



(51) МПК
G01N 23/20 (2006.01)
H05G 1/00 (2006.01)
G01T 7/00 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
G01N 23/20 (2020.02)

(21)(22) Заявка: 2016136403, 09.09.2016

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
09.09.2016

Дата регистрации:
02.07.2020

Приоритет(ы):

(30) Конвенционный приоритет:
30.11.2015 US 14/953,689

(43) Дата публикации заявки: 15.03.2018 Бюл. № 8

(45) Опубликовано: 02.07.2020 Бюл. № 19

Адрес для переписки:
**190000, Санкт-Петербург, BOX-1125,
 "ПАТЕНТИКА"**

(72) Автор(ы):

**ЭНГЕЛЬ Джеймс Е. (US),
 ДЖОРДЖСОН Гэри (US),
 САФАИ Мортеза (US)**

(73) Патентообладатель(и):
ЗЕ БОИНГ КОМПАНИ (US)

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: P Zhu, UTterworth Eineman N In-line density measurement system using X-ray Compton scattering, NDT&E International, Jan. 1995, pp. 3-7. US 2013208850 A1, 15.08.2013 . US 2011170661 A1, 14.07.2011. US 20040251415 A1, 16.12.2004. US 20050084064 A1, 21.04.2005. DANIEL SHEDLOCK ET AL: "Optimization of an RSD x-ray backscatter system for;detecting (см. прод.)

(54) СИСТЕМЫ И СПОСОБЫ ОБНАРУЖЕНИЯ СТРУКТУРНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ НА ОСНОВЕ РАССЕЯННОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

(57) Реферат:

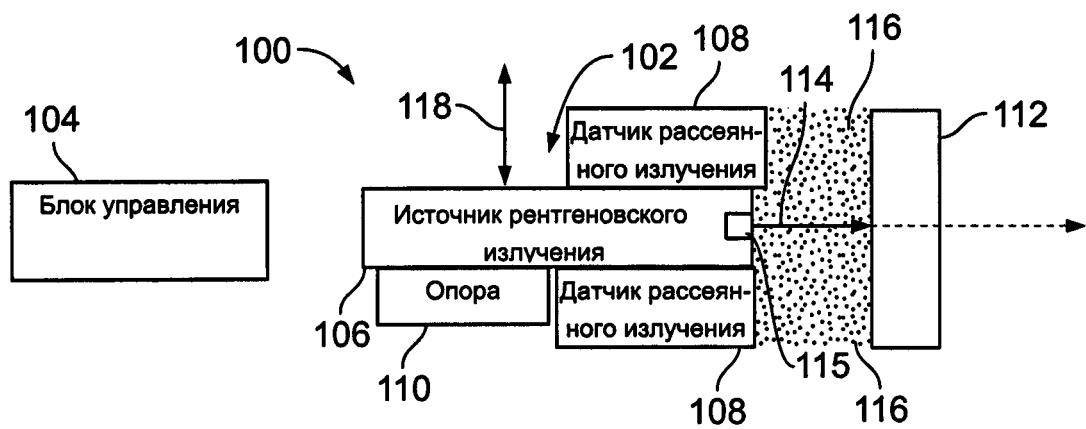
Изобретение относится к системам и способам обнаружения изменений на поверхности конструктивных элементов или внутри них на основе рассеянного рентгеновского излучения. Способ включает выполнение контрольного образца из материала, из которого выполнена указанная конструкция, создание и сохранение калибровочных данных, определенных на основании контрольного образца, облучение конструкции рентгеновским излучением,

обнаружение рассеянного рентгеновского излучения, рассеянного на конструкции, и определение указанного одного свойства конструкции или более на основе обнаруженного рассеянного рентгеновского излучения и калибровочных данных. Технический результат - повышение точности обнаружения изменений конструктивных элементов. 3 н. и 16 з.п. ф-лы, 6 ил.

RU 2725427 C2

RU 2725427 C2

R U 2725427 C 2



ФИГ. 1

(56) (продолжение):

defects in the space shuttle external tank thermal foam insulation", SPIE - INTERNATIONAL SOCIETY FOR OPTICAL ