

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(21) **202091179**

(13) **A1**

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ**

(43) Дата публикации заявки  
**2020.09.23**

(51) Int. Cl. **G06T 7/00 (2017.01)**

(22) Дата подачи заявки  
**2018.12.10**

**(54) ОБНАРУЖЕНИЕ МИКРОСКОПИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ В ЖИДКОСТЯХ**

(31) **17206391.9**

(72) Изобретатель:

(32) **2017.12.11**

**Кести Торо (FI)**

(33) **EP**

(74) Представитель:

(86) **PCT/FI2018/050896**

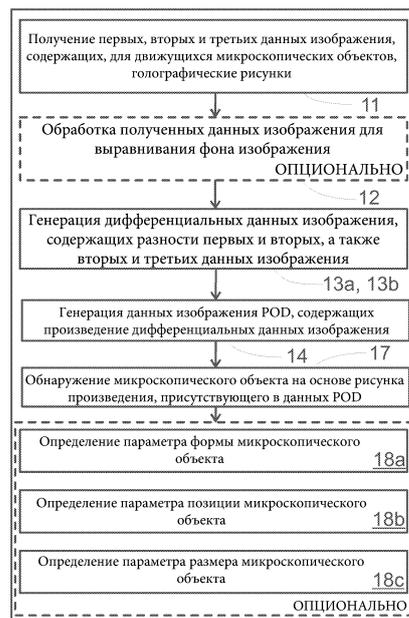
(87) **WO 2019/115872 2019.06.20**

(71) Заявитель:

**УПОНОР ОУЙ (FI)**

**Поликарпов А.В., Соколова М.В.,  
Путинцев А.И., Черкас Д.А., Игнатьев  
А.В., Билык А.В., Дмитриев А.В.,  
Бучака С.М., Бельтюкова М.В. (RU)**

(57) В рамках предложенного способа (10) используют первые, вторые и третьи данные изображения, основанные соответственно на первом, втором и третьем цифровых кадрах изображения, захваченных последовательно по времени в объеме пробы, содержащей жидкость, в состав которой, возможно, входят движущиеся микроскопические объекты, при освещении объема пробы когерентным светом, при этом каждые данные изображения содержат для движущегося микроскопического объекта инородного происхождения присутствующего в объеме пробы, голографический рисунок (11); способ включает автоматическую генерацию первых дифференциальных данных изображения, содержащих разность первых и вторых данных изображения (13a); автоматическую генерацию вторых дифференциальных данных изображения, содержащих разность вторых и третьих данных изображения (13b); автоматическую генерацию данных изображения произведения разности (POD), содержащих произведение первых и вторых дифференциальных данных изображения (14), и автоматическое определение наличия движущегося микроскопического одного или более объекта в объеме пробы на основе одного или более рисунка произведения в данных изображения произведения разностей (17).



10

**A1**

**202091179**

**202091179**

**A1**

PCT/FI2018/050896

## ОБНАРУЖЕНИЕ МИКРОСКОПИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ В ЖИДКОСТЯХ

### ОБЛАСТЬ ТЕХНИКИ

Настоящее изобретение в общем относится к контролю качеству жидкостей, таких как вода. В частности, настоящее изобретение относится к способам и устройствам для контроля содержания микроскопических частиц или микробов в жидкостях посредством оптического считывания.

### ПРЕДПОСЫЛКИ СОЗДАНИЯ ИЗОБРЕТЕНИЯ

Качество воды является важным параметром для различных применений, требующих производства, подачи или использования чистой воды. Кроме того, качество воды может являться ключевым фактором как для безопасности и здоровья людей, являющихся конечными пользователями системы городского водопотребления, так и для различных промышленных процессов, в которых к воде предъявляются конкретные требования, относящиеся к качеству.

Обычно тщательный анализ качества воды проводится в виде затратного по времени лабораторного процесса, в ходе которого проба воды исследуется с помощью аналитических приборов. Однако во многих применениях требуется гораздо меньшее время отклика. К таким примерам относится контроль качества воды, например, на водоподготовительных станциях, в сетях городского водоснабжения или при доставке глубинной воды для некоторых важных бытовых систем водоснабжения, таких как госпитали, старые здания или дошкольные учреждения, а также в некоторых промышленных процессах.

В качестве одной из возможных технологий для быстрого контроля качества воды была предложена осевая голография или голографическая микроскопия. В заявке на патент США 2004/0169903 A1 раскрывается способ осевой голографии для отслеживания частиц и живых организмов в морской воде. В другом примере, компактная осевая голографическая микроскопия для обнаружения болезнетворных передающихся с водой паразитов раскрыта в статье авторов Mudanyali O, Oztoprak C, Tseng D, Erlinger A, Ozcan A., озаглавленной "Detection of waterborne parasites using field-portable and cost-effective lensfree microscopy" (обнаружение передающихся с водой паразитов с использованием полевой портативной и экономически эффективной безлинзовой микроскопии),

опубликованной в издании Lab on a chip. 2010; 10(18): 2419-2423 и в электронном виде на сайте [www.rsc.org](http://www.rsc.org).

В способах голографической микроскопии, используемых на известном уровне техники, фаза реконструкции, на которой голографическое изображение реконструируется в одно или более двумерных изображений образца пробы с помощью сложных математических алгоритмов, требует обременительных и затратных по времени вычислений, а также мощного и дорогого вычислительного оборудования. Это может препятствовать реализации небольшого, недорогого, чувствительного оборудования для систем осевой голографической микроскопии.

Наряду с контролем качества воды также существуют другие многообразные применения, в которых в жидкости должны обнаруживаться и/или анализироваться инородные микроскопические объекты.

## СУЩНОСТЬ ИЗОБРЕТЕНИЯ

Это краткое изложение предлагается для ознакомления в упрощенной форме с представленными концепциями, которые в дальнейшем более полно описываются в разделе подробного описания. Это краткое изложение не предназначено для обозначения ключевых или существенных признаков заявленного предмета изобретения, также как не предназначено для ограничения его объема.

Согласно одному из аспектов может быть реализован способ, который может использоваться для обнаружения микроскопических объектов инородного происхождения, присутствующих в жидкости. Способ может использоваться, например, для контроля качества воды в системах и сетях снабжения, распределения и использования воды. Микроскопические объекты могут, например, представлять собой частицы примеси и/или микробов. В других вариантах осуществления, жидкость может представлять собой не воду, а некоторую другую жидкость или газ.

Согласно способу используются первые, вторые и третьи данные изображения, которые, соответственно, формируются из первого, второго и третьего кадров цифрового изображения, захваченных последовательно по времени датчиком изображения, принимающим свет, прошедший через объем пробы, содержащий жидкость, в состав которой, возможно, входят движущиеся микроскопические объекты инородного образования, при освещении объема пробы когерентным светом, при этом возможные микроскопические объекты рассеивают часть света, и рассеиваемый и не рассеиваемый свет интерферирует таким образом, что формирует интерференционные кольца позади

микроскопических объектов, при этом каждый набор данных изображения содержит, для движущегося микроскопического объекта инородного происхождения, присутствующего в объеме пробы во время захвата связанного кадра цифрового изображения, голографический рисунок с пространственно изменяющейся интенсивностью, формируемый интерференционными кольцами.

Кроме того, способ включает получение, возможно путем автоматической генерации, первых дифференциальных данных изображения, содержащих разность первых и вторых данных изображения, при этом первые дифференциальные данные изображения содержат, для каждого голографического рисунка, присутствующего в первых или вторых данных изображения, дифференциальный рисунок; получение, возможно путем автоматической генерации, вторых дифференциальных данных изображения, содержащих разность вторых и третьих данных изображения, при этом вторые дифференциальные данные изображения содержат, для каждого голографического рисунка, присутствующего во вторых и третьих данных изображения, дифференциальный рисунок; и автоматическую генерацию данных изображения произведения разностей (POD, Product Of Difference), содержащих произведение первых и вторых дифференциальных данных изображения, при этом данные изображения POD содержат, для каждого голографического рисунка, присутствующего во вторых данных изображения, рисунок произведения.

Наконец, способ включает автоматическое обнаружение наличия движущегося микроскопического объекта(-ов) инородного происхождения в объеме пробы на основе рисунка(-ов) произведения, присутствующего в данных изображения POD.

При выполнении способа могут использоваться некоторые принципы, известные из осевой голографической микроскопии.

Согласно другому аспекту, может быть реализовано устройство, которое может использоваться для обнаружения микроскопических объектов инородного происхождения, присутствующих в жидкости, при этом устройство содержит вычислительное средство, сконфигурированное для выполнения операций способа, определенного выше.

Согласно еще одному аспекту может быть реализовано компьютерное программное изделие, содержащее инструкции программного кода, при исполнении которых процессор выполняет определенный выше способ.

Наилучшим образом разобраться как в самом изобретении, так и во множестве сопутствующих признаков, можно ознакомившись с изложенным ниже подробным описанием в совокупности с прилагаемыми к нему чертежами.

### КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ

Настоящее описание станет более понятным при ознакомлении с ним совместно с прилагаемыми чертежами, на которых:

на фиг. 1, 5 и 7 в виде схематично представленных алгоритмов показаны способы обнаружения микроскопических объектов инородного происхождения, присутствующих в жидкости;

на фиг. 2 и 6 схематично показаны кадры цифрового изображения и их данные изображения, используемые в способе обнаружения микроскопических объектов;

на фиг. 3 схематически показана интенсивность данных изображения;

на фиг. 4 схематически показаны микроскопические объекты и сформированные голографические рисунки, связанные с этими объектами; и

на фиг. 8 и 9 показаны устройства для обнаружения микроскопических объектов инородного происхождения, присутствующих в жидкости.

### ПОДРОБНОЕ ОПИСАНИЕ

Способ 10, показанный на фиг. 1, в ходе выполнения операции 11 включает получение первых, вторых и третьих данных изображения, которые, соответственно, формируются из первого, второго и третьего кадров цифрового изображения. Первый, второй и третий кадры цифрового изображения представляют собой кадры, захваченные последовательно по времени датчиком изображения, принимающим свет, прошедший через объем пробы, содержащий жидкость, в состав которой, возможно, входят микроскопические объекты инородного образования, при освещении объема пробы когерентным светом.

Указанное получение первых, вторых и третьих данных изображения является примером “использования” этих данных в способе. Кроме того, примерами такого использования являются обсуждаемые ниже операции, относящиеся к генерации дифференциальных данных изображения. Согласно другим вариантам осуществления настоящего изобретения способы могут быть реализованы по существу без получения первых, вторых и третьих данных изображения, но в этом случае они используются косвенно путем получения и обработки дополнительных данных изображения,

сгенерированных на основе первых, вторых и третьих данных изображения. Такие дополнительные данные изображения могут, например, представлять собой первые и вторые дифференциальные данные изображения, обсуждаемые ниже.

Объем пробы может находиться внутри кюветы или определяться ею. Определение объема пробы кюветой относится к внешней части, то есть к форме и размерам объема пробы, физически ограниченного кюветой или заключенного в кювете. Такая кювета может иметь любую подходящую форму и структуру, с одной или более прямолинейными или изогнутыми стенками, которые могут определять границы объема пробы. В альтернативном варианте объем пробы может содержать только часть внутреннего объема, определяемого кюветой.

“Кадр цифрового изображения”, или кратко “кадр”, обозначает содержимое данных, изначально захваченных посредством экспонирования пикселей или некоторого другого светочувствительного элемента(-ов) датчика изображения. После захвата кадр цифрового изображения или его данные изображения могут обрабатываться, и могут формироваться или генерироваться новые кадры цифрового изображения на основе данных изображения одного или более изначально захваченных кадров цифрового изображения. Кадр, таким образом, в целом содержит данные изображения, позволяющие составлять отображаемое цифровое изображение на основе этих данных изображения. Данные изображения кадра цифрового изображения могут содержать, например, информацию о световой энергии или интенсивности, принимаемой пикселями датчика изображения.

