

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2014154120/28, 30.12.2014

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
30.12.2014

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 30.12.2014

(45) Опубликовано: 20.01.2016 Бюл. № 2

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: RU 147271 U1, 27.10.2014. RU 2263279
C2, 27.10.2005. JP 2010243379 A, 28.10.2010.

Адрес для переписки:

105005, Москва, ул. 2-я Бауманская, 5, стр. 1,
МГТУ им. Н.Э. Баумана, ЦЗИС, для
Барышникова Н.В., НИИРЛ

(72) Автор(ы):

Барышников Николай Васильевич (RU),
Гладышева Яна Владимировна (RU),
Животовский Илья Вадимович (RU),
Денисов Дмитрий Геннадьевич (RU),
Абдулкадыров Магомед Абдуразакович
(RU),
Патрикеев Владимир Евгеньевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования
"Московский государственный технический
университет имени Н.Э. Баумана" (МГТУ
им. Н.Э. Баумана) (RU)(54) УСТРОЙСТВО ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА ПЛОСКИХ ОПТИЧЕСКИХ
ДЕТАЛЕЙ, РАСПОЛОЖЕННЫХ ПОД УГЛОМ К ОПТИЧЕСКОЙ ОСИ

(57) Реферат:

Изобретение относится к области оптического приборостроения, а именно к интерференционным системам и методам контроля качества оптических поверхностей. Устройство для контроля качества плоских оптических деталей, расположенных под углом к оптической оси, состоит из передающего канала, включающего источник излучения, формирующий два пучка, расположенных на расстоянии друг от друга со взаимно перпендикулярными линейными состояниями поляризации, находящихся в фокальной плоскости объектива, четвертьволновую пластину, а также последовательно расположенные по ходу излучения на выходе объектива эталонную оптическую пластину, контролируемую оптическую деталь и возвратное зеркало, а также приемного канала, включающего светоделитель и после него приемник излучения, состоящий из матричного фотоприемника и линейного

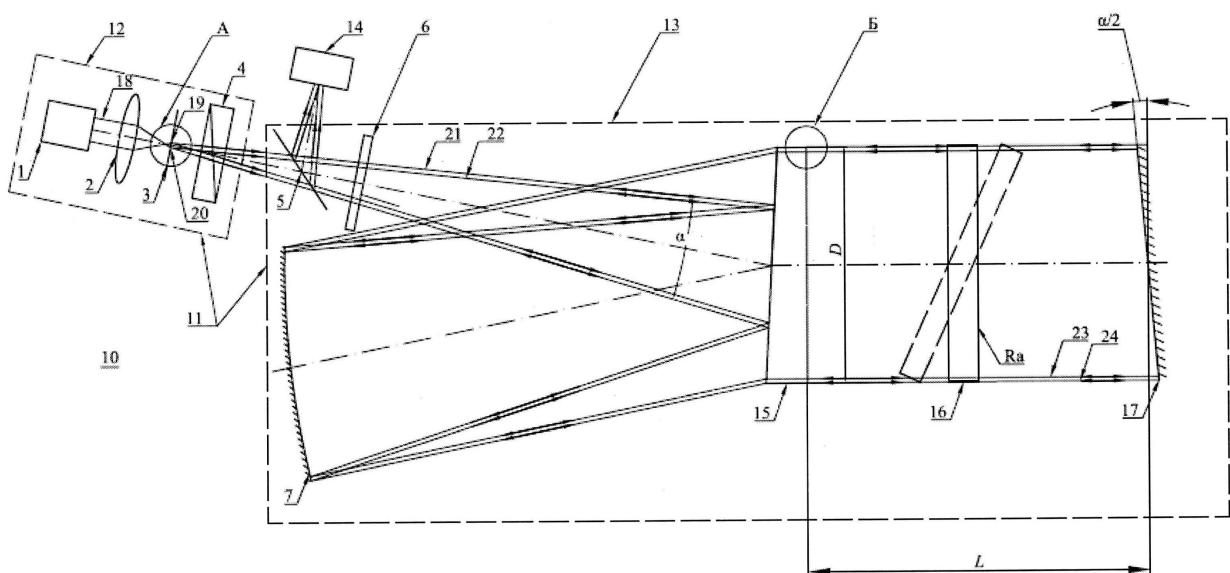
анализатора, позволяющий регистрировать одновременно несколько интерферограмм, необходимых для дальнейшего анализа. Источник излучения включает два точечных источника, разнесенных на расстояние Δ относительно друг друга перпендикулярно оптической оси. Устройство изготовлено с возможностью регулирования расстояния L между плоской эталонной поверхностью эталонной пластины и возвратным зеркалом в соответствии с граничным условием максимально допустимого

