



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2009137477/14, 12.10.2009

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
12.10.2009

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 12.10.2009

(43) Дата публикации заявки: 20.04.2011 Бюл. № 11

(45) Опубликовано: 10.08.2011 Бюл. № 22

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: RU 2268637 C2, 27.01.2006. US
2003/0174755 A1, 18.09.2003. US 2003/0086063
A1, 08.05.2003. US 2009/0073384 A1, 19.03.2009.
US 7500754 B2, 10.03.2009. US 6497483 B2,
24.12.2002.

Адрес для переписки:

142190, Московская обл., г. Троицк, ЦФП
ИОФ РАН, ОПЛР

(72) Автор(ы):

Ларичев Андрей Викторович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Российская Федерация, от имени которой
выступает Министерство образования и
науки Российской Федерации (RU),
Центр физического приборостроения
Учреждения Российской академии наук
Института общей физики им. А.М.
Прохорова РАН (RU)(54) УСТРОЙСТВО ДЛЯ УСТРАНЕНИЯ ВЛИЯНИЯ СПЕКЛ-МОДУЛЯЦИИ ПРИ ИЗМЕРЕНИИ
АБЕРРАЦИЙ ГЛАЗА ЛАЗЕРНЫМ АБЕРРОМЕТРОМ И ЛАЗЕРНЫЙ АБЕРРОМЕТР

(57) Реферат:

Группа изобретений относится к медицинской технике, а именно к лазерным абберрометрам и устройствам для устранения влияния спекл-модуляции при измерении aberrаций глаза лазерными абберрометрами. Устройство содержит прозрачную пластину и привод. Пластина расположена между точечным источником и человеческим глазом. Привод обеспечивает перемещение пластины в направлении, поперечном направлению луча точечного источника. Поверхность пластины выполнена в виде случайного двумерного профиля, характерный размер которого меньше диаметра лазерного пучка. Лазерный абберрометр содержит вышеупомянутое

устройство, систему измерения формы волнового фронта вышедшего из глаза излучения в виде датчика волнового фронта и систему управления лазерным абберрометром. Система управления содержит компьютер для обработки данных, получаемых от датчика волнового фронта, восстановления карты aberrаций глаза, хранения данных и управления лазерным абберрометром. Использование группы изобретений позволит повысить точность измерения aberrаций глаза за счет временного усреднения спекл-модуляции за время интегрирования матричного фотодетектора. 2 н. и 1 з.п. ф-лы, 3 ил.



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,
PATENTS AND TRADEMARKS

(12) ABSTRACT OF INVENTION(21)(22) Application: **2009137477/14, 12.10.2009**(24) Effective date for property rights:
12.10.2009

Priority:

(22) Date of filing: **12.10.2009**(43) Application published: **20.04.2011 Bull. 11**(45) Date of publication: **10.08.2011 Bull. 22**

Mail address:

**142190, Moskovskaja obl., g. Troitsk, TsFP IOF
RAN, OPLR**

(72) Inventor(s):

Larichev Andrej Viktorovich (RU)

(73) Proprietor(s):

**Rossijskaja Federatsija, ot imeni kotoroj
vystupaet Ministerstvo obrazovanija i nauki
Rossijskoj Federatsii (RU),
Tsentr fizicheskogo priborostroenija
Uchrezhdenija Rossijskoj akademii nauk Instituta
obshchej fiziki im. A.M. Prokhorova RAN (RU)****(54) DEVICE FOR ELIMINATION OF SPECKLE-MODULATION EFFECT IN MEASUREMENT OF EYE ABERRATIONS BY LASER ABERROMETRE AND LASER ABERROMETRE**

(57) Abstract:

FIELD: medicine.