Под “датчиком изображения” понимается светочувствительный компонент или элемент, способный захватывать кадры цифрового изображения. Датчик изображения может содержать, например, CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor, комплементарный металло-оксидный полупроводник) или любой другой подходящий чувствительный элемент, используемый в качестве активного светодетекторного элемента формирования изображений.

Первый, второй и третий кадры цифрового изображения могут захватываться через постоянные интервалы времени между двумя последовательными кадрами. В других вариантах осуществления могут использоваться различные интервалы времени между захватом различных пар кадров цифрового изображения.

Множество кадров цифрового изображения может захватываться на постоянной основе таким образом, чтобы различные наборы трех кадров цифрового изображения из множества кадров могли использоваться в качестве первого, второго и третьего кадров

цифрового изображения. Таким образом, в один момент времени один конкретный кадр цифрового изображения может использоваться, например, в качестве первого кадра цифрового изображения, а в другой момент времени – в качестве второго или третьего кадра цифрового изображения.

Выражение “инородного происхождения” означает, что микроскопические объекты не образованы непосредственно исследуемой жидкостью. Эти объекты, таким образом, формируются из веществ, отличных от веществ(а) самой жидкости, поэтому объекты переносятся в жидкости или посредством жидкости. Они могут образовываться, например, из материалов труб или контейнеров, по которым переносится или в которых содержится рассматриваемая жидкость. Микроскопические частицы или вещества таких систем могут попадать в жидкость, например, в результате разрыва трубы или неисправности оборудования. В альтернативном варианте микроскопические объекты инородного происхождения могут формироваться из инородных тел или загрязнений, сбрасываемых в такие трубы или контейнеры. В случае, например, систем водоснабжения такими инородными телами, вносящими микробов в жидкость, могут являться трупы животных.

В случае систем и сетей подачи, распределения и использования воды, к микробам, которые в нормальных условиях должны отсутствовать, обычно относят, например, различные бактерии, такие как бактерии, принадлежащие к группам колиформных бактерий или легионелл, одноклеточные, такие как лямблия кишечная, или различные типы водорослей.

С другой стороны, с точки зрения физических свойств, микроскопические объекты инородного происхождения, например, обычно обладают показателем преломления, отличающимся от такого показателя, свойственного жидкости. Это позволяет осуществлять обнаружение таких объектов посредством оптического считывания. Согласно способу, показанному на фиг. 1, обнаружение микроскопических объектов основывается на рассеянии света этими объектами вследствие разницы между показателями преломления микроскопических объектов и жидкости.

“Движущаяся” природа микроскопического объекта указывает на нестационарный объект, то есть объект, изменяющий свою позицию в течение интервала между захватом двух последовательных кадров цифрового изображения.

При освещении объема пробы когерентным светом возможные микроскопические объекты, находящиеся в этом объеме, рассеивают часть света, и рассеянные и не

рассеянные части излучаемого света могут интерферировать, в результате чего формируются интерференционные кольца позади микроскопических объектов.

Освещение когерентным светом означает, что по меньшей мере часть света, которым освещается объем пробы, в пространстве и во времени достаточно когерентна, так что возможна указанная интерференция. Таким образом, “освещение когерентным светом” не исключает в то же время возможности освещения объема пробы также и не когерентным светом. Следовательно, свет, которым освещается объем пробы, может содержать как когерентную, так и не когерентную составляющие.

“Позади” обозначает местоположение интерференционных колец при наблюдении в направлении падения освещающего излучения, то есть когерентного света, которым освещается объем пробы. Другими словами, при наблюдении от местоположения источника света, вырабатывающего когерентное освещающее излучение, интерференционные кольца формируются в основном позади микроскопических объектов, то есть со стороны микроскопических объектов, противоположной стороне, с которой когерентный свет падает на микроскопические объекты.

Вследствие этого, каждые из первых, вторых и третьих данных изображения содержат, для движущегося микроскопического объекта, присутствующего в объеме пробы в момент захвата связанного кадра цифрового изображения, голографический рисунок с пространственно изменяющейся интенсивностью, сформированный интерференционными кольцами.

Когерентный свет, то есть освещающее излучение, может излучаться или направляться в виде или расширяющегося конуса или пучка, или в виде коллимированного пучка. В первом случае интерференционные кольца расширяются в зависимости от расстояния до рассеивающих микроскопических объектов. Кроме того, независимо от способа излучения или направления освещающего излучения, в виде расширяющегося или коллимированного пучка света, интерференционные кольца расширяются вследствие рассеяния света в различных направлениях, в зависимости от типов микроскопических объектов и длины волны освещающего излучения. Следовательно, чем больше расстояние между микроскопическим объектом и датчиком изображения, тем больше голографический рисунок, формируемый на датчике изображения.

С точки зрения размеров, максимальный диаметр, длина или ширина “микроскопических” объектов находятся в диапазоне 0,1; 0,5 или от 1,0 до 50, или 100 мкм. Объекты с такими малыми размерами невидимы для человеческого глаза, поэтому их

нельзя обнаружить визуально. С другой стороны, голограммы, формируемые объектами такого размера, обнаруживаются датчиком изображения достаточно малого размера. Кроме того, с такими микрометрическими размерами объекты рассеивают свет в основном в прямом направлении, что позволяет выполнять эффективное обнаружение путем осевой голографии.

Первые, вторые и третьи данные изображения могут содержать начальные данные изображения, непосредственно определяемые захваченным цифровым кадром изображения. В других вариантах осуществления такие данные изображения могут генерироваться посредством первоначальной подготовки или обработки этих начальных данных изображения некоторым подходящим образом. Такая подготовка или обработка может выполняться предварительно или в качестве одной из составляющих способа.

В качестве примера такой подготовки или обработки, способ, показанный на фиг. 1, включает опциональную операцию 12, в ходе выполнения которой первые, вторые и третьи данные изображения автоматически обрабатывают, чтобы обеспечить выравнивание фона изображения.

Под выравниванием фона понимается выравнивание общих показателей яркости или яркости фона по всей области изображения. Неравномерность общих показателей яркости или яркости фона может возникать, например, из-за неравномерности освещенности, неравномерности чувствительности датчика изображения или загрязнения оптических поверхностей на оптическом пути между источником светового излучения и датчиком изображения.

В результате выравнивания фона общие показатели яркости или яркости фона выравниваются и нормализуются во всей области изображения таким образом, что средняя интенсивность кадра изображения становится равной 1. Для каждого первого, второго и третьего кадра цифрового изображения это также означает, что возможная флуктуация или изменение общих показателей яркости или яркости фона от кадра к кадру устраняется. С другой стороны, выравнивание фона устраняет локальные изменения интенсивности в цифровом кадре изображения.

В этой области техники известно множество подходов для выполнения выравнивания фона кадра цифрового изображения. Например, могут использоваться эталонные данные изображения, которые генерируются в качестве средней составляющей от нескольких тестовых изображений, захваченных в отсутствие образца в объеме пробы.

Помимо указанной операции 12 выравнивания фона следует обратить внимание на то, что могут быть реализованы другие варианты осуществления для обеспечения

выравнивания фона без обработки данных изображения. Это может происходить, например, в том случае, если общие показатели яркости или яркости фона уже в значительной степени однородны и средние интенсивности полученных данных изображения уже нормализованы до единичного значения.

Термин “получение” данных изображения, формируемых на основе кадра цифрового изображения, указывает на любой подходящий способ предоставления такого доступного содержимого данных с целью автоматической обработки и/или сохранения. Сгенерированные первые, вторые и третьи данные изображения могут сохраняться в подходящем запоминающем устройстве, расположенном в оборудовании или устройстве, выполняющем способ, или в некотором другом оборудовании или устройстве, например на облачном сервере. Такое готовое сгенерированное содержимое данных может быть получено в ходе выполнения способа с использованием любых подходящих проводных или беспроводных данных, или тракта передачи сигнала. В некоторых вариантах осуществления указанный термин “получение” может также включать генерацию данных изображения или обработку начальных данных изображения для формирования подготовленных данных изображения. Пример этого подхода показан ниже на фиг. 7.

С помощью получаемых первых, вторых и третьих данных изображения в процессе выполнения способа 10, показанного на фиг. 1, реализуется операция 13а автоматической генерации первых дифференциальных данных изображения, содержащих разность первых и вторых данных изображения. Дифференциальные данные изображения могут рассматриваться в качестве данных изображения искусственно сформированного дифференциального кадра цифрового изображения. На фиг. 1 указанная генерация первых дифференциальных данных изображения является примером “получения” таких данных изображения. Согласно другим вариантам осуществления способы могут быть реализованы в том случае, если получены готовые сгенерированные первые дифференциальные данные изображения.

Разность первых и вторых данных изображения представляет собой дифференциальные данные изображения, сгенерированные путем вычитания значений интенсивности вторых данных изображения из значений интенсивности первых данных изображения, или наоборот.

В результате выполнения такой операции вычитания первые дифференциальные данные изображения, для каждого голографического рисунка, присутствующего в первых или вторых данных изображения, то есть присутствующего только в одном из наборов данных, содержат дифференциальный рисунок. В зависимости от того, в каких данных

изображения, первых или вторых, присутствует голографический рисунок, связанный с ним дифференциальный рисунок соответствует исходному голографическому рисунку или его инверсии, соответственно.

Если для первых и вторых данных изображения обеспечить выравнивание фона изображения с единичными средними интенсивностями, то первое дифференциальное изображение имеет нулевую среднюю интенсивность. В этом случае первые дифференциальные данные изображения могут содержать исходные или инвертированные голографические рисунки первых и вторых данных изображения, и по существу нулевую интенсивность (возможно с некоторым шумом) других данных.

В процессе операции 13b способа, соответствующей описанной выше операции 13a, автоматически генерируются вторые дифференциальные данные изображения, содержащие разность вторых и третьих данных изображения. В примере, показанном на фиг. 1, указанная генерация вторых дифференциальных данных изображения является примером “получения” таких данных изображения. Согласно другим вариантам осуществления, способы могут быть реализованы в том случае, если получены готовые сгенерированные вторые дифференциальные данные изображения.

Приведенное выше обсуждение, касающееся первых дифференциальных данных изображения и их генерации, также с соответствующими изменениями применимо ко вторым дифференциальным данным изображения и их генерации.

В результате выполнения такой операции вычитания, вторые дифференциальные данные изображения для каждого голографического рисунка, присутствующего во вторых или третьих данных изображения, то есть присутствующего только в одном из наборов данных, содержат дифференциальный рисунок. В зависимости от того, в каких данных изображения, вторых или третьих, присутствует голографический рисунок, связанный с ним дифференциальный рисунок соответствует исходному голографическому рисунку или его инверсии, соответственно.

В этом описании термин “голографический рисунок” используется для обозначения картин, сформированных интерференционными кольцами, появляющимися в результате наличия подвижных объектов, присутствующих только в пробе. Кроме того, стационарные микроскопические объекты, присутствующие в объеме пробы или обычно лежащие между источником светового излучения и цифровым датчиком изображения, вызывают появление голографического рисунка в данных изображения захваченного кадра цифрового изображения. Однако такой голографический рисунок, появление которого вызвано стационарным объектом, имеет одинаковый вид в каждом из первых,

вторых и третьих данных изображения и, следовательно, отсутствует в первых и вторых дифференциальных данных изображения, полученных после вычитания. Таким образом, голографические рисунки, появление которых вызвано, например, частицами грязи или пыли, прилипшей к поверхностям оборудования или устройства, автоматически устраняются из дифференциальных изображений и не мешают обнаружению движущихся микроскопических частиц.

Каждый голографический рисунок, присутствующий в первых или третьих данных изображения, появляется, в своем исходном виде или в качестве инвертированного рисунка, только в первых или вторых дифференциальных данных изображения. В отличие от этого, для тех голографических рисунков, которые присутствуют во вторых данных изображения, существуют аналоги как в первых, так и во вторых дифференциальных данных изображения. В одних из них такой аналог в виде дифференциального рисунка соответствует исходному голографическому рисунку. В других данных дифференциальный рисунок соответствует инверсии исходного голографического рисунка.