расстояния: $L = \frac{4 \cdot D \cdot f' \cdot \Delta}{n \cdot (4f'^2 - \Delta^2)}$, где D - диаметр

контролируемой детали, f' - фокусное расстояние объектива, $n \times n$ - количество элементов строк и столбцов матричного фотоприемника. Технический результат - минимизация погрешностей измерений. 1 з.п. ф-лы, 2 ил.

C1
2 5 7 3 1 8 2
RUR U
2 5 7 3 1 8 2
C 1

R U 2 5 7 3 1 8 2 C 1



Фиг.1

R U 2 5 7 3 1 8 2 C 1

FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(21)(22) Application: 2014154120/28, 30.12.2014

(24) Effective date for property rights:
30.12.2014

Priority:

(22) Date of filing: 30.12.2014

(45) Date of publication: 20.01.2016 Bull. № 2

Mail address:
105005, Moskva, ul. 2-ja Baumanskaja, 5, str. 1,
MGTU im. N.Eh. Baumana, TsZIS, dlja
Baryshnikova N.V., NIIRL

(72) Inventor(s):

Baryshnikov Nikolaj Vasil'evich (RU),
Gladysheva Jana Vladimirovna (RU),
Zhivotovskij Il'ja Vadimovich (RU),
Denisov Dmitrij Gennad'evich (RU),
Abdulkadyrov Magomed Abdurazakovich (RU),
Patrikeev Vladimir Evgen'evich (RU)

(73) Proprietor(s):

federal'noe gosudarstvennoe bjudzhetnoe
obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego
professional'nogo obrazovanija "Moskovskij
gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet imeni
N.Eh. Baumana" (MGTU im. N.Eh. Baumana)
(RU)(54) APPARATUS FOR INSPECTING QUALITY PARAMETERS OF FLAT OPTICAL COMPONENTS
ARRANGED AT ANGLE TO OPTICAL AXIS

(57) Abstract:

FIELD: physics.

SUBSTANCE: apparatus for inspecting the quality of flat optical components arranged at an angle to an optical axis consists of a transmitting channel, which includes a radiation source which forms two beams lying at a distance from each other with mutually perpendicular linear polarisation states, situated in the focal plane of a lens, a quarter-wave plate, as well as, arranged in series on the radiation path at the lens output, a reference optical plate, an optical component being inspected and a reversible mirror, as well as a receiving channel which includes a beam splitter, followed by a radiation detector consisting of a photodetector array and a linear analyser, which enables to record multiple interference patterns at the same time, which are required for further analysis. The radiation source includes two point sources at a distance Δ from each other, perpendicular to the optical axis. The apparatus is adapted to adjust the distance L between the flat reference surface of the reference plate and the

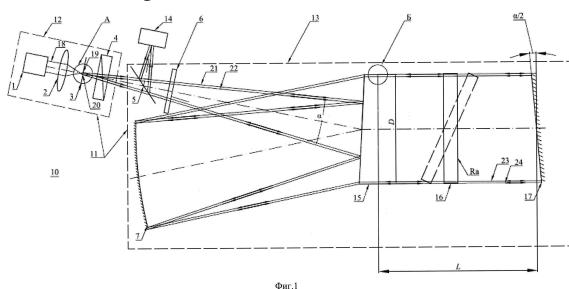
reversible mirror according to the limiting condition of the maximum allowable distance:

$$L = \frac{4 \cdot D \cdot f^2 \cdot \Delta}{n \cdot (4f^2 - \Delta^2)}, \text{ where } D \text{ is the diameter of the}$$

inspected component, f is the focal distance of the lens, $n \times n$ is the number of row and column elements of the photodetector array.