SUBSTANCE: group of inventions relates to medical equipment, namely, laser aberrometres and devices for elimination of speckle-modulation effect in measurement of eye aberrations by laser aberrometres. Device contains transparent plate and drive. Plate is located between point source and human eye. Drive ensures plate movement in direction, transverse to direction of point source direction. Plate surface is made in form of random two-dimensional profile, whose characteristic size is smaller than laser beam diameter. Laser aberrometre

contains said device, system of changing shape of wave front of irradiation outgoing from eye in form of wave front sensor, and system of laser aberrometre control. Control system contains computer for processing data obtained from wave front sensor, restoration of map of eye aberrations, data storage and laser aberrometre control.

EFFECT: application of group of inventions will make it possible to increase accuracy of measuring eye aberrations due to temporary averaging of speckle-modulation for time of matrix photodetector integration.

3 cl, 3 dwg

Изобретение относится к медицинской технике и касается усовершенствования конструкции офтальмологических приборов для измерения аберраций человеческого глаза - абберрометров, применяемых в клинической медицинской практике.

Представленное в качестве изобретения устройство предназначено для увеличения точности измерений лазерными абберрометром и является его значимой частью.

Для определения остроты зрения в клинической практике применяют таблицы символов и картин, величина которых (для заданного расстояния обычно 5 м) соответствует различному угловому размеру на сетчатке глаза. Угловому размеру 1 минута соответствует зрение единица (20/20 в англоязычной литературе). Путем опроса испытуемого устанавливается наименьший размер различаемых символов, что и определяет остроту зрения (так, например, если размер различаемых символов равен 5 мин, то острота зрения равна 0.5). Подбор наилучшей сфероцилиндрической коррекции осуществляется при помощи пробных линз либо автоматизированных наборов таких линз (фороптеров), при этом результаты коррекции контролируются по таблицам символов. Процесс этот достаточно трудоемок и длителен, особенно при наличии сложного астигматизма (Е.И.Ковалевский. «Офтальмология». М.: Медицина, 1995 г., с.45-83). Для ускорения подбора коррекции используются различные методы измерения рефракции, например, скиаскопия, или автоматизированные приборы -рефрактометры. При этом начальные параметры корректирующих линз выбираются исходя из показаний этих приборов. Более совершенными приборами для измерения оптических характеристик глаза являются абберрометры, которые могут измерять не только рефракцию и астигматизм, но и аберрации высших порядков.

Известно устройство - лазерный абберрометр, конструкция и принцип действия которого описан в статье «Objective measurement of wave aberrations of the human eye with use of a Hartmann-Shack wave-front sensor" Junzhong Liang, Bernhard Grimm, Stefan Goelz, Josef F. Bille (JOSA A, Volume 11, Issue 7, 1949-July, 1994). Данный прибор для измерения аберраций человеческого глаза содержит точечный источник света для подсветки глаза, который проектируется на сетчатку глаза и создает на ней виртуальный опорный источник, излучение которого рассеивается сетчаткой, проходит через оптические системы глаза, приобретая при этом фазовую модуляцию, соответствующую суммарным оптическим аберрациям глаза, систему измерения формы волнового фронта вышедшего из глаза излучения в виде датчика Шака-Гартмана, выходной сигнал с которого поступает в систему управления прибором, состоящую из компьютера, который обеспечивает обработку данных, восстанавливая карту аберраций, хранение данных и управление прибором по командам оператора.

К причинам, препятствующим достижению в известном устройстве указанного ниже технического результата, заключающегося в увеличении точности измерений аберраций (среднеквадратичное отклонение измеренного волнового фронта от истинного значения), относится использование в нем точечного (в частности, лазерного) источника излучения. Лазер обладает высокой пространственной и временной когерентностью излучения. Это приводит к возникновению спекл-модуляции излучения, рассеянного сетчаткой. Само по себе спекл-поле имеет как амплитудную, так и фазовую модуляцию. При прохождении спекл-поля через оптическую систему глаза оно приобретает дополнительную фазовую модуляцию, вызванную наличием аберраций в оптической системе глаза. Датчик волнового фронта, к примеру типа Шака-Гартмана, измеряет профиль результирующего волнового фронта, т.е. суммарную фазовую модуляцию. Для измерения собственно

аббераций исследуемого глаза необходимо каким-то образом выделить фазовую модуляцию, возникающую за счет аббераций, от фазовой модуляции спекл-поля. В известном устройстве такое выделение осуществляется за счет усреднения по времени множества статистически независимых реализаций спекл-поля. Смена реализации происходит за счет рефлекторных микродвижений глаза. В результате время измерения получается достаточно большим (1-2 сек). Поскольку в клинической практике измерения должны быть проведены за время, в течение которого глаз пациента остается неподвижным (1-10 мс), то указанный метод может иметь лишь ограниченное применение.

Существуют различные методы подавления влияния спекл-модуляции при измерении аббераций глаза. В частности, в работе A.S.Goncharov, A.V.Larichev, Speckle Structure of a Light Field Scattered by Human Eye Retina, Laser Physics, 2007, V.I 7, N9, p.1157-1165 исследованы методы, основанные на спектральном и временном усреднении. В частности, показано, что временное усреднение обладает значительным преимуществом.

Так, например, известно техническое решение (патент USA №6827444), в котором предлагается использовать сканирующее зеркало, расположенное в сопряженной плоскости зрачка оптической системы на пути лазерного излучения, для быстрого перемещения изображения источника по малой области поверхности сетчатки. Это устройство позволяет получить быстро меняющиеся реализации спекл-картины. Аналогичный принцип использован в другом приборе (патент России RU 2268637), где для быстрого сканирования используется оптический клин. Общим недостатком подобных технических решений является необходимость размещения сканирующего устройства в сопряженной плоскости зрачка глаза, кроме того, для эффективного статистического усреднения при малом времени экспозиции необходима значительная частота сканирования, что усложняет конструкцию данного узла.

Известен прибор - лазерный абберометр, конструкция и принцип действия которого описаны в статье «Objective measurement of wave aberrations of the human eye with use of a Hartmann-Shack wave-front sensor" Junzhong Liang, Bernhard Grimm, Stefan Goelz, Josef F. Bille (JOSA A, Volume 11, Issue 7, 1994-July, 1994). Данный прибор для измерения аббераций человеческого глаза, содержащий точечный источник света для подсветки глаза, который проектируется на сетчатку глаза и создает на ней виртуальный опорный источник, излучение которого рассеивается сетчаткой, проходит через оптические системы глаза, приобретая при этом фазовую модуляцию, соответствующую суммарным оптическим абберациям глаза, систему измерения формы волнового фронта вышедшего из глаза излучения в виде датчика Шака-Гартмана, выходной сигнал с которого поступает в систему управления прибором, состоящую из компьютера, который обеспечивает обработку данных, восстанавливая карту аббераций, хранение данных и управление прибором по командам оператора.

Вследствие применения в данном устройстве лазерного точечного источника излучения оно обладает отмеченным выше недостатком - низкой точностью измерений.

Известно устройство для генерации лазерного пучка без спекл-структуры, используемое в офтальмологической диагностике US 20030174755 (A1), содержащее точечный источник света, в качестве которого может использоваться лазер, топографическую фазовую пластинку и привод, обеспечивающий перемещение пластины в направлении, поперечном направлению луча точечного источника.

Задача, на решение которой направлено заявленное изобретение, заключается в

создании точного офтальмологического прибора с широкими функциональными возможностями, позволяющего автоматически измерять аберрации человеческого глаза.