Пространственно изменяющаяся интенсивность исходного голографического рисунка в общем сохраняется, хотя она может инвертироваться, как обсуждалось выше, в дифференциальных рисунках, формирующих дифференциальные данные изображения.

В ходе выполнения операции 14 автоматически генерируются данные изображения произведения разностей (POD, Product Of Difference), содержащие произведение первых и вторых дифференциальных данных изображения. Данные изображения POD могут рассматриваться в качестве данных изображения искусственного кадра цифрового изображения POD.

Произведение первых и вторых дифференциальных данных изображения представляет собой произведение данных изображения, генерированное путем умножения друг на друга значений интенсивности первых дифференциальных данных изображения и вторых дифференциальных данных изображения.

В результате выполнения такой операции умножения данные изображения POD содержат рисунок произведения для каждого такого голографического рисунка, присутствующего во вторых данных изображения и, таким образом, имеющего аналог как в первых, так и во вторых дифференциальных данных изображения.

Вследствие перемножения первых и вторых дифференциальных данных изображения, рисунок произведения характеризуется высокими абсолютными значениями интенсивности, которые могут по существу равняться второй степени значений

интенсивности исходного голографического рисунка. Такие высокие значения интенсивности обеспечивают хороший базис для операции 17, в ходе выполнения которой обнаруживается присутствие одного или более движущихся микроскопических объектов инородного происхождения в объеме пробы на основе одного или более рисунков произведения, присутствующих в данных изображения POD.

Обнаружение присутствия микроскопического объекта “на основе” рисунка произведения, присутствующего в данных изображения POD, означает интерпретацию наличия рисунка произведения в данных изображения POD в качестве индикации движущегося микроскопического объекта инородного происхождения, находящегося в объеме пробы. Обнаружение может выполняться непосредственно на основе рисунка произведения. Другими словами, такой объект может обнаруживаться на основе данных изображения POD.

Обнаружение присутствия микроскопических объектов означает, во-первых, определение наличия любых микроскопических объектов в жидкости. В этом смысле обнаружение присутствия таких объектов может также включать определение и заключение о том, что такие объекты отсутствуют в объеме жидкости, через которую световое излучение распространяется к датчику изображения. С другой стороны, если существует множество рисунков произведения в данных изображения POD, способ может закономерно включать, помимо определения присутствия микроскопических объектов в общем, также определение их числа в анализируемом объеме жидкости.

Результат операции определения, то есть информация о наличии по меньшей мере одного микроскопического объекта в анализируемом объеме жидкости, может выражаться в любых подходящих электрических данных или сигналах, подходящих для сохранения и дальнейшей передачи.

“Автоматическое” выполнение одной или более операций способа означает выполнение рассматриваемой операции(-й), например, указанного обнаружения присутствия микроскопического объекта(-ов) в жидкости, частично или полностью автоматически посредством одного или более подходящих блоков или модулей обработки данных. Полностью автоматическое выполнение операции означает выполнение операции в соответствии с заранее заданными правилами и процедурами без необходимости какого-либо содействия или определения, выполняемого пользователем оборудования или устройства, включающего такой блок или модуль. При выполнении операции частично автоматически, может осуществляться некоторое содействие или определение, выполняемое пользователем оборудования или устройства, включающего такой блок или

модуль. Помимо тех операций, для которых специально указано, что они должны выполняться полностью или частично автоматически, другие операции могут также могут выполняться полностью или частично автоматически.

С помощью описанного выше способа можно добиться множества преимуществ. Во первых, определение присутствия микроскопических объектов непосредственно в жидкости на основе данных изображения POD требует относительно низких затрат на вычисления или обработку данных, в особенности по сравнению с принятым способом голографической микроскопии, согласно которому выполняется реальная реконструкция в одной или более двумерных плоскостях трехмерного объема пробы, и обнаружение рассеивающих объектов осуществляется на основе реконструированного изображения (изображений). С другой стороны, обнаружение микроскопических объектов по существу может выполняться быстрее по сравнению с подходом, в котором используется полная реконструкция объема пробы или двумерных его сечений.

Экономия требуемых вычислительных ресурсов и/или времени обработки может позволить реализовать небольшие, экономически эффективные устройства обработки, например, для контроля качества воды.

Кроме того, согласно описанному выше способу возможные голографические рисунки, возникающие из-за стационарных объектов, таких как частицы грязи или пыли, возможно прилипшей к различным поверхностям устройства, автоматически устраняются из данных, на основе которых выполняется обнаружение микроскопических объектов.

Процесс, показанный на фиг. 2 и выполняющийся с помощью кадров цифрового изображения, может, в основном, соответствовать способу, описанному выше со ссылкой на фиг. 1.

На фиг. 2 показаны последовательно захватываемые в ходе выполнения процесса первый, второй и третий цифровые кадры (210, 220, 230) изображения. В примере на фиг. 2 показано, что в цифровых кадрах изображения каждые данные изображения содержат один голографический рисунок 211, 221, 231, образующийся из-за наличия движущегося микроскопического объекта, присутствующего в объеме пробы в момент захвата рассматриваемого кадра цифрового изображения. Голографические рисунки различных кадров цифрового изображения могут образовываться из одного отдельного движущегося микроскопического объекта, распространяющегося в объеме пробы и, таким образом, появляющегося в различных местоположениях в моменты захвата различных кадров цифрового изображения. В альтернативном варианте они могут образовываться из-за различных микроскопических объектов.

Кроме того, каждые данные изображения также содержат голографические рисунки 212, 222, 232, образующиеся из-за стационарных микроскопических объектов, которые могут представлять собой, например, пыль или грязь. Эти голографические рисунки выглядят в цифровых кадрах изображения и их данных изображения по существу аналогично и находятся в одном и том же месте области изображения. Следовательно, как показано на чертеже, в первых и вторых дифференциальных цифровых кадрах 240, 250 изображения они практически удаляются из первых и вторых дифференциальных данных изображения.

В первых дифференциальных данных 240 изображения имеется два дифференциальных рисунка. Первый дифференциальный рисунок 243 первых дифференциальных данных изображения образуется из голографического рисунка 211, присутствующего в первых данных 210 изображения. Второй дифференциальный рисунок 244 первых дифференциальных данных изображения образуется из голографического рисунка 221, присутствующего в первых данных 220 изображения. Первый дифференциальный рисунок 243 по существу аналогичен голографическому рисунку 211 первых данных 210 изображения. В отличие от этого, второй дифференциальный рисунок 244 имеет вид по существу инвертированного рисунка голографического рисунка 221 вторых данных 220 изображения. Это происходит вследствие формирования первых дифференциальных данных 240 изображения на основе вычитания вторых данных 220 изображения из первых данных 210 изображения.

Кроме того, во вторых дифференциальных данных 250 изображения имеется два дифференциальных рисунка. Первый дифференциальный рисунок 253 вторых дифференциальных данных изображения образуется из голографического рисунка 221, присутствующего во вторых данных 220 изображения. Второй дифференциальный рисунок 254 вторых дифференциальных данных изображения образуется из голографического рисунка 231, присутствующего в третьих данных 230 изображения. Первый дифференциальный рисунок 253 по существу аналогичен голографическому рисунку 221 вторых данных 220 изображения. В отличие от этого, второй дифференциальный рисунок 254 имеет вид по существу инвертированного голографического рисунка 231 третьих данных 230 изображения. Это происходит вследствие формирования вторых дифференциальных данных 250 изображения на основе вычитания третьих данных 230 изображения из вторых данных 220 изображения.

Согласно другим вариантам, вычитание данных изображения для генерации дифференциальных данных изображения может выполняться иначе. Первые

дифференциальные данные изображения могут основываться на вычитании первых данных изображения из вторых данных изображения, а вторые дифференциальные данные изображения могут основываться на вычитании вторых данных изображения из третьих данных изображения.

Искусственный цифровой кадр 260 изображения POD и его данные изображения генерируются на основе перемножения первых и вторых дифференциальных данных изображения.

В данных изображения POD имеется один рисунок 261 произведения, получаемый в результате перемножения второго дифференциального рисунка 244 первых дифференциальных данных 240 изображения и первого дифференциального рисунка 253 вторых дифференциальных данных 250 изображения. Вследствие инвертированной природы второго дифференциального рисунка 244 первых дифференциальных данных 240 изображения, результатом перемножения будет инвертированный вид рисунка 261 произведения. В случае скорректированной неравномерности фона первых, вторых и третьих данных 210, 220, 230 изображения, средние интенсивности первых и вторых дифференциальных данных 240, 250 изображения равны нулю. В таком случае указанная инвертированная природа или форма означает, что значения интенсивности, получаемые из ненулевых значений интенсивности интерференционных колец, связанных с голографическим рисунком 221, присутствующим во вторых данных 220 изображения, являются отрицательными.

Наличие рисунка 261 произведения в данных изображения POD указывает на присутствие движущих микроскопических объектов в объеме пробы в момент захвата вторых данных изображения. Таким образом, обнаружение микроскопического объекта может основываться на обнаружении рисунка произведения в данных изображения POD.

Данные POD, изначально сгенерированные на основе произведения первых и вторых дифференциальных данных изображения, могут далее обрабатываться или подготавливаться таким образом, чтобы упростить обнаружение возможных рисунков произведения. Например, поскольку значения интенсивности рисунка произведения могут быть отрицательными, данные изображения POD могут автоматически инвертироваться для замены отрицательных значений их интенсивности на положительные, и наоборот. После этого возможные результирующие отрицательные значения, которые могут инициироваться, например, положительными значениями сигнала шума в исходных данных изображения POD, могут автоматически преобразовываться в нулевое значение. Согласно другому варианту осуществления, все отрицательные значения интенсивности

исходного сигнала  $POD$  могут автоматически преобразовываться в их абсолютные значения. В обоих случаях результирующие обработанные или “инвертированные” данные изображения  $POD$  могут формироваться таким образом, чтобы их рисунки произведения содержали только положительные (или нулевые) значения интенсивности.

Кроме того, такие инвертированные данные  $POD$  могут далее обрабатываться путем сглаживания обычно пространственно изменяющейся интенсивности рисунка(-ов) произведения.

Термин “сглаживание” в данном случае означает уменьшение изменения пространственно изменяющейся интенсивности данных изображения по меньшей мере в области рисунка произведения. Для достижения этой цели может использоваться любой подходящий фильтр(-ы) и алгоритм(-ы). В результате отфильтрованные данные изображения  $POD$  могут содержать в области рисунка произведения значения лишь с незначительно изменяющейся в пространстве интенсивностью.

Такие возможно отфильтрованные данные изображения  $POD$  могут в дальнейшем обрабатываться посредством определения порогового значения для локально увеличивающейся интенсивности с помощью автоматического присвоения значениям, превышающим заранее заданный пороговый уровень, указанного постоянного уровня интенсивности, и в то же время обнуления значений, меньших указанного порога, или, возможно, присвоения им ненулевого базового уровня. Таким образом, отфильтрованные данные изображения могут содержать отфильтрованный голографический рисунок в виде бинарного изображения. В альтернативном варианте значения, превышающие пороговое значение, могут не изменяться.

С точки зрения изображения, в результате преобразования исходных отрицательных значений пространственно изменяющейся интенсивности в их положительные эквиваленты, возможно с последующим сглаживанием и/или определением порогового значения, могут формироваться отфильтрованные данные изображения, в которых обработанные данные изображения  $POD$  содержат “пятна” в местоположениях исходных рисунков произведения. Под “пятном” понимается область по существу с постоянной или незначительно пространственно изменяющейся локально увеличенной интенсивностью.

Опциональные операции преобразования отрицательных значений компонента интенсивности в положительные, сглаживания полученной таким образом кривой компонента интенсивности и дальнейшего определения порога сглаженной кривой показаны на фиг. 3.

На графике 3А пространственно изменяющаяся интенсивность 317 рисунка произведения, присутствующего в данных изображения РОД, приводится к среднему уровню 318 интенсивности, который может равняться нулю. Изменяющаяся интенсивность, получаемая в результате перемножения дифференциального рисунка и его инверсии, характеризуется только отрицательными пиками интенсивности.