EFFECT: minimising measurement error.

2 cl, 2 dwg



Область техники

Изобретение относится к области оптического приборостроения, точнее - к интерференционным системам и методам контроля качества оптических поверхностей.

Уровень техники

- 5 На сегодняшний день технологическое производство изготовления оптических поверхностей позволяет получить оптические изделия различной конфигурации с требуемыми характеристиками профиля изделия, которые необходимо контролировать в процессе производства. В настоящее время большой интерес вызывают задачи, связанные с определением и контролем параметров качества оптических поверхностей.
- 10 Это связано с появлением ряда современных технических систем, в состав которых входят крупногабаритные высокоточные оптические детали: сверхкрупный астрономический телескоп с главным зеркалом, требование к уровню погрешности поверхности которого составляет 0,1 нм [1], или сверхмощный лазер с активными средами диаметром до 1 м и погрешностью профиля поверхности, составляющей
- 15 десятые доли нм [2]. Такие высокие требования к точности оптических поверхностей определяют качество функционирования технической системы в целом.

Изобретение представляет собой интерферометрическую измерительную систему на основе интерферометра Физо, позволяющую проводить измерения параметров качества, учитывающих суммарное искажение волнового фронта как за счет 20 погрешностей поверхности детали, так и неоднородностей оптического материала детали в условиях производства.

Наиболее близким техническим решением (прототипом) предлагаемого изобретения можно признать устройство для измерения волнового фронта с высоким качеством и в присутствии вибраций и помех в условиях производства (патентная заявка США 25 2012026507, МПК G01B 9/02, опубл. 2012.02.02). Прототип состоит из:

- передающего канала, включающего источник излучения, формирующий два пучка с взаимно перпендикулярными линейными состояниями поляризации, находящихся в фокальной плоскости объектива, четвертьволновую пластину, а также последовательно расположенные по ходу излучения на выходе объектива: эталонную оптическую 30 пластину, контролируемую плоскую оптическую деталь и возвратное зеркало;
- приемного канала, включающего светоделитель и приемник излучения, состоящий из матричного фотоприемника и линейного анализатора, позволяющий регистрировать одновременно несколько интерферограмм, необходимых для дальнейшего анализа.

Прототип устройства позволяет измерять оптические поверхности с погрешностью 35 в десятые доли нм при наличии вибраций, характерных для оптического производства. Прототип устройства одновременно регистрирует три интерференционные картины с разностью фаз друг относительно друга $\pi/2$. Интерферограммы записываются тремя независимыми камерами (CCD-камерами). Для регистрации интерферограмм необходимо, чтобы опорный и объектные лучи были ортогонально поляризованы. Для 40 этого в схему интерферометра Физо введено два источника излучения с перпендикулярными состояниями поляризации. Вибрационная независимость обеспечивается в прототипе за счет построения оптической схемы с дополнительными поляризационными компонентами (поляризационным светоделителем, четвертьволновой пластинкой и линейными поляризаторами, расположенными перед приемником 45 излучения), при этом конечный результат регистрируется одновременно тремя независимыми ПЗС-матрицами, что дает возможность получить несколько интерференционных картин одновременно за одно измерение. Полученные интерференционные картины позволяют восстановить профиль измеряемой поверхности

и определить погрешности профиля (в обычных интерферометрах за одно измерение возможно получение только одной интерференционной картины, следующую интерферограмму можно зарегистрировать только через некоторый промежуток времени, в течение которого присутствующие на производстве вибрации уже вносят изменения в результаты измерения).