5 Устройство для устранения влияния спекл-модуляции при измерении аберраций глаза лазерным абберрометром, содержащее точечный источник света, прозрачную пластину, расположенную между точечным источником и человеческим глазом, привод, обеспечивающий перемещение пластины в направлении, поперечном направлению луча точечного источника, поверхность прозрачной пластины 10 выполнена в виде случайного двумерного профиля, характерный размер случайного двумерного профиля меньше диаметра лазерного пучка. Двумерный профиль представляет собой случайное распределение высот поверхности. Характерный размер случайного двумерного профиля (радиус корреляции) меньше диаметра пучка. При прохождении пластины с нанесенным случайным профилем на поверхности 15 пластины лазерное излучение приобретает фазовую модуляцию за счет разной толщины пластины. Прибор использует прямую модуляцию фазы за счет разнотолщинности пластины. Это позволяет упростить конструкцию прибора. При прохождении пластины с нанесенным случайным профилем на поверхности пластины 20 несколько увеличивается расходимость излучения. В результате размер фокального пятна (виртуального источника) на сетчатке глаза несколько увеличивается. Это дает положительный эффект, поскольку интенсивность света на сетчатке падает, поэтому заметность зондирующего излучения для испытуемого становится меньше. Такая система является более безопасной для пациента. Увеличение размера фокального 25 пятна на сетчатке также приводит к уменьшению характерного размера спеклов в рассеянном излучении. При движении пластины в поперечном направлении через пучок излучения проходят различные участки случайного двумерного профиля. Это приводит к изменению фазовой модуляции прошедшего излучения и, как следствие, к изменению реализации рассеянного спекл-поля. Все это уменьшает влияние спекл-модуляции в измеряемом лазерным абберрометром излучении, что позволяет повысить 30 точность измерений и уменьшить время экспозиции при проведении измерений.

Лазерный абберрометр, содержащий устройство для устранения влияния спекл-модуляции при измерении аберраций глаза, содержащее точечный источник света, 35 прозрачную пластину, расположенную между точечным источником и человеческим глазом, привод, обеспечивающий перемещение пластины в направлении, поперечном направлению луча точечного источника, систему измерения формы волнового фронта вышедшего из глаза излучения в виде датчика волнового фронта, систему управления лазерным абберрометром, содержащую компьютер для обработки данных, 40 получаемых от датчика волнового фронта, восстановления карты аберраций глаза, хранения данных и управления лазерным абберрометром, поверхность прозрачной пластины выполнена в виде случайного двумерного профиля, характерный размер случайного двумерного профиля меньше диаметра лазерного пучка. При 45 прохождении поверхности пластины с нанесенным случайным профилем лазерное излучение приобретает фазовую модуляцию. При этом несколько увеличивается расходимость излучения. В результате размер фокального пятна (виртуального источника) на сетчатке глаза несколько увеличивается. Это дает положительный 50 эффект, поскольку интенсивность света на сетчатке падает, заметность зондирующего излучения для испытуемого становится меньше, это делает систему более безопасной для пациента. Увеличение размера фокального пятна на сетчатке приводит к уменьшению характерного размера спеклов в рассеянном излучении. При движении

пластины в поперечном направлении через пучок излучения проходят различные участки случайного двумерного профиля. Это приводит к изменению фазовой модуляции прошедшего излучения и, как следствие, к изменению реализации рассеянного спекл-поля. Все это уменьшает влияние спекл-модуляции в измеряемом лазерным аберрометром излучении, что позволяет повысить точность измерений.

Система измерения формы волнового фронта содержит камеру, привод обеспечивает перемещение прозрачной пластины со скоростью, такой, что за время экспозиции камеры системы измерения формы волнового фронта меняется множество реализаций спекл-поля, достаточное для статистического усреднения. При таком исполнении фазовая модуляция, связанная со спекл-полем, будет подавлена за счет статистического усреднения. Это позволит уменьшить время экспозиции и упростить конструкцию лазерного аберрометра.

Техническим результатом предлагаемого технического решения является создание прибора, позволяющего измерять аберрации глаза с высокой точностью, позволяющего уменьшить время экспозиции при проведении измерений, обладающего относительно простой конструкцией, безопасного для пациента.

На Фиг.1 представлен принцип действия устройства для устранения влияния спекл-модуляции.

На Фиг.2 представлена структурная схема заявленного прибора.

На Фиг.3 представлена принципиальная оптическая схема прибора.