На графике 3В пространственно изменяющаяся интенсивность 317 показана после преобразования исходных отрицательных значений отфильтрованного компонента пространственно изменяющейся интенсивности в их положительные аналоги.

На следующем этапе, показанном на графике 3С, кривая 317 интенсивности сглажена, в результате чего значения интенсивности в области рисунка произведения незначительно изменяются в виде огибающей исходных инвертированных пиков интенсивности.

На графике 3D заранее заданный пороговый уровень 319 интенсивности показан в виде пунктира на кривой 317 интенсивности.

Наконец, на графике 3Е показан сигнал 317 интенсивности в обработанных данных изображения РОД в местоположении исходного рисунка произведения после операции применения порогового значения. В ходе выполнения операции применения порогового значения, величины компонента интенсивности, превышающие пороговый уровень, преобразуются в постоянное значение 320 верхнего уровня, в то время как значения, лежащие ниже порогового уровня 319, обнуляются.

На фиг. 4 показана взаимосвязь между реальными микроскопическими объектами инородного происхождения, присутствующими в объеме пробы в момент захвата второго кадра цифрового изображения, и рисунками произведения, появляющимися в результате в данных изображения РОД.

На чертеже 4А показаны два практически точечных или круглых микроскопических объекта 416', 416'' различных размеров и один продолговатый микроскопический объект 416'''. На чертеже 4В схематично показаны два круглых и один слегка продолговатый исходные рисунки произведения 413', 413'', 413''', соответственно, образованные из дифференциальных рисунков первых и вторых дифференциальных данных изображения. Рисунки произведения формируются концентрическими интерференционными кольцами. Хотя на чертеже это не показано, но чем больше микроскопический объект, тем ярче интерференционные кольца связанного с ним голографического рисунка.

На чертеже 4С показаны обработанные рисунки 415', 415'', 415''' произведения, сформированные из исходных рисунков произведения после обработки данных изображения РОД с помощью операций, аналогичных тем, что показаны на фиг. 3. В результате преобразования отрицательных значений отфильтрованного компонента пространственно изменяющейся интенсивности в их положительные эквиваленты, с последующим выполнением операций сглаживания и применения порогового значения, обработанные рисунки произведения отфильтрованных данных изображения представляют собой простые пятна. Формы пятен указывают форму микроскопического объекта, а их размеры зависят от яркости подготовленных голографических рисунков и, таким образом, от размеров микроскопических объектов.

Для обнаружения рисунков произведения в данных изображения РОД может использоваться любой подходящий фильтр(ы) или алгоритм(ы) распознавания образов. Например, в случае отфильтрованных голограммных данных с отфильтрованными голограммными рисунками, содержащими "пятна", обсуждавшиеся выше, могут использоваться различные фильтры и алгоритмы обнаружения пятен.

С использованием одного или более рисунков произведения, обнаруженных в данных изображения РОД, возможен дальнейший анализ данных изображения, ориентированный или ограниченный фактическими местоположениями рисунков произведения в области изображения. В результате достигается значительная экономия требуемой вычислительной мощности, поскольку оставшиеся данные изображения анализировать не требуется.

Кроме того, размеры голографических рисунков могут оставаться практически неизменными в процессе генерации дифференциальных данных и данных изображения РОД, а также во время возможной дальнейшей обработки данных изображения РОД. Голографические рисунки обычно больше фактических объектов, поэтому в описанном выше способе шумы, возможно присутствующие в данных изображения, могут быть не столь опасны, как в случае обнаружения объектов небольших размеров в реконструированном изображении.

На фиг. 1 показано, что способ 10 включает опциональную операцию 18а, в ходе выполнения которой по меньшей мере один параметр формы обнаруженного микроскопического объекта инородного происхождения автоматически определяется на основе формы связанного с ним рисунка произведения, присутствующего в данных изображения РОД, или формы связанного дифференциального рисунка, присутствующего в первых или вторых дифференциальных данных изображения. Под "формой" рисунка

произведения или дифференциального рисунка может пониматься форма контура рисунка, а также, или в альтернативном варианте, общее распределение интенсивности в пределах рисунка.

Под “параметром формы” понимается подходящий индикатор, зависящий от или указывающий на одну или более характеристик формы микроскопического объекта.

Определение параметра формы может основываться на предварительно определенной взаимосвязи между вероятными формами микроскопических объектов и связанными формами дифференциальных рисунков и/или рисунков произведения. Например, продолговатый объект, такой как бактерии некоторых конкретных типов, обычно производит слегка продолговатый голографический рисунок, то есть голографический рисунок с интерференционными кольцами, более насыщенными в одном направлении, по сравнению с ортогональным направлением. Такая форма может в основном сохраняться в процессе генерации дифференциальных данных изображения и данных изображения POD и, возможно, также при дальнейшей обработке данных изображения POD, что позволяет выполнять непосредственное определение параметра формы исходного микроскопического объекта на основе дифференциальных рисунков и/или рисунков произведения.

При определении параметра формы микроскопического объекта может использоваться любой подходящий алгоритм(ы) распознавания образов.

Другая опциональная операция 18b может выполняться независимо от того, какая из ранее рассмотренных иных опциональных операций также подлежит выполнению. В ходе выполнения этой операции способ может также включать автоматическое определение по меньшей мере одного параметра позиции обнаруженного микроскопического объекта на основе позиции связанного с ним рисунка произведения, присутствующего в данных изображения POD, или позиции связанного с ним дифференциального рисунка, присутствующего в первых или вторых дифференциальных данных изображения, соответственно.

Под “параметром формы” понимается подходящий индикатор, зависящий от или указывающий на один или более отличительных признаков позиции микроскопического объекта в дифференциальных данных изображения и/или данных изображения POD. С использованием геометрических характеристик объема пробы, освещения и известного датчика изображения, параметр(ы) позиции может применяться для дальнейшего определения параметра позиции обнаруженного микроскопического объекта в объеме пробы в момент захвата второго кадра цифрового изображения.

При выполнении еще одной опциональной операции 18с, способ может также включать автоматическую идентификацию рисунка произведения, присутствующего в данных изображения POD, связанного с ним дифференциального рисунка, присутствующего в первых или вторых дифференциальных данных изображения, и автоматическое определение по меньшей мере одного параметра размера микроскопического объекта на основе амплитуды пространственно изменяющейся интенсивности связанного с ним дифференциального рисунка. Таким образом, после обнаружения рисунка произведения, например, посредством обнаружения “пятна” в обрабатываемых данных изображения POD и таким образом – микроскопического объекта инородного происхождения, можно оценить, то есть идентифицировать, какие дифференциальные рисунки присутствуют в дифференциальных данных изображения, сформировавших этот конкретный голографический рисунок произведения. Параметр(ы) размера, указывающий размер связанного микроскопического объекта, который произвел дифференциальные рисунки, может определяться на основе амплитуды рассматриваемого подготовленного голографического рисунка.

Под “параметром размера” понимается любой подходящий индикатор, зависящий от или указывающий на одну или более отличительных характеристик, таких как диаметр или длина связанного микроскопического объекта.

В альтернативном варианте можно определить один или более параметров размера обнаруженного микроскопического объекта непосредственно на основе рисунка произведения, присутствующего в данных изображения POD, которые вначале могут быть обработаны с помощью соответствующих операций, при условии, что рисунок произведения обладает достаточной оставшейся информацией об амплитуде интенсивности исходного голографического рисунка. Согласно еще одному подходу, один или более параметров размера могут определяться на основе исходного голографического рисунка, присутствующего во вторых данных изображения.

Термин “амплитуда”, используемый при определении параметра(-ов) размера, может означать амплитуду пространственно возрастающего и уменьшающегося компонента интенсивности, возможно приведенную к практически постоянному или слабо изменяющемуся в пространстве базовому уровню. Амплитуда такого компонента интенсивности, используемого при определении параметра(-ов) размера, может, например, представлять собой максимальную или среднюю пиковую амплитуду, или полный размах амплитуды, вторую наибольшую пиковую амплитуду, или полный размах амплитуды, или любую другую подходящую связанную с амплитудой величину

интенсивности в области голографического рисунка, дифференциального рисунка или рисунка произведения.

В тех вариантах осуществления, в которые включено определение одного или более параметров размера микроскопического объекта, используется связь между яркостью интерференционных колец и размером объекта. Чем больше размер объекта, тем выше интенсивность в интерференционном максимуме интерференционных колец.

Опциональные операции способа, показанные на фиг. 1, могут выполняться независимо друга от друга. Таким образом, способ может быть реализован с использованием любой комбинации из одной или более опциональных операций. Кроме выравнивания яркости фона, выполняемого перед генерацией дифференциальных данных изображения, опциональная операция(-и) может выполняться в любом подходящем порядке или, по меньшей мере частично, одновременно.

Любые параметры формы, позиции и размера могут быть предоставлены для дальнейшего использования или для сохранения в виде подходящих электрических данных или сигнала.

Кроме того, при определении параметра размера микроскопического объекта помимо амплитуды или яркости могут использоваться и другие параметры, такие как пространственная частота интерференционных колец.

Идентификация дифференциального рисунка, связанного с конкретным рисунком произведения, может основываться на сравнении позиций рисунка произведения и дифференциального рисунка в данных изображения POD и дифференциальных данных изображения, соответственно.

В области дифференциального изображения вне дифференциального рисунка (рисунков) может оставаться некоторый ненулевой шум или сигнал интенсивности, похожий на шум. При перемножении первых и вторых дифференциальных данных изображения такие ненулевые значения амплитуды могут образовывать ненулевой пространственно изменяющийся рисунок(-и) в данных изображения POD в местоположении(-ях) возможного дифференциального рисунка(-ов), сформированного из голографических рисунков, присутствующих только в первых или третьих данных изображения. Пример, показанный на фиг. 5, иллюстрирует, каким образом можно упростить устранение такой возможной пространственно изменяющейся интенсивности, не связанной с реальным рисунком произведения, вне данных изображения POD.

До генерации первых и вторых дифференциальных данных изображения в процессе операций 53a, 53b включительно, способ 50, показанный на фиг. 5, может

выполняться в соответствии с любым из способов, обсуждавшихся выше со ссылкой на фиг. 1–4.

Способ 50, показанный на фиг. 5, отличается от способов, обсуждавшихся выше со ссылкой на фиг. 1–4, тем, что он включает, перед обнаружением в ходе операции 55 наличия движущегося микроскопического объекта(-ов) инородного происхождения, автоматическую генерацию данных изображения суммы разностей (SOD, Sum Of Difference), которые содержат сумму первых и вторых дифференциальных данных изображения. При выполнении операции 55 может выполняться генерация данных изображения SOD перед, после или одновременно с генерацией данных изображения POD.

Как обсуждалось выше, в данных изображения POD существуют фактические рисунки произведения только для тех первых дифференциальных рисунков, которые появляются в первых и вторых дифференциальных данных изображения. В отличие от этого, при суммировании первых и вторых дифференциальных данных изображения для данных изображения SOD такие первые дифференциальные рисунки изображения, представляющие собой инверсии друг друга, практически исчезают. Наоборот, возможные вторые рисунки, каждый из которых появляется только в первых или третьих данных изображения, остаются во время операции суммирования. Таким образом, данные изображения SOD содержат сумму рисунков для каждого такого голографического рисунка, присутствующего только в первых или третьих данных изображения.

В отличие от способов, обсуждавшихся выше со ссылкой на фиг. 1, способ 50, показанный на фиг. 5, включает, в ходе выполнения операции 56, автоматическую фильтрацию данных изображения POD на основе данных изображения SOD таким образом, чтобы установить абсолютные значения пространственно изменяющейся интенсивности данных изображения POD в местоположении возможного суммарного рисунка, присутствующего в данных изображения SOD, меньшими или равными предельному значению. Такое предельное значение может, например, быть нулевым.

Под “фильтрацией” понимается любая подходящая процедура, позволяющая выполнять указанную настройку данных изображения POD в местоположениях возможных суммарных рисунков, присутствующих в данных изображения SOD. В процессе такой фильтрации данные изображения SOD могут, например, использоваться в качестве “маски” таким образом, чтобы в местоположении(-ях) их суммарного рисунка(-ов) устранялось пространственное изменение интенсивности данных изображения POD.