Прототип имеет погрешность измерения, обусловленную наклоном возвратного зеркала. Это связано с тем, что лучи, отражаясь от возвратного зеркала, проходят в обратном ходе по другому оптическому пути через другие участки поверхности эталонной пластины и при этом смещаются на величину t_x . Если значение t_x превышает

эквивалентный размер разрешения элемента матричного фотоприемника интерферометра, масштабированного на плоскость установки эталонной поверхности, то появляется так называемая погрешность наклона и топография измеряемой поверхности нарушается, что в значительной степени и, возможно, недопустимо увеличивает общую погрешность измерения. В прототипе, при перпендикулярном

расположении эталонной детали по отношению к оптической оси, минимальное расстояние между поверхностью эталонной пластины и возвратным зеркалом определяется толщиной контролируемой детали, и в этом случае смещение пучков вносит погрешность наклона, незначительно влияющую на общую погрешность измерения.

Однако для определенных задач возникает потребность контролировать плоские крупногабаритные исследуемые детали, находящиеся в рабочем положении под углом, не равным 90° (например, под углом Брюстера), к оптической оси, или контролировать одновременно нескольких расположенных друг за другом под единым углом к общей оптической оси плоских крупногабаритных исследуемых деталей, что может привести к неизбежности значительного увеличения расстояния между эталонной пластиной и возвратным зеркалом. В прототипе такое измерение нескольких исследуемых деталей или детали под углом к оптической оси также увеличивает это расстояние и может привести к значительному увеличению погрешности измерения.

Помимо этой ограничительной особенности прототипа для контроля исследуемой детали (с диаметрами апертур до 300 мм) в прототипе использованы линзовый объектив (коллиматор) и эталонная плоская пластина. Однако для контроля крупногабаритных оптических поверхностей с диаметром апертуры порядка 1000 мм и более применение линзового объектива обладает рядом существенных недостатков: изготовление объектива подобных габаритов очень сложно и является дорогостоящим; для контроля качества линзового объектива требуется разработка отдельной оснастки, так как необходимо контролировать качество не только поверхностей линзового объектива, но и самого его материала.

Раскрытие изобретения

Таким образом, задачей и техническим результатом предлагаемого изобретения является минимизация погрешностей измерений для контроля параметров качества крупногабаритных плоских оптических деталей (одной или нескольких расположенных друг за другом под единым углом к общей оптической оси), что достигается за счет:

- возможности регулирования расстояния между плоской эталонной поверхностью и возвратным зеркалом с учетом параметров контролируемых плоских крупногабаритных оптических деталей, расположенных под углом к оптической оси,
- а также замены совокупности линзового коллиматора и эталонной оптической пластины на совокупность сферического зеркала и эталонного оптического клина.

Технический эффект достигается в устройстве, состоящем из передающего канала,

включающего источник излучения, формирующий два пучка с взаимно перпендикулярными линейными состояниями поляризации, находящихся в фокальной плоскости объектива, четвертьвольновую пластину, а также последовательно расположенные по ходу излучения на выходе объектива эталонную оптическую пластину

5 с эталонной поверхностью, контролируемую плоскую оптическую деталь и возвратное зеркало; и приемного канала, включающего светоделитель и после него приемник излучения, состоящий из матричного фотоприемника и линейного анализатора,

позволяющий регистрировать одновременно несколько интерферограмм, необходимых для дальнейшего анализа; при этом источник излучения включает в себя два точечных

10 источника, разнесенных на расстояние Δ относительно друг друга перпендикулярно оптической оси, и есть возможность регулирования расстояния L между эталонной поверхностью эталонной пластины и возвратным зеркалом с учетом параметров контролируемых плоских крупногабаритных оптических деталей, расположенных под углом к оптической оси, а именно в соответствии с граничным условием максимально

15 допустимого расстояния: $L \leq \frac{4 \cdot D \cdot f' \cdot \Delta}{n \cdot (4f'^2 - \Delta^2)}$, где D - диаметр контролируемой детали, f'

- фокусное расстояние объектива, $n \times n$ - количество элементов строк и столбцов матричного фотоприемника.