При работе устройства пластина движется в поперечном (относительно пучка) направлении. При прохождении поверхности пластины с нанесенным случайным профилем (Фиг.1) лазерное излучение приобретает фазовую модуляцию. При этом несколько увеличивается расходимость излучения. В результате размер фокального пятна (виртуального источника) на сетчатке глаза несколько увеличивается. Это дает положительный эффект, поскольку интенсивность света на сетчатке падает, поэтому заметность зондирующего излучения для испытуемого становится меньше.

Увеличение размера фокального пятна на сетчатке также приводит к уменьшению характерного размера спеклов в рассеянном излучении. При движении пластины в поперечном направлении через пучок излучения проходят различные участки случайного двумерного профиля. Это приводит к изменению фазовой модуляции прошедшего излучения и, как следствие, к изменению реализации рассеянного спекл-поля. Если скорость движения пластины такова, что за время экспозиции системы измерения волнового фронта излучения происходит смена множества реализаций спекл-поля, то фазовая модуляция, связанная со спекл-полем, будет подавлена за счет статистического усреднения.

Ниже приводятся сведения, подтверждающие возможность осуществления изобретения с реализацией указанного назначения.

Устройство для устранения влияния спекл-модуляции при измерении аберраций глаза лазерным аберрометром содержит следующие структурные блоки (фиг.2):

- 1) точечный источник света;
- 2) прозрачную пластину с нанесенным на ее поверхность случайным двумерным профилем и привод, обеспечивающий ее перемещение в поперечном направлении;
- 3) систему измерения в виде датчика волнового фронта (типа Шака-Гартмана);
- 4) систему компенсации рефракции;
- 5) систему управления (компьютер и (или) микропроцессорный контроллер).

Заявляемый офтальмологический прибор для измерения аберраций человеческого глаза построен на базе хорошо зарекомендовавшего себя в клинической практике

датчика волнового фронта Шака-Гартмана. Естественно, что в качестве датчика волнового фронта могут быть применены и другие устройства: например, датчик кривизны: Paul M. Blanchard, David J. Fisher, Simon C. Woods, Alan H. Greenaway «Phase-Diversity Wave-Front Sensing with a Distorted Diffraction Grating» Applied Optics, Vol.39 Issue 35 P.6649, 2000).

Конструкция и принцип работы устройства состоит в следующем (см. фиг.3).

Излучение точечного источника света 1 (например, полупроводниковый лазер суперлюминисцентный диод) с длиной волны 780 нм - 850 нм) проходит через прозрачную пластину с нанесенным на ее поверхность случайным двумерным профилем 2 и закрепленную на приводе 3, обеспечивающем ее перемещение в поперечном направлении, попадает на поляризационный делительный кубик 4. При перемещении пластины в поперечном направлении происходит случайная модуляция фазы источника. Характер и масштаб такой модуляции зависит от статистических свойств нанесенного на пластину двумерного профиля. Для достижения наилучших результатов средний размер неоднородностей на поверхности пластины должен быть меньше размера пучка излучения, попадающего на нее. Наименьший размер неоднородностей ограничен допустимой расходимостью прошедшего излучения. В типичном случае, расходимость не должна превышать 3-5 град. Излучение лазера поляризовано таким образом, что оно полностью пропускается делительной гранью кубика (на фиг.2 в направлении налево). Далее излучение попадает в телескопическую систему с необходимым увеличением 5. После отражения от поворотного зеркала 6 излучение проходит компенсатор рефракции 7. Компенсатор рефракции 7 (телескоп, состоящий из линз 7a, 7d, с подвижной призмой 7b и спектральным светоделителем 7c) позволяет управлять фокусировкой лазерного пучка. Выходя из прибора, лазерное излучение попадает в исследуемый глаз пациента, фокусируется на сетчатке оптическими элементами глаза и создает на ней виртуальный опорный источник, излучение которого частично рассеивается на сетчатке и проходит оптические среды глаза в обратном направлении, приобретая при этом фазовую модуляцию. Фазовая модуляция пучка, вышедшего из глаза, несет информацию о полных аберрациях, характеризующих оптическую систему глаза. Это излучение проходит уже упомянутые оптические элементы аберрометра в обратном направлении. Однако поскольку излучение, рассеянное сетчаткой, является практически неполяризованным, то при прохождении поляризационного светоделителя 2 одна из поляризационных составляющих отражается от делительной грани и попадает в телескоп 8, необходимый для сопряжения входного зрачка с плоскостью линзового раstra 9 датчика волнового фронта 10.