Такая генерация данных изображения SOD и их использование в “очищаемом” изображении POD показана на фиг. 6.

Первые и вторые дифференциальные данные 640, 650 изображения, показанные на фиг. 6, могут соответствовать первым и вторым дифференциальным данным изображения, обсуждавшимся выше со ссылкой на фиг. 2. Начальные данные 660 изображения POD, сгенерированные на основе первых и вторых дифференциальных данных изображения, отличаются от данных изображения POD, показанных на фиг. 2, тем, что они содержат первые и вторые рисунки 666, 667 пространственно изменяющейся интенсивности в местоположениях первого дифференциального рисунка 643 первых дифференциальных данных 640 изображения и второго дифференциального рисунка 654 вторых дифференциальных данных 650 изображения, соответственно.

В данных 670 изображения SOD имеется первый суммарный рисунок 676, получаемый из первого дифференциального рисунка 643 первых дифференциальных данных 640 изображения, и второй суммарный рисунок 677, получаемый из второго дифференциального рисунка 654 вторых дифференциальных данных 650 изображения.

В результате фильтрации данных изображения POD посредством данных изображения SOD, как описано выше, образуются отфильтрованные данные 680 изображения POD. В отфильтрованных данных 680 изображения POD все еще присутствует рисунок 681 произведения, но рисунки 666, 667 пространственно изменяющейся интенсивности начальных данных 660 изображения POD удалены.

На фиг. 5 показано, что в ходе выполнения операции 57 автоматически обнаруживается присутствие одного или более движущихся микроскопических объектов инородного происхождения в объеме пробы на основе одного или более рисунков произведения, присутствующих в отфильтрованных данных изображения POD.

Способы, обсуждавшиеся выше, и их варианты осуществления могут быть реализованы в виде процессов анализа проб, в ходе которых стационарный объем пробы жидкости содержится в замкнутой кювете, структура которой, возможно, определяет объем пробы.

В альтернативном варианте в некоторых применениях могут обнаруживаться микроскопические объекты, присутствующие или возникающие в текучей среде, и, возможно, могут определяться их характеристики.

Выше при обсуждении способа внимание заострялось только на операциях обработки фактических данных. Это указывает на то, что этап, предшествующий захвату данных изображения, необязательно является частью способа. Это позволяет, например,

реализовать оборудование или устройство анализа, которое выполняет обнаружение и определение микроскопических объектов отдельно от операций фактического освещения и захвата изображения.

Кроме того, можно реализовать законченный способ обнаружения, включающий также и эти операции. Способ 70, частично показанный на фиг. 7, который в основном может быть реализован в соответствии с любым из предшествующих вариантов осуществления, представляет пример такого подхода.

Согласно способу, показанному на фиг. 7, получение первых, вторых и третьих данных изображения в ходе выполнения операции 71 включает подачу, в процессе подоперации 711, когерентного излучения и освещение, в ходе выполнения подоперации 712, когерентным светом объема пробы, который может находиться внутри кюветы или определяться ею, и содержит жидкость, возможно включающую движущиеся микроскопические объекты инородного происхождения. При освещении микроскопические объекты рассеивают часть света, при этом рассеянный и не рассеянный свет интерферирует, в результате чего формируются интерференционные кольца позади микроскопических объектов. В ходе выполнения подоперации 713 первые, вторые и третьи кадры цифрового изображения захватываются датчиком изображения, принимающим свет, распространяющийся через объем пробы.

В этом варианте осуществления способ также включает операции фактического освещения и захвата изображения, требуемые для генерации подготовленных данных изображения.

Первые, вторые и третьи данные изображения захваченных первого, второго и третьего кадров цифрового изображения, соответственно, могут формировать, таким образом, первые, вторые и третьи данные изображения. В альтернативном варианте эти данные изображения могут генерироваться или порождаться путем обработки указанных данных изображения с помощью любой подходящей операции.

Как обсуждалось выше, указанные способы и различные варианты их осуществления могут использоваться, например, для контроля качества жидкостей, такой как вода или жидкость, применяемая в процессе производства, в которых содержание микроскопических частиц или микробов является важным параметром, указывающим качество жидкости. Кроме того, помимо обнаружения микроскопических объектов, способы и варианты их осуществления, обсуждавшиеся выше, могут включать инициирование заранее заданных действий, если содержание микроскопических объектов,

то есть объем и/или тип обнаруженных микроскопических объектов, удовлетворяет заранее заданным критериям.

Такие действия могут включать, например, сбор пробы контролируемой жидкости для последующего анализа, управление процессом или системой, в которой содержится контролируемая жидкость или из которой она поставляется, и/или генерацию сигнала оповещения.

Операции способа и различные варианты его осуществления, разъясняемые выше и выполняемые, по меньшей мере частично, автоматически, могут осуществляться с помощью любых подходящих вычислительных средств и/или средств обработки данных. Такие средства могут содержать, например, по меньшей мере один процессор и по меньшей мере одну память, связанную с процессором. По меньшей мере в одной памяти могут храниться инструкции программного кода, при выполнении которых по меньшей мере одним процессором осуществляются операции, соответствующие различным операциям способа. В альтернативном варианте, или дополнительно, по меньшей мере ряд этих операций может выполняться, по меньшей мере частично, некоторыми аппаратными логическими элементами или компонентами, такими как программируемые пользователем вентильные матрицы (FPGA, Field-Programmable Gate Array), специализированные интегральные схемы (ASIC, Application-Specific Integrated Circuit), специализированные стандартные изделия (ASSP, Application-Specific Standard Products), однокристальные (SOC, System-On-a-Chip) системы, сложные устройства с программируемой логикой (CPLD, Complex Programmable Logic Device) и т.д., без ограничения указанными примерами.

Вся подробная информация, способы реализации, предпочтительные признаки и преимущества, указанные выше со ссылкой на аспект способа, подходят, с соответствующими изменениями, также к аспекту устройства, обсуждаемого ниже. Также справедливо и обратное.

Устройство 800, показанное на фиг. 8, может использоваться для обнаружения микроскопических объектов инородного происхождения, присутствующих в жидкости. Устройство содержит вычислительное средство 885, сконфигурированное для выполнения операций любого из способов, обсуждавшихся выше со ссылкой на фиг. 1–6.

Вычислительное средство может содержать любое подходящее оборудование обработки данных и связи, блок(и), элемент(ы) и компонент(ы), способные выполнять операции способа, рассмотренного выше.

В примере, показанном на фиг. 8, вычислительное средство 885 содержит блок 886 обработки, сконфигурированный для выполнения операций получения первых, вторых и третьих данных 810, 820, 830 изображения и автоматической генерации первых и вторых дифференциальных данных 840, 850 изображения и данных 860 изображения POD. В других вариантах осуществления блок обработки может быть сконфигурирован для получения готовых сгенерированных первых и вторых дифференциальных данных изображения вместо их генерации. Далее по существу отсутствует необходимость получения первых, вторых и третьих данных изображения. Блок 886 обработки может быть также сконфигурирован для автоматической генерации возможных данных SOD (не показанных на фиг. 8) и выполнения возможной фильтрации данных изображения POD. Наконец, блок 886 обработки сконфигурирован для автоматического обнаружения наличия возможного движущегося микроскопического объекта(-ов) инородного происхождения в объеме пробы на основе (возможно отфильтрованных) данных изображения POD.

Блок обработки также может быть сконфигурирован для выполнения любой из опциональных операций, обсуждаемых выше.

Если указано, что вычислительные средства или блок обработки "сконфигурированы для" выполнения конкретной операции способа, то это означает, что вычислительные средства или блок обработки содержит или служит в качестве "средств для" выполнения этой операции.

Вычислительное средство может содержать отдельные устройства для выполнения различных операций. В альтернативном варианте любое из таких устройств для выполнения различных операций, указанных выше, может являться составным, чтобы с помощью одного устройства выполнялось несколько операций. Возможно даже, что все такие операции выполняются одним устройством, например отдельным модулем или блоком обработки данных. В примере, показанном на фиг. 8, этот вариант проиллюстрирован блоком 886 обработки.

Любые средства для выполнения любых из указанных выше операций могут включать один или более компьютеров или других вычислительных компонентов и/или компонентов обработки данных, блоков, устройств или оборудования. Помимо фактических вычислительных средств и/или средств обработки данных, средства для выполнения указанных операций могут, естественно, также включать любые подходящие средства передачи данных или сигналов и средства связи, а также память или запоминающие устройства для хранения генерированных и/или принятых данных.

Вычислительные средства и/или средства обработки данных, такие как блок 886 обработки, показанный в примере на фиг. 8, служащие в качестве средств выполнения одной или более указанных выше операций, могут содержать, например, по меньшей мере одну память и по меньшей мере один процессор, связанный по меньшей мере с одной памятью. В таком случае по меньшей мере одна память может содержать инструкции машиночитаемого программного кода, которые при выполнении по меньшей мере одним процессором заставляют устройство выполнять по меньшей мере рассматриваемую операцию.

Дополнительно или в качестве альтернативы комбинация процессора, памяти и инструкций программного кода, выполняемых процессором, а также средств для выполнения одной или более операций может содержать некоторые аппаратные логические компоненты, элементы или блоки, соответствующие примерам упомянутым выше в контексте аспекта способа.

Помимо фактического обнаружения микроскопических объектов в жидкости, подлежащей анализу, вычислительное средство 885, а на практике - блок 886 этого средства, сконфигурировано для генерации сигнала 887 оповещения, указывающего на то, что для объема, типа или, например, среднего размера микроскопических частиц удовлетворяются заранее заданные критерии. Устройство содержит средство 888 передачи для передачи такого сигнала оповещения из устройства, например, в некоторую централизованную систему управления. Средство передачи может содержать, например, средства беспроводной передачи данных, включающие, например, антенну. Средство передачи и средство генерации сигнала оповещения выполняют опциональные функции, и возможны также варианты осуществления настоящего изобретения, в которых эти функции не используются. Согласно другим вариантам осуществления настоящего изобретения, могут быть реализованы вычислительные средства, не сконфигурированные для генерации какого-либо сигнала оповещения. Таким образом, устройство может быть реализовано без какого-либо средства передачи.

Согласно вышеизложенному, устройство определяется как содержащее только вычислительные средства или средства обработки данных. В показанном на фиг. 9 варианте осуществления, который может соответствовать любому из предшествующих вариантов осуществления, обсуждавшихся выше со ссылкой на фиг. 8, иллюстрируется реализация полного устройства 900 обнаружения. Устройство 900 обнаружения отличается от устройства, показанного на фиг. 8, тем, что оно, помимо вычислительного средства 985, содержит также измерительное средство 990, сконфигурированное для выполнения захвата первых, вторых и третьих данных 910, 920, 930 изображения,

подлежащих обработке вычислительным средством. Таким образом, согласно этому подходу, устройство также содержит средства выполнения измерений физических величин.

Более конкретно, измерительное средство содержит кювету 991, определяющую объем пробы для приема жидкости 992, возможно содержащей микроскопические объекты 916 инородного происхождения; устройство 993 освещения, сконфигурированное для излучения когерентного света 994 и освещения жидкости, принимаемой в объеме пробы, когерентным светом, при этом возможные микроскопические объекты рассеивают часть света, и рассеянный и не рассеянный свет интерферирует, в результате чего формируются интерференционные кольца позади микроскопических объектов; и датчик 995 изображения, расположенный и сконфигурированный для захвата кадров цифрового изображения путем приема света, распространяющегося через кювету и объем пробы, находящийся в ней.

Согласно этому варианту осуществления, вычислительное средство 985 соединяется с измерительным средством 990 для приема данных изображения захваченного цифрового кадра(-ов) изображения, которые формируют основу для первых, вторых и третьих данных 910, 920, 930 изображения, обсуждаемых выше. Вычислительное средство может также конфигурироваться для управления измерительным средством, а также устройством освещения и датчиком изображения, расположенными в нем.

