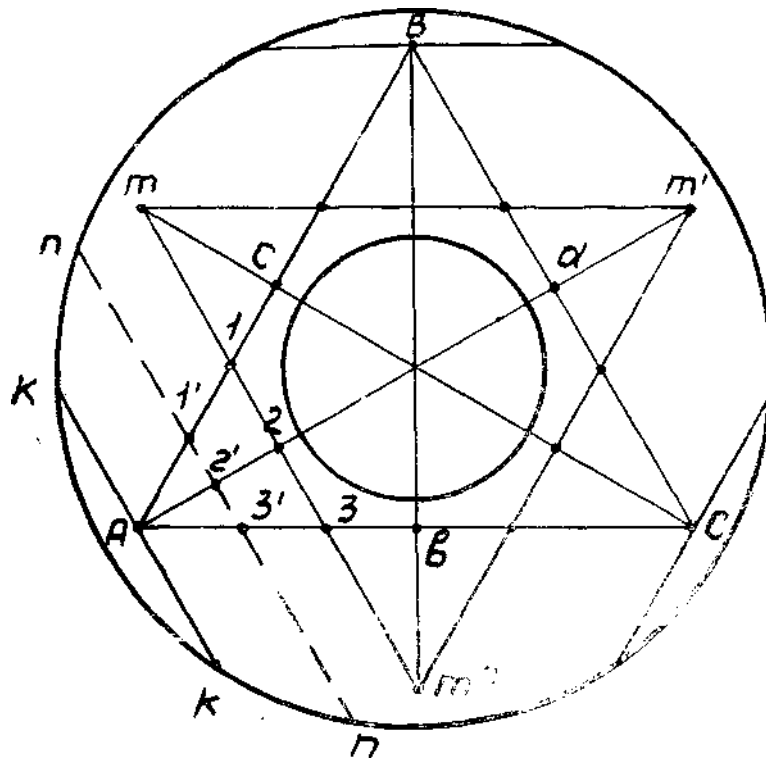


Рис. 10. Схема контроля поверхности опорных кольцевых дисков

В ряде производств, например, в станкостроении, для компенсации возникающего из-за значительных нагрузок в процессе эксплуатации крупногабаритной детали прогиба изготавливают деталь не плоской, а выполненной по соответствующей кривой с относительно малой стрелкой (сотые или десятые миллиметра). Для контроля подобных поверхностей успешно применяется оптическая линейка.

Линейку можно использовать также и для контроля точности работы направляющих токарных, строгальных, фрезерных и других станков. Если закрепить на суппорт токарного станка вместо резца пластинку, к плоскости которой можно прижимать щуп каретки при измерении, а трубу оптической линейки закрепить соответствующим образом на станине и выставить ее так, чтобы при крайних положениях суппорта измерительная каретка давала одинаковые отсчеты, то, проводя мнимую обточку изделия и измеряя положение пластины в промежуточных положениях суппорта, можно судить о точности направляющих станка.

Если корпус оптической линейки установить на станине строгального, шлифовального или фрезерного станка, а измерительную каретку закрепить в резцедержателе, то, отрегулировав, как и в предыдущем случае, линейку в крайних положениях на равенство показаний, можно оцепить точность движения стола в промежуточных положениях как при мнимой строжке или фрезеровании. Подобным же образом можно проверять другие станки.

Естественно, что в практике заводов могут быть найдены и другие многочисленные случаи применения линейки.

12. ПРИБОРЫ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ

1. Оптическая линейка
2. Вспомогательные устройства
3. Изделия для измерения

13. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

- Ознакомиться с конструкцией и паспортными данными оптической линейки.
- Изучить устройство и принцип работы, порядок работы и методики измерения.
- Выполнить измерения отклонений от прямолинейности проверяемой поверхности.
- Привести расчеты отклонений от прямолинейности по формулам (1) и (2).
- Определить отклонения от прямолинейности графическим методом.
- Оценить по точности отклонения от прямолинейности, полученные расчетным и графическим методами.

В отчете должны быть приведены следующие данные:

- *название работы;*
- *основные технические характеристики приборов;*
- *результаты измерений отклонений от прямолинейности проверяемой поверхности;*
- *расчет отклонений от прямолинейности по формулам;*
- *определение отклонений от прямолинейности графическим методом;*
- *оценка по точности отклонений по прямолинейности, полученных расчетным и графическим методами.*

14. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назначение оптической линейки.
2. Принцип измерения отклонений от прямолинейности оптической линейкой.
3. Порядок измерения отклонений от прямолинейности.
4. Как по результатам измерений рассчитать отклонения от прямолинейности?
5. Как определить отклонения от прямолинейности графическим методом?
6. Правила безопасности работы на оптической линейке.

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

1. Цель работы	
2. Назначение прибора	
3. Технические характеристики	
4. Состав прибора и комплект поставки	
5. Устройство и принцип работы	
5.1. Принцип действия и схема прибора	
5.2. Описание конструкции прибора.....	
6. Меры безопасности при работе с прибором	
7. Подготовка прибора к работе	
8. Порядок работы прибора	
9. Методика проверки оптических линеек	
10. Характерные неисправности и методы их устранения	
11. Примеры применения оптических линеек	
11.1. Измерение отклонений от прямолинейности	
11.2. Измерение отклонений от плоскостности	
12. Приборы и принадлежности	
13. Порядок выполнения работы	
14. Контрольные вопросы	

Александр Константинович Остапчук

Валерий Владимирович Марфицын

Виктор Федрович Губанов

**ИЗМЕРЕНИЕ ОТКЛОНЕНИЙ ОТ ПРЯМОЛИНЕЙНОСТИ
И ПЛОСКОСТНОСТИ ОПТИЧЕСКОЙ ЛИНЕЙКОЙ**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению лабораторной работы для студентов
специальности 072000 “Стандартизация и сертификация”

Редактор ***Н.М.Кокина***

Подписано в печать

Формат 60x84 1/16

Заказ

Усл. п. л.

Бумага тип. № 1

Уч.-изд. п. л.

Цена свободная

Издательство Курганского государственного университета

640669, г.Курган, ул.Гоголя, 25

Курганский государственный университет, ризограф