Линзовый растр формирует картину в виде системы фокальных пятен на матрице стандартной ПЗС (прибор с зарядовой связью) или КМОП (комплементарный металло-оксидный полупроводник) камеры датчика (создает набор изображений виртуального источника). Выходной сигнал с матрицы передается в компьютер, который восстанавливает карту аберраций и вырабатывает сигналы управления для компенсатора рефракции. При этом скорость измерения определяется скоростью считывания данных с камеры в компьютер и может достигать 100 кадров в секунду. Скорость движения пластины 2 должна соответствовать частоте кадров датчика волнового фронта. Так, например, если задано уменьшить влияние спекл-модуляции в 10 раз, то за время экспозиции камеры должно смениться 100 реализаций спекл-поля.

Смещение пятен на картине пропорционально локальным наклонам волнового фронта в пределах соответствующей субапертуры линзового раstra. Измерив эти

смещения, можно восстановить форму волнового фронта, используя метод наименьших квадратов. Координаты пятен можно определить, используя алгоритм центров масс: [J.Lang, B.Grimm, S.Goels, J.Bille, "Objective measurements of the wave aberrations of the human eye using a Hartman-Shack wavefront sensor", J.Opt.Soc. Am. A, 11 1949-1957 (1994)].

5 Параметры линзового раstra подобраны таким образом, что при обработке картины датчика Шака-Гартмана возможно восстановление волнового фронта с точностью $1/8$ длины волны зондирующего излучения. При этом форма волнового фронта может быть представлена 36 полиномами Цернике.

10 Компенсатор рефракции необходим для коррекции сферической составляющей искажений волнового фронта оптического излучения с заданной амплитудой.

Котроллер 11 и компьютер 12 необходимы для управления устройствами прибора и обработки получаемой информации.

15 Таким образом, изложенные выше сведения показывают, что при использовании заявленного изобретения выполнена следующая совокупность условий:

- средство, воплощающее заявленное изобретение, предназначено для использования в медицинской промышленности, а именно производить автоматическое измерение аберраций человеческого глаза;

20 - для заявленного изобретения в том виде, как оно охарактеризовано в независимых пунктах изложенной формулы изобретения, подтверждена возможность его осуществления с помощью вышеописанных в заявке или известных до даты приоритета средств и методов.

25 Следовательно, заявленное изобретение соответствует условию «промышленная применимость».

Формула изобретения

1. Устройство для устранения влияния спекл-модуляции при измерении аберраций глаза лазерным абберрометром, содержащее точечный источник света, прозрачную пластину, расположенную между точечным источником и человеческим глазом, привод, обеспечивающий перемещение пластины в направлении, поперечном направлению луча точечного источника, отличающееся тем, что поверхность прозрачной пластины выполнена в виде случайного двумерного профиля, характерный размер случайного двумерного профиля меньше диаметра лазерного пучка.

2. Лазерный абберрометр, содержащий устройство для устранения влияния спекл-модуляции при измерении аберраций глаза,

40 содержащее точечный источник света,

прозрачную пластину, расположенную между точечным источником и человеческим глазом,

привод, обеспечивающий перемещение пластины в направлении, поперечном направлению луча точечного источника,

45 систему измерения формы волнового фронта вышедшего из глаза излучения в виде датчика волнового фронта,

систему управления лазерным абберрометром, содержащую компьютер для обработки данных, получаемых от датчика волнового фронта, восстановления карты аберраций глаза, хранения данных и управления лазерным абберрометром,

50 отличающийся тем, что поверхность прозрачной пластины выполнена в виде случайного двумерного профиля, характерный размер случайного двумерного профиля меньше диаметра лазерного пучка.