Под “кюветой” понимается любая подходящая ячейка пробы или контейнер, способные принять жидкость, подлежащую анализу. Кювета может быть ограничена одной или более стенками, определяющими внутреннее пространство ее объема для приема указанной жидкости. Под определением внутренней объем понимается то, что одна или более стенок ограничивают или окружают поперечное сечение внутреннего объема по периметру. Другими словами, одна или более стенок и/или некоторые другие подходящие структуры кюветы полностью охватывают весь внутренний объем по меньшей мере одного поперечного сечения и, таким образом, предотвращают утечку подлежащей измерению жидкости из внутреннего объема в направлении плоскости такого поперечного сечения.

Кювета и измерительное средство в целом, встраиваемое в кювету, могут иметь любые подходящие размеры, с учетом рассматриваемого применения. Например, толщина внутреннего объема в направлении падения освещающего излучения, может составлять от 0,5 до 1 мм. Ширина кюветы может регулироваться, например, в соответствии с размером

светочувствительного элемента датчика изображения, который может находиться, например, на расстоянии от 1 до 3 мм от внутреннего объема кюветы. Например, размеры кюветы в одном или более направлений могут по ширине составлять 4–8 мм. Ширина одного пикселя светочувствительного элемента может составлять, например, от 1,5 до 5 мкм. Например, ширина прямоугольного пикселя может составлять около 2 мкм. Позиция источника света в устройстве освещения может изменяться в зависимости, например, от источника света и размера светоизлучающей поверхности. В одном из примеров лазерный диод в качестве светоизлучающего элемента источника света может располагаться в нескольких десятках миллиметров, например, на расстоянии около 40 мм, от внутреннего объема кюветы.

В целом кювета может служить для отбора проб и может содержать дискретный объем жидкости. В примере на фиг. 9 показано устройство проточного типа, в котором постоянный поток жидкости 992, подлежащей анализу, может во время анализа проходить через кювету. В других вариантах осуществления могут использоваться кюветы других типов. Например, в некоторых вариантах осуществления кювета может быть сконфигурирована для работы в альтернативных режимах: как для отбора проб, так и в качестве кюветы проточного типа.

Кювета 991 содержит окна 996, 997, позволяющие свету, излучаемому устройством освещения, поступать в кювету и покидать ее. В примере, показанном на фиг. 9, устройство освещения и датчик изображения расположены с противоположных сторон кюветы для формирования прямого пути распространения света от устройства освещения до датчика изображения через кювету.

Устройство 993 освещения может содержать любой подходящий источник света, такой как лазерный диод, способный производить когерентный свет. Длина световой волны (волн) может находиться, например, в диапазоне от 350 до 500 нм, без ограничения указанным диапазоном. Устройство освещения может также содержать любой подходящий оптический элемент, сконфигурированный для направления излучаемого когерентного света в направлении кюветы и объема пробы с целью освещения содержащейся в ней жидкости.

Датчик 995 изображения может представлять собой датчик любого подходящего типа. Например, он может содержать ячейку CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor, комплементарный металло-оксидный полупроводник) или CCD (Charge-Coupled Device, прибор с зарядовой связью). Датчик изображения может представлять собой датчик черного-белого изображения. Подходящий размер активной области и

разрешение датчика изображения зависит от общей конфигурации измерительного средства. В некоторых применениях размер может, например, составлять  $5 \times 5 \text{ мм}^2$ . В некоторых применениях активная область датчика изображения может содержать, например, 5 миллионов пикселей.

Устройства, показанные на фиг. 8 и 9, могут быть реализованы в виде автономных устройств или датчиков. В альтернативном варианте они могут формировать часть более крупной системы управления или контроля.

В примерах на фиг. 8 и 9 устройства показаны в виде одного блока оборудования. В других вариантах осуществления устройства или системы могут быть реализованы в виде множества частей или модулей, соединенных друг с другом соответствующим образом, например, с помощью проводных или беспроводных соединений для передачи данных. При этом одна часть или модуль устройства, или системы, может быть сконфигурирована для выполнения только части способа. Например, возможна ситуация, в которой операции получения дифференциальных данных изображения выполняются частями или модулями, отличными от тех, которые задействованы для генерации данных изображения POD (и возможно SOD) и обнаружения наличия микроскопического объекта(-ов).

Согласно еще одному аспекту, не проиллюстрированному на чертежах, может быть реализовано компьютерное программное изделие, содержащее инструкции программного кода, при исполнении которых процессором выполняются операции, обсуждавшиеся выше со ссылкой на аспект способа или любой его вариант осуществления.

Такое компьютерное программное изделие может храниться на любом подходящем машиночитаемом носителе; при этом под компьютером понимается автоматические вычислительные средства любого типа.

Следует понимать, что настоящее изобретение не ограничено приведенными выше вариантами осуществления и примерами. Напротив, варианты осуществления настоящего изобретения могут свободно модифицироваться в рамках объема формулы изобретения.

Следует принимать во внимание, что выгоды и преимущества, описанные выше, могут относиться к одному варианту осуществления или примеру, или могут относиться к нескольким вариантам осуществления или примерам. Варианты осуществления и примеры реализации настоящего изобретения не ограничиваются теми, которые решают любые или все указанные проблемы, или теми, которые позволяют достичь указанных выгод и преимуществ. Кроме того, следует принимать во внимание, что термин “элемент” относится к одному или более таких элементам.

Термин “содержащий” используется в этом описании для включения признака(-ов) или действия(-й), следующих за этим термином, не исключая наличия одного или более дополнительных признаков или действий.

## ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ (10) обнаружения микроскопических объектов инородного происхождения, присутствующих в жидкости, путем использования первых, вторых и третьих данных изображения, формируемых, соответственно, из первого, второго и третьего кадров цифрового изображения, захваченных последовательно по времени датчиком изображения, принимающим свет, прошедший через объем пробы, содержащий жидкость, в состав которой возможно входят движущиеся микроскопические объекты инородного происхождения, при освещении объема пробы когерентным светом, при этом возможные микроскопические объекты рассеивают часть света, причем рассеянный и не рассеянный свет интерферирует так, что формирует интерференционные кольца позади микроскопических объектов, при этом каждые данные изображения содержат, для движущихся микроскопических объектов инородного происхождения, присутствующих в объеме пробы во время захвата соответствующего кадра цифрового изображения, голографический рисунок с пространственно изменяющейся интенсивностью, формируемый упомянутыми интерференционными кольцами (11), при этом способ включает:

получение первых дифференциальных данных изображения, содержащих разность первых и вторых данных изображения, при этом первые дифференциальные данные изображения содержат, для каждого голографического рисунка, присутствующего в первых или вторых данных изображения, дифференциальный рисунок (13a);

получение вторых дифференциальных данных изображения, содержащих разность вторых и третьих данных изображения, при этом вторые дифференциальные данные изображения содержат, для каждого голографического рисунка, присутствующего во вторых или третьих данных изображения, дифференциальный рисунок (13b);

автоматическую генерацию данных изображения произведения разностей (POD), содержащих произведение первых и вторых дифференциальных данных изображения, при этом данные изображения произведения разностей содержат, для каждого голографического рисунка, присутствующего во вторых данных изображения, рисунок произведения (14); и

автоматическое обнаружение наличия одного или более движущегося микроскопического объекта инородного происхождения в объеме пробы на основе одного или более рисунка произведения, присутствующего в данных изображения произведения разностей (17).

2. Способ по п. 1, включающий автоматическую обработку первых, вторых и третьих кадров цифрового изображения для выравнивания фона этих кадров (12).

3. Способ по п. 1 или 2, включающий также автоматическое определение по меньшей мере одного параметра формы обнаруженного микроскопического объекта инородного происхождения на основе формы связанного с ним рисунка произведения, присутствующего в данных изображения произведения разностей, или на основе формы связанного с ним дифференциального рисунка, присутствующего в первых или вторых дифференциальных данных изображения, соответственно (18a).

4. Способ по любому из п.п. 1–3, также включающий автоматическое определение по меньшей мере одного параметра позиции обнаруженного микроскопического объекта на основе позиции связанного с ним рисунка произведения, присутствующего в данных изображения произведения разностей, или позиции связанного с ним дифференциального рисунка, присутствующего в первых или вторых дифференциальных данных изображения, соответственно (18b).

5. Способ по любому из п.п. 1–4, также включающий автоматическую идентификацию, для рисунка произведения, присутствующего в данных изображения произведения разностей, связанного с ним дифференциального рисунка, присутствующего в первых или вторых дифференциальных данных изображения, и автоматическое определение по меньшей мере одного параметра размера соответствующего микроскопического объекта инородного происхождения на основе амплитуды пространственно изменяющейся интенсивности связанного с ним дифференциального рисунка (18c).

6. Способ (50) по любому из п.п. 1–5, также включающий, перед обнаружением наличия по меньшей мере одного движущегося микроскопического объекта инородного происхождения:

автоматическую генерацию данных изображения суммы разностей (SOD), содержащих сумму первых и вторых дифференциальных данных изображения, при этом данные изображения суммы разностей содержат, для каждого голографического рисунка, присутствующего в первых или третьих данных изображения, суммарный рисунок (55); и

автоматическую фильтрацию данных изображения произведения разностей на основе данных изображения суммы разностей таким образом, чтобы установить абсолютное значение пространственно изменяющейся интенсивности данных изображения произведения разностей в месте возможного присутствия суммарного рисунка в данных изображения суммы разностей, меньшим или равным предельному значению (56).

7. Способ (70) по любому из п.п. 1–6, отличающийся тем, что он включает получение первых, вторых и третьих данных изображения (71), и указанное получение данных включает:

подачу когерентного света (711);

освещение когерентным светом объема пробы, содержащего жидкость, возможно включающую движущиеся микроскопические объекты инородного происхождения, при этом возможные микроскопические объекты рассеивают часть света, и рассеянный и не рассеянный свет интерферирует так, что формирует интерференционные кольца позади микроскопических объектов (712); и

захват первого, второго и третьего кадров цифрового изображения датчиком изображения, принимающим свет, распространяющийся через объем пробы (713).

8. Устройство (800) для обнаружения микроскопических объектов (816) инородного происхождения, присутствующих в жидкости, при этом устройство содержит вычислительное средство (885), сконфигурированное для выполнения операций способа по любому из п.п. 1–6.