20 Также для контроля крупногабаритных оптических поверхностей в качестве оптического коллиматора системы, расширяющего пучок до необходимого диаметра, использовано сферическое зеркало, а в качестве эталонной пластины - оптический клин, одна из граней которого, обращенная к зеркальному коллиматору, наклонна по отношению к оптической оси, а вторая грань, обращенная к контролируемой оптической детали, является перпендикулярной к оптической оси и выполняет функцию эталонной 25 поверхности.

Перечень фигур

Фиг. 1 - схема расположения компонентов предлагаемого устройства.

Фиг. 2 - схемы в увеличенном масштабе ходов оптических лучей в местах А и Б схемы расположения компонентов устройства.

Осуществление изобретения

На фигурах использованы следующие обозначения:

1 - поляризационный источник излучения;

2 - объектив;

3 - пространственный фильтр;

35 4 - поляризационный светоделитель;

5 - светоделитель;

6 - четвертьвольновая пластина;

7 - зеркальный сферический коллиматор;

40 10 - интерферометрическая система;

11 - передающий канал;

12 - модуль источника излучения;

13 - интерференционный модуль;

14 - приемный канал;

15 - эталонный объект;

16 - контролируемый объект;

17 - возвратное зеркало;

18 - исходный волновой фронт;

19 и 20 - источники излучения, расположенные на расстоянии Δ друг от друга;

21 и 22 - два взаимно поляризованных волновых фронта, исходящих от источников излучения 19 и 20;

23 и 24 - два взаимно поляризованных волновых фронта, отраженных от возвратного зеркала;

5 α - угол расходимости излучения точечного источника;

D - диаметр апертуры оптического клина;

f' - фокусное расстояние зеркального сферического коллиматора;

L - расстояние между эталонной поверхностью оптического клина и возвратным зеркалом.

10 Интерферометрическая система (10) предлагаемого устройства представлена на фиг. 1, и на фиг. 2 - участки ходов лучей в увеличенном масштабе.

Конструкция включает в себя передающий (11) и приемный каналы (14). Передающий канал (11) состоит из интерферометрического модуля (13) и модуля источника излучения (12).

15 Приемный канал включает фазосдвигающий модуль для генерации множественных интерферограмм с фазовым сдвигом $\pi/2$ между ними. Модуль источника излучения (12) обладает поляризационным источником излучения (1), генерирующим пучок линейно поляризованного излучения (18), который проходит через объектив (2), фокусирующий излучение в плоскость пространственного фильтра (3) с

микроотверстием. Волновой фронт (18) проходит через поляризационный светоделитель

20 (4), который разделяет излучение на два взаимно поляризованных волновых фронта (21) и (22). Данные пучки лучей после светоделителя (4) смещаются по отношению друг к другу, как если бы они исходили от двух разных источников излучения (19) и (20) на расстоянии Δ друг от друга. Выходя из интерферометрического модуля системы, пучки проходят светоделитель (5), четвертьволновую пластинку (6), отражается от первой

25 поверхности исследуемой детали (16), затем от зеркального коллиматора (7) с фокусным расстоянием f' и проходят через эталонный объект (15) диаметром апертуры D. После чего часть излучения отражается от эталонного объекта ((21) и (22)), а часть проходит через эталонный объект, исследуемый объект (16) и отражается от возвратного зеркала (17) (пучки (23) и (24)), расположенного на расстоянии L от поверхности эталона. Два

30 пучка (21) и (22) с информацией об ошибках волнового фронта эталонного объекта отражаются от зеркального коллиматора (7), затем от первой поверхности исследуемой детали (16), проходят через четвертьволновую пластинку (6) и отражаются от светоделителя (5), и попадают в модуль приемника излучения. Содержащие информацию

35 о волновом фронте исследуемого объекта пучки (23) и (24) отражаются от зеркального коллиматора (7), затем от первой поверхности исследуемой детали (16), проходят через четвертьволновую пластинку (6) и отражаются от светоделителя (5), и также попадают в модуль приемника излучения (14).