3. Лазерный аберрометр по п.2, отличающийся тем, что система измерения формы волнового фронта содержит камеру, привод обеспечивает перемещение прозрачной пластины со скоростью, такой, что за время экспозиции камеры системы измерения формы волнового фронта меняется множество реализации спекл-поля, достаточное для статистического усреднения.

5

10

15

20

25

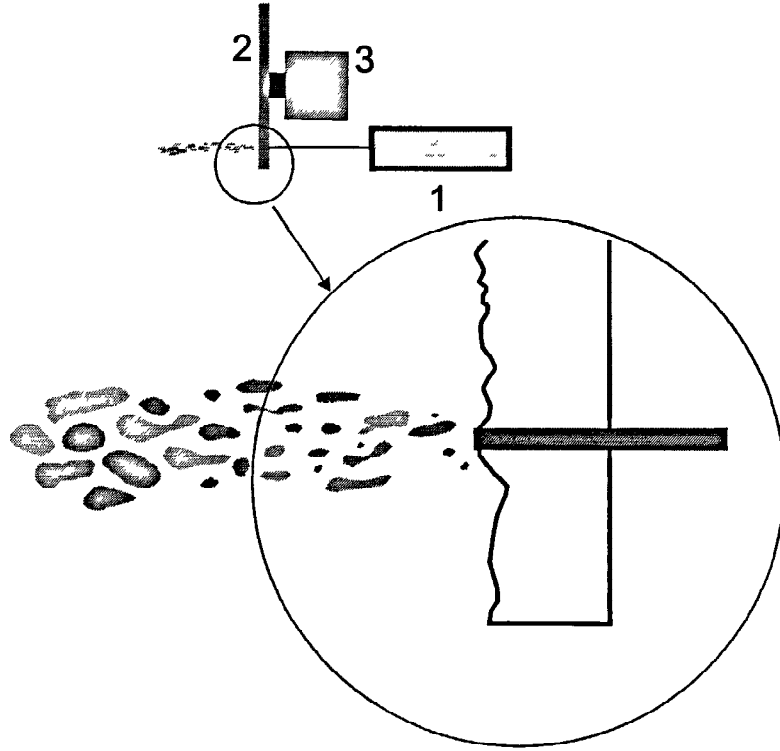
30

35

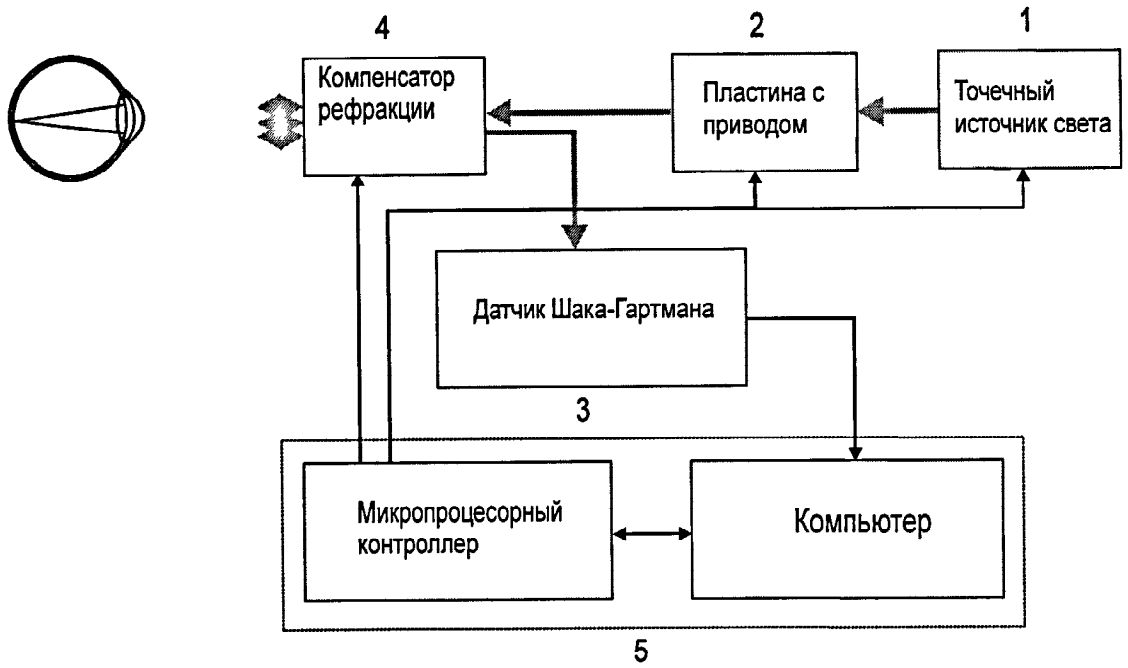
40

45

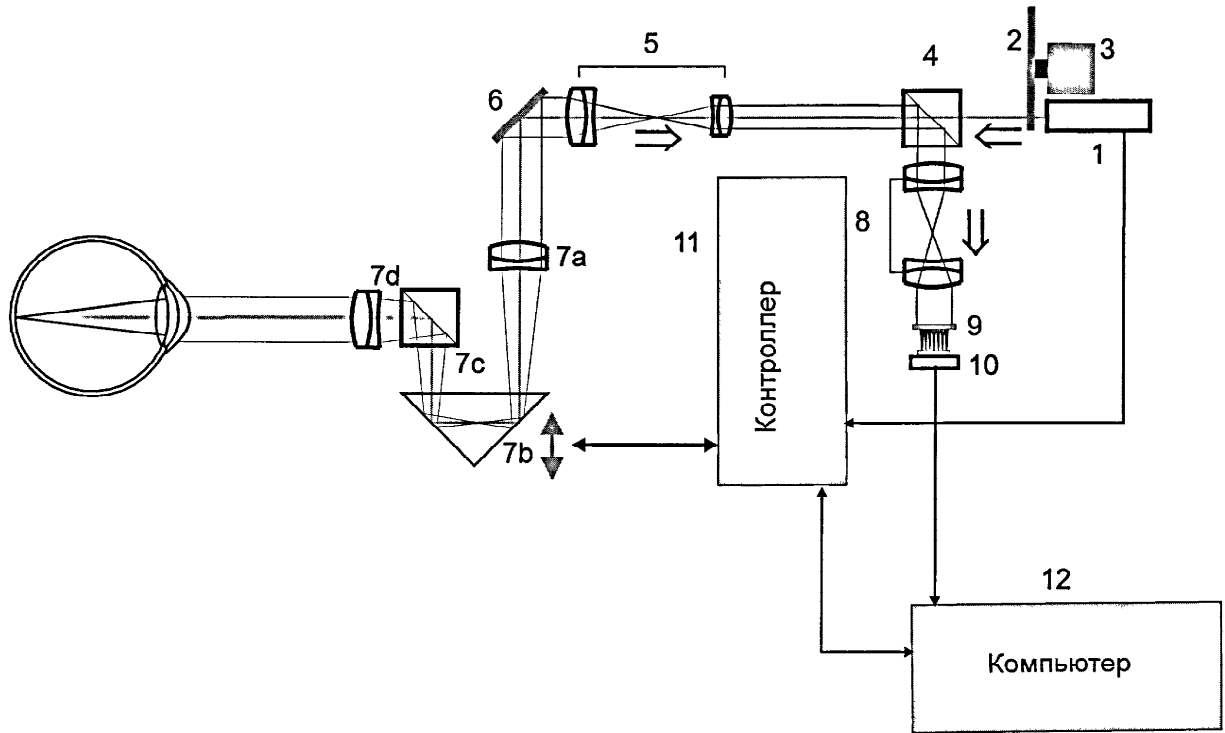
50



ФИГ. 1



ФИГ. 2



ФИГ. 3