9. Устройство по п. 8, содержащее также измерительное средство (990), включающее:

кювету (991), определяющую объем пробы для приема жидкости (992), возможно содержащей микроскопические объекты (916) инородного происхождения;

устройство (993) освещения, сконфигурированное для излучения когерентного света (994) и освещения жидкости, принимаемой в объеме пробы, посредством когерентного света, при этом возможные микроскопические объекты (916) рассеивают часть света, и рассеянный и не рассеянный свет интерферирует так, что формирует интерференционные кольца позади микроскопических объектов; и

датчик (995) изображения, расположенный и сконфигурированный для захвата кадров цифрового изображения путем приема света, распространяющегося через объем пробы;

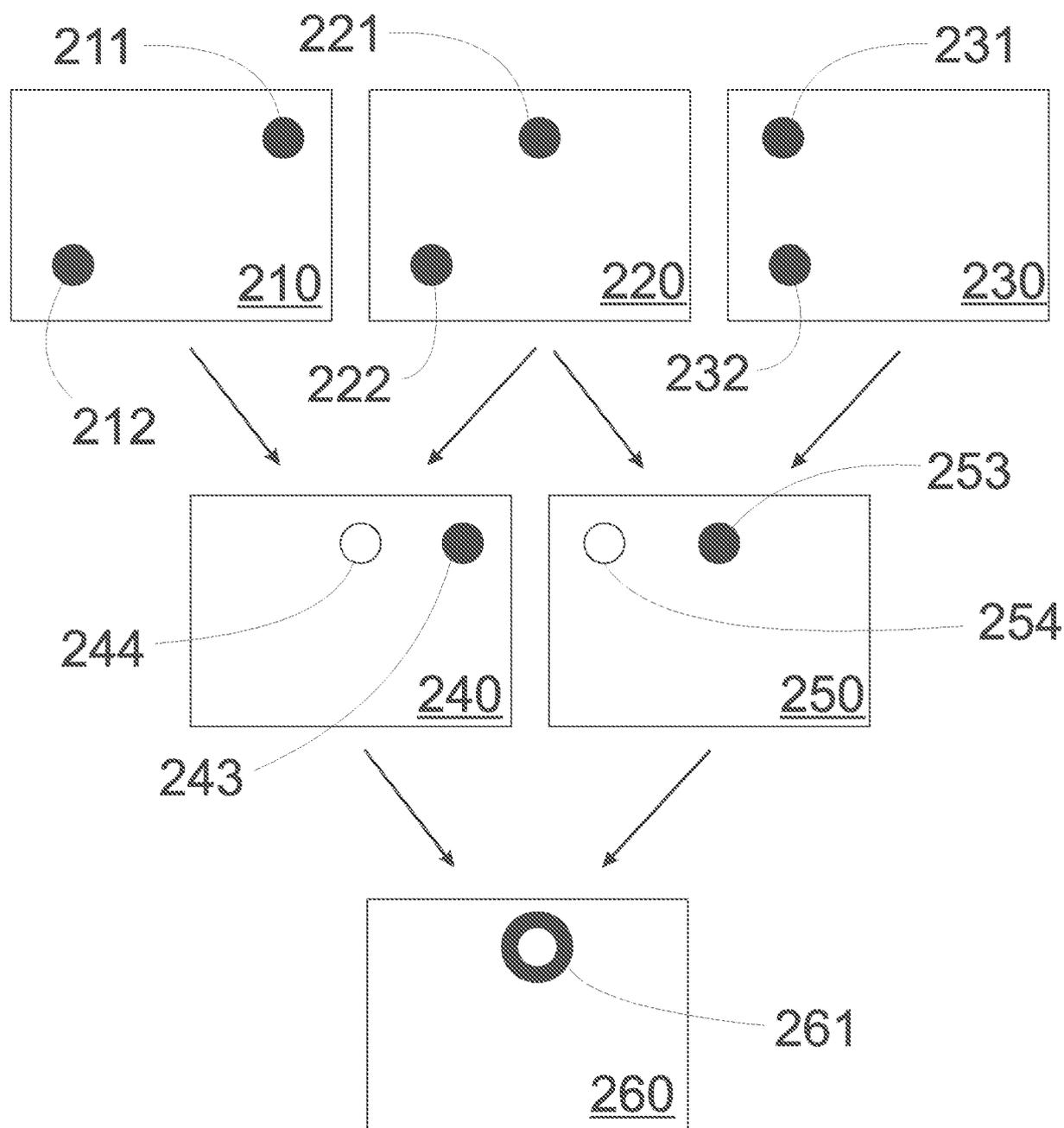
при этом вычислительное средство (985) соединено с измерительным средством для приема данных (910, 920, 930) изображения кадров цифрового изображения.

10. Устройство по п. 9, отличающееся тем, что кювета (991) представляет собой устройство проточного типа.

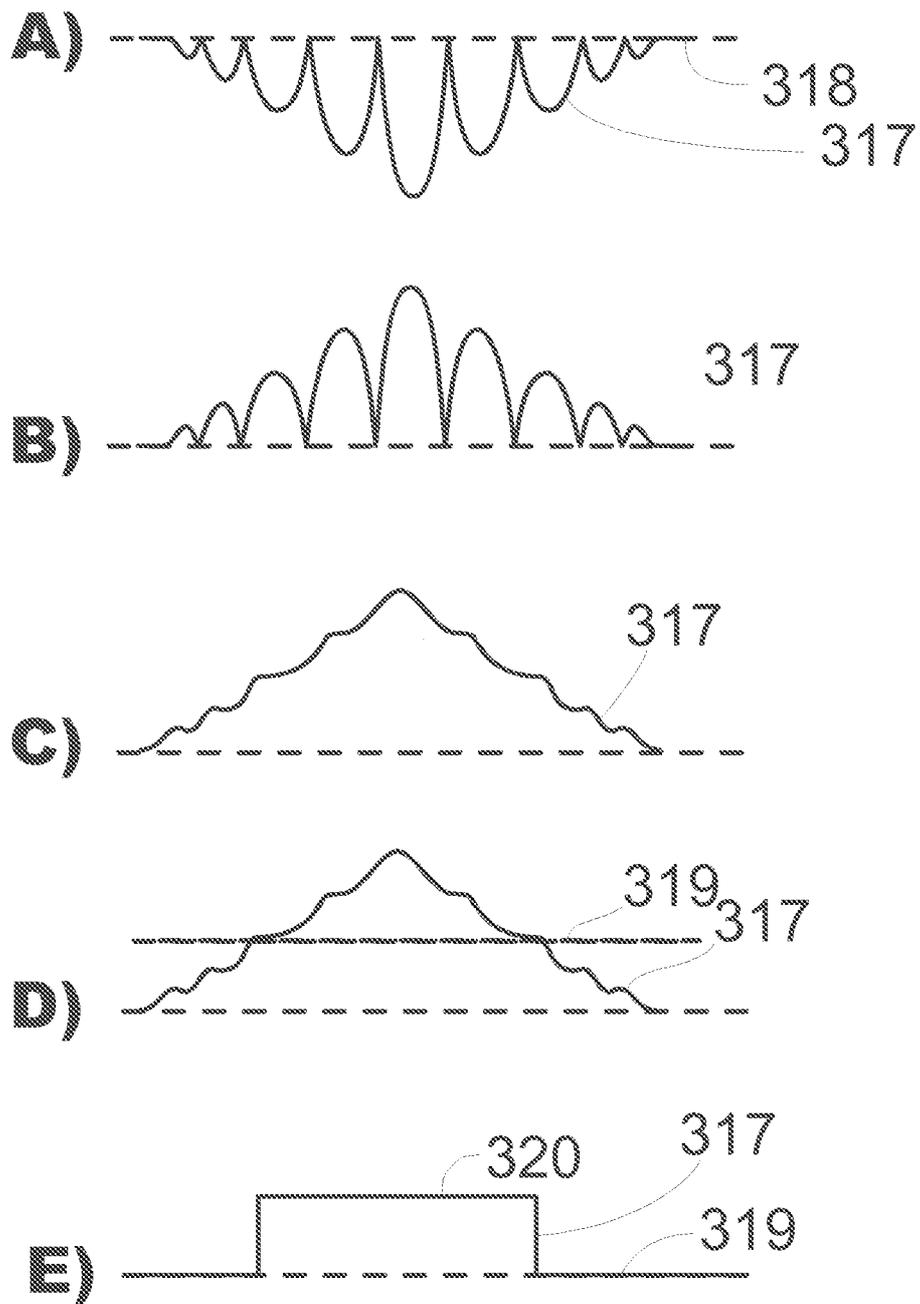
11. Компьютерное программное изделие, содержащее инструкции программного кода, при исполнении которых процессор выполняет способ по любому из п.п. 1–6.

12. Компьютерное программное изделие по п. 11, хранимое на машиночитаемом носителе.