Используемый в устройстве источник излучения включает в себя два точечных источника, разнесенных на расстояние Δ относительно друг друга перпендикулярно 40 оптической оси. Для получения интерференционной картины на детекторе излучение должно сходиться на оптической оси, поэтому в системе предусмотрен поворот возвратного зеркала, позволяющий свести пучки. В обратном ходе после отражения от поверхности возвратного зеркала каждый луч рабочего пучка излучения проходит через эталонную поверхность со смещением на величину t_x относительно прямого хода

45 лучей. Для наилучшего качества восстанавливаемой топографии поверхности контролируемой оптической детали необходимо, чтобы линейное смещение t_x в плоскости эталонной поверхности не превышало эквивалентного размера разрешения элемента матричного фотоприемника интерферометра, масштабированного на

плоскость установки эталонной поверхности. При этом максимально допустимое смещение пучка: $t_x \leq \frac{D}{n}$, где D - диаметр клина, а n - количество пикселов матрицы фотоприемника в плоскости анализа (матрица состоит из $n \times n$ - элементов).

⁵ Максимально допустимое расстояние L, при котором условие допустимого смещения t_x выполняется, равно: $L = \frac{t_x}{\operatorname{tg}(\alpha)}$, где α - угол расходности излучения точечного источника. Угол расходности излучения α определяется через фокусное расстояние f' зеркального сферического коллиматора и смещения источника излучения Δ

¹⁰ относительно оптической оси: $\operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right) = \frac{\Delta}{2 \cdot f'}$, где Δ - расстояние между источниками излучения; f' - фокусное расстояние сферического зеркала. Таким образом, допустимое значение величины расстояния между эталонной поверхностью и возвратным зеркалом

¹⁵ должно быть не более: $L \leq \frac{4 \cdot D \cdot f' \cdot \Delta}{n \cdot (4f'^2 - \Delta^2)}$. При выполнении этого условия смещение пучка t_x не будет превышать пространственного разрешения прибора и погрешность наклона не будет сказываться на качестве анализа неоднородностей оптических поверхностей.

²⁰ В том случае, если это условие не выполняется, например при большом количестве расположенных друг за другом под единым углом наклона контролируемых плоских оптических деталей, измерения необходимо разбить на ряд измерений с меньшим количеством исследуемых деталей в отдельных группах и после этого проводить суммарную оценку качества групп деталей.

²⁵ Для контроля плоских крупногабаритных деталей в предлагаемом устройстве вместо линзового коллиматора использован зеркальный коллиматор, выполненный в виде сферического зеркала. Изготовление сферического зеркала является менее дорогостоящим и более простым в технологическом процессе изготовления и контроля. И для реализации схемы контроля крупногабаритных оптических деталей с зеркальным коллиматором эталонная пластина в изобретении выполнена в виде оптического клина.

³⁰ Одна из граней клина, обращенная к зеркальному коллиматору, расположена под углом к оптической оси системы, а вторая грань, обращенная к контролируемой оптической детали, является перпендикулярной к оптической оси и выполняет функцию эталонной поверхности.

³⁵ Наклонная поверхность оптического клина позволяет ввести в оптическую схему изобретения зеркальный коллиматор, который формирует коллимационный пучок с диаметром порядка 1000 мм и более.

Пример реализации данного изобретения

⁴⁰ Два источника излучения, разнесенных на расстояние $\Delta=3,2$ мм, расстояние между источниками и зеркальным коллиматором составляет 8300 мм, световой диаметр коллиматора $D=1000$ мм, фокусное расстояние коллиматора $f'=15000$ мм, апертура коллиматора $D/f'=1/15$, угол оптического клина составляет $2,64^\circ$, радиус сферического зеркала 3×10^4 мм, угол поворота возвратного зеркала $\alpha=4.6 \times 10^{-6}$.

⁴⁵ Угол поворота возвратного зеркала и угол поворота контролируемой оптической детали не связаны, угол поворота контролируемой детали может быть равным углу Брюстера или же быть единицами или десятками градусов.

С учетом всех указанных параметров максимально допустимая величина расстояния между эталонной поверхностью и возвратным зеркалом составляет $Z=2000$ мм.

Источники информации

1. <http://www.eso.org/public/teles-instr/e-elt.html>
2. <https://lasers.llnl.gov/about/nif/about.php>

5 Формула изобретения

1. Устройство для контроля качества плоских оптических деталей, расположенных под углом к оптической оси, состоящее из передающего канала, включающего источник излучения, формирующий два пучка, расположенных на расстоянии друг от друга со взаимно перпендикулярными линейными состояниями поляризации, находящихся в 10 фокальной плоскости объектива, четвертьволновую пластину, а также последовательно расположенные по ходу излучения на выходе объектива эталонную оптическую пластину, контролируемую оптическую деталь и возвратное зеркало, а также приемного канала, включающего светофильтр и после него приемник излучения, состоящий из 15 матричного фотоприемника и линейного анализатора, позволяющий регистрировать одновременно несколько интерферограмм, необходимых для дальнейшего анализа, отличающееся тем, что источник излучения включает в себя два точечных источника, 20 разнесенных на расстояние Δ относительно друг друга перпендикулярно оптической оси, и устройство изготовлено с возможностью регулирования расстояния L между плоской эталонной поверхностью эталонной пластины и возвратным зеркалом в соответствии с граничным условием максимально допустимого расстояния:

$$L = \frac{4 \cdot D \cdot f' \cdot \Delta}{n \cdot (4f'^2 - \Delta^2)}, \text{ где } D - \text{диаметр контролируемой детали}, f' - \text{фокусное расстояние}$$

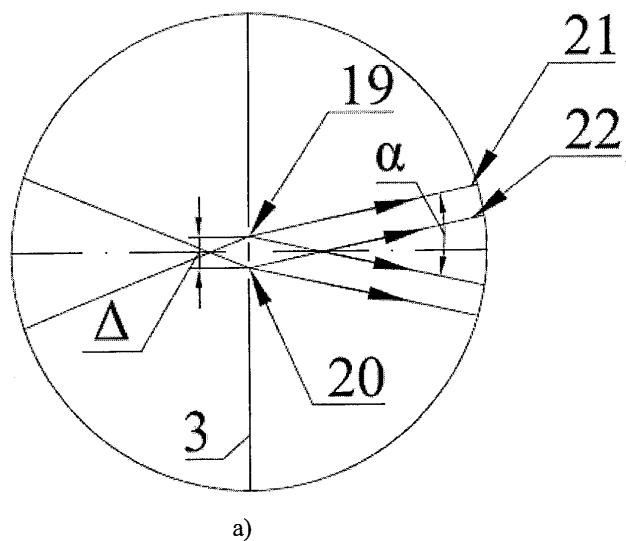
объектива, $n \times n$ - количество строк и столбцов матричного фотоприемника.

2. Устройство по п. 1, отличающееся тем, что для контроля крупногабаритных 25 оптических поверхностей в качестве объектива системы, расширяющего пучок до необходимого диаметра, использовано сферическое зеркало, а в качестве эталонной пластины - оптический клин, одна из граней которого, обращенная к зеркальному коллиматору, наклонна по отношению к оптической оси, а вторая грань, обращенная к контролируемой оптической детали, является перпендикулярной к оптической оси и выполняет функцию эталонной поверхности.

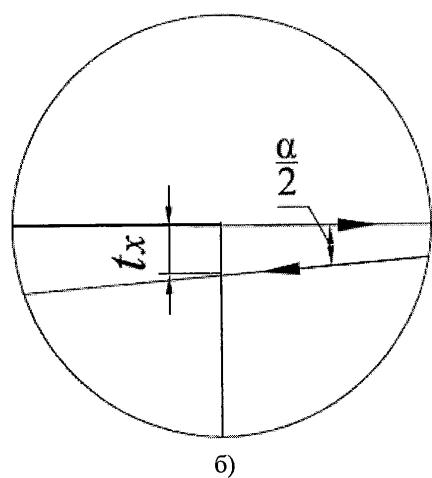
35

40

45

Вид А

a)

Вид Б

б)

Фиг.2