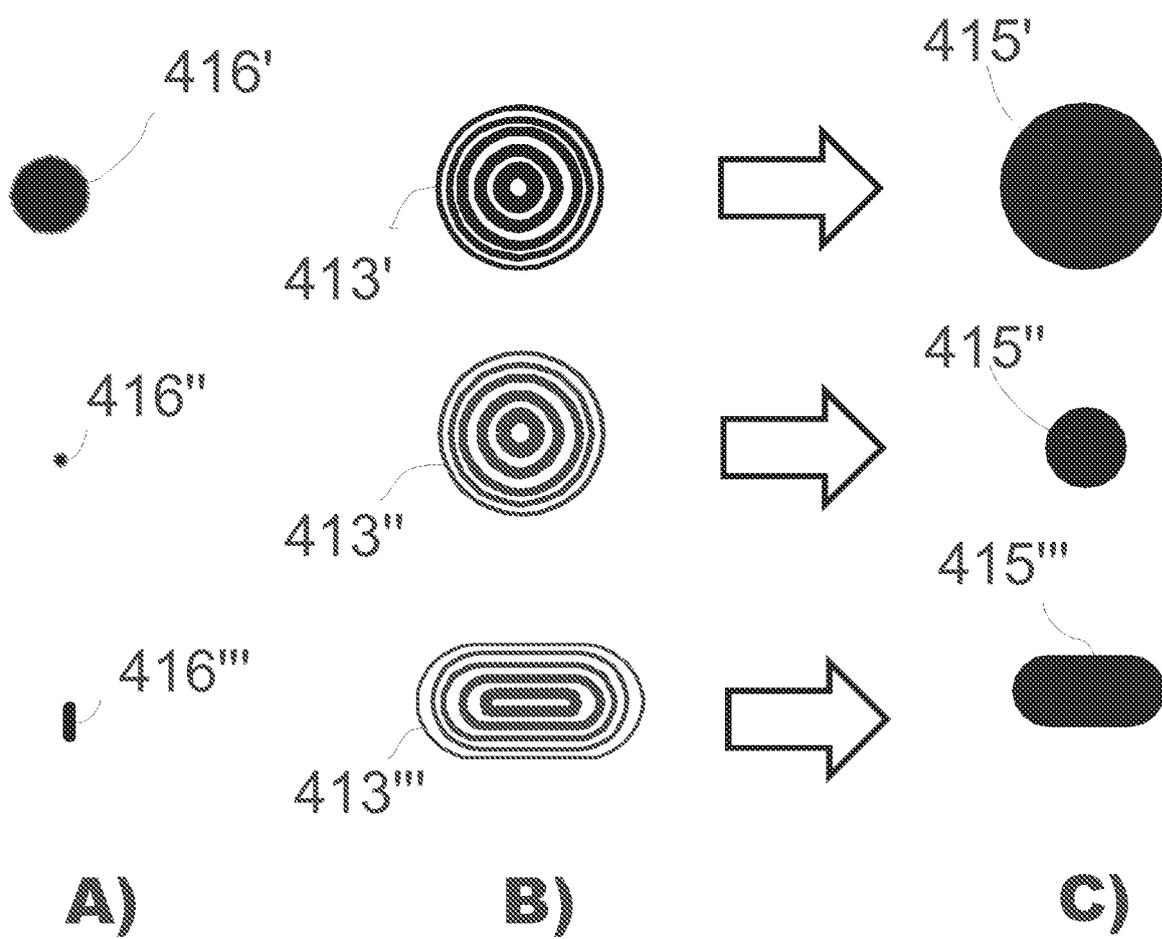




Фиг. 2

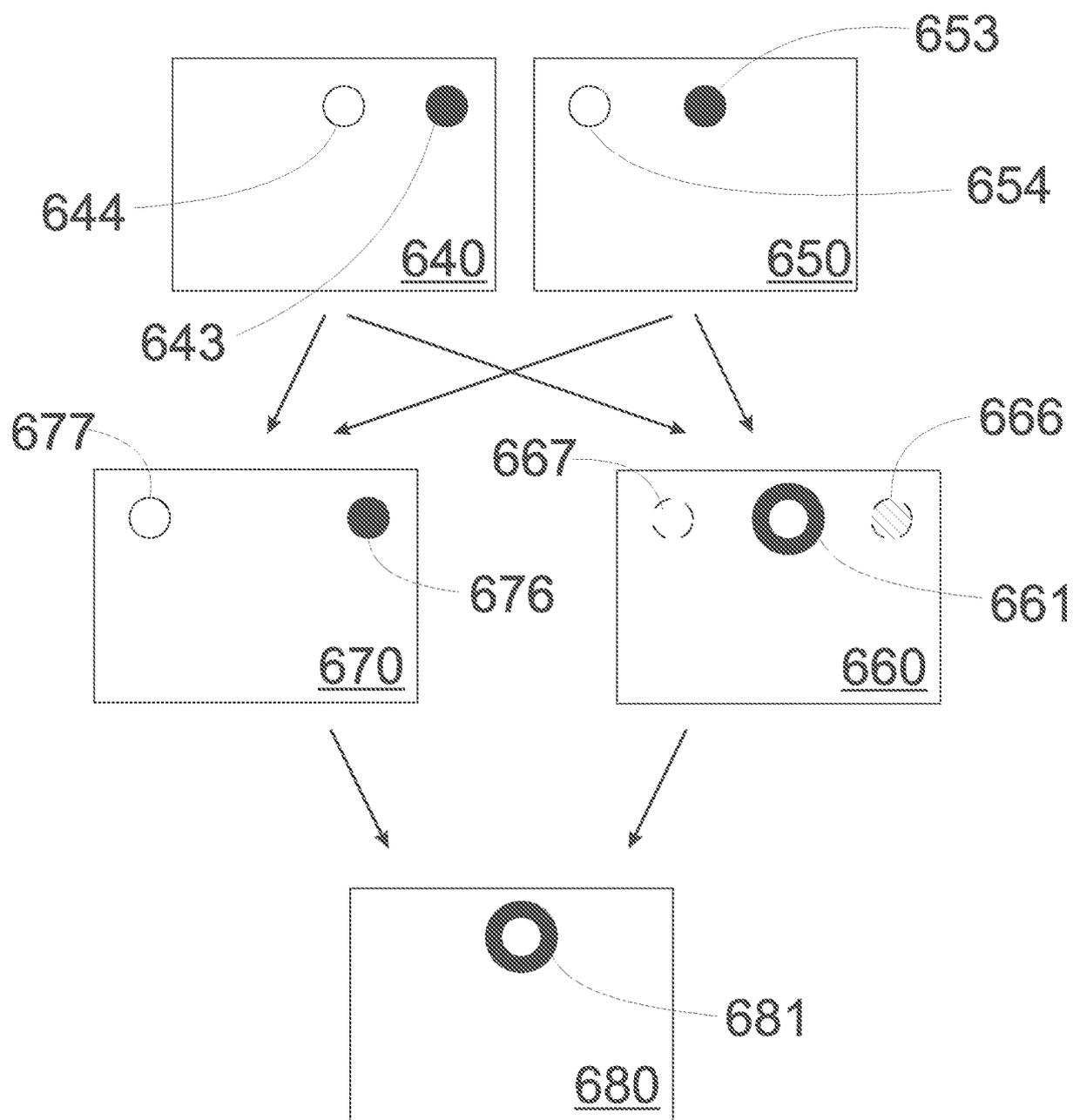


Фиг. 3

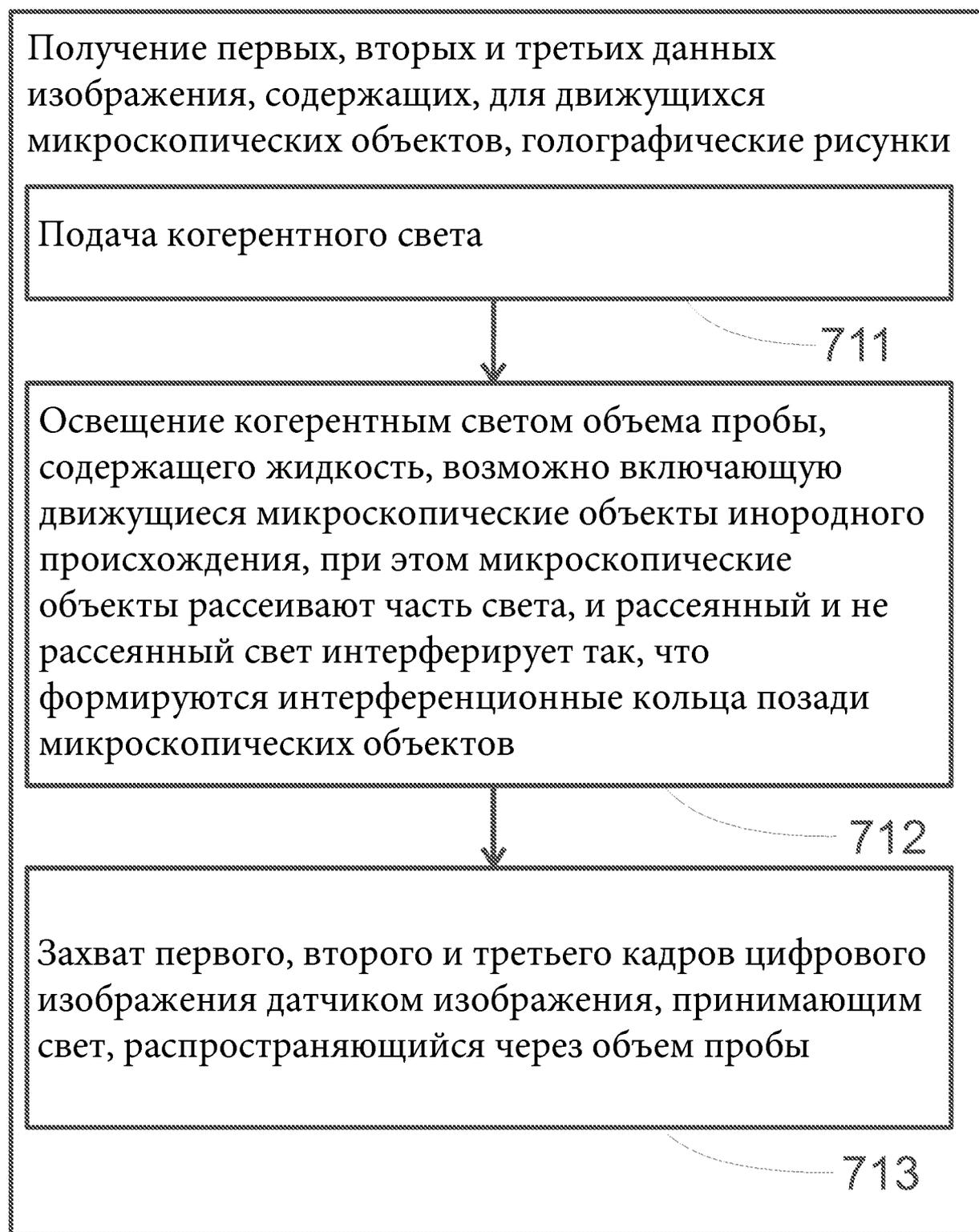


Фиг. 4



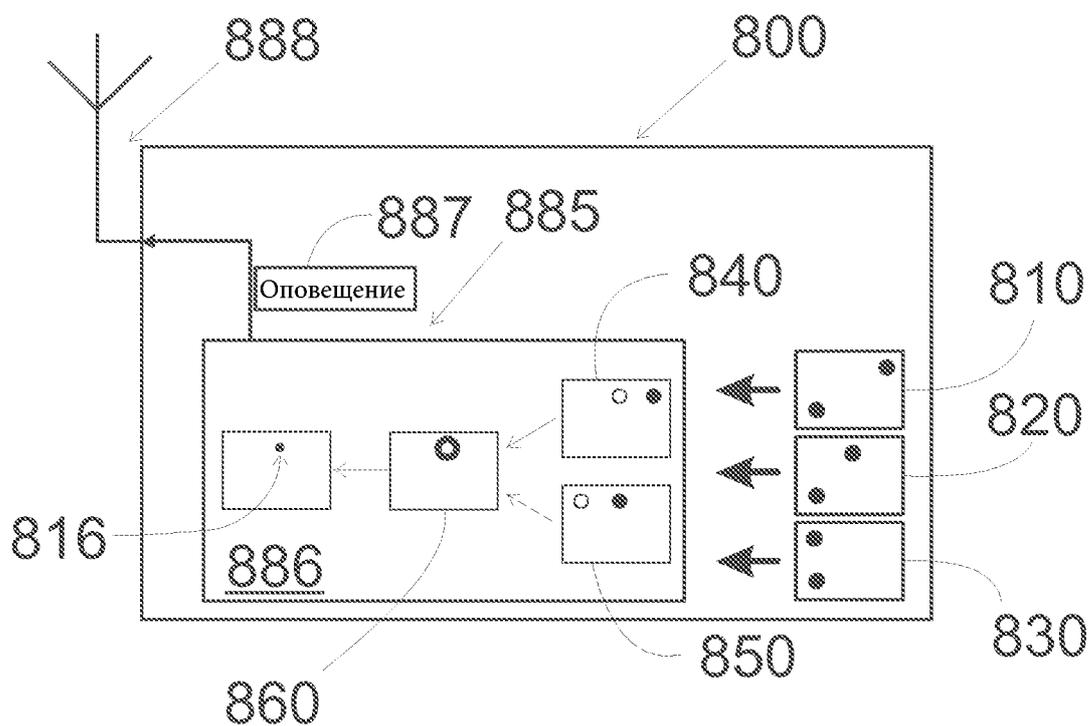


Фиг. 6

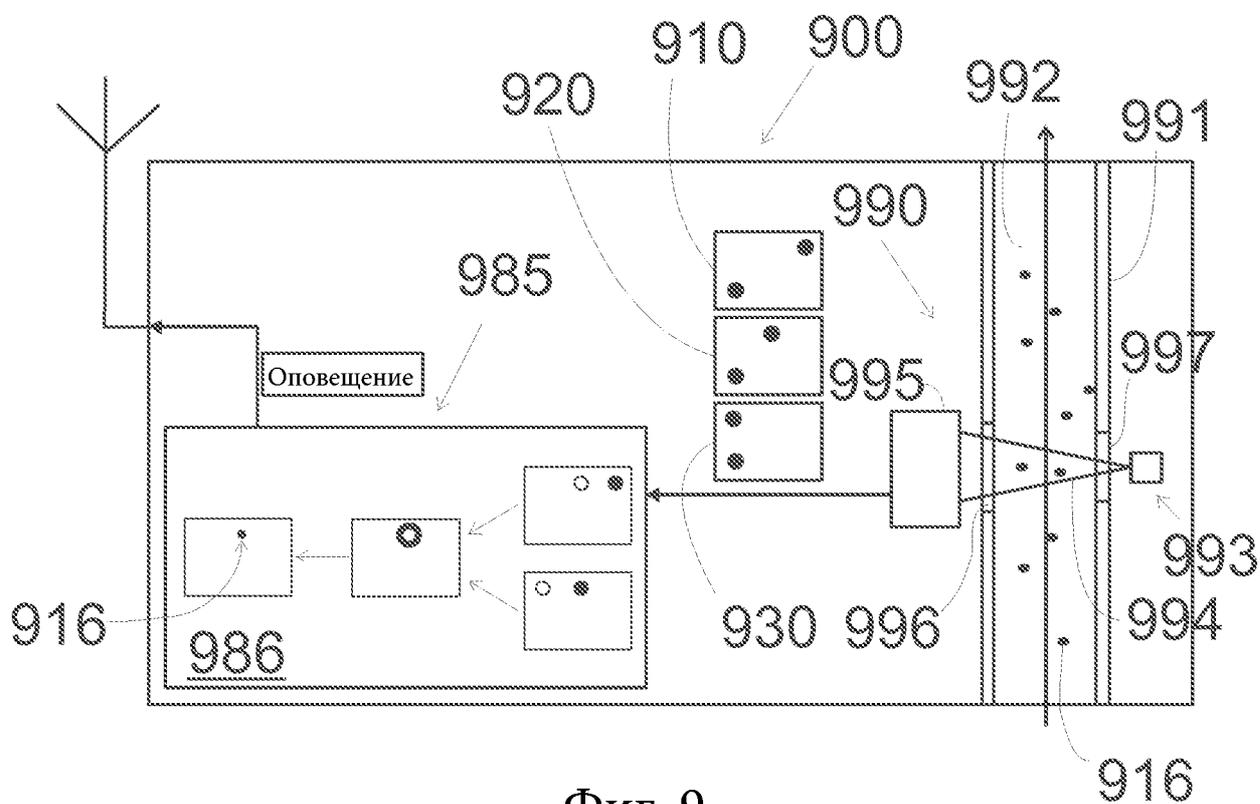


70

Фиг. 7



Фиг. 8



Фиг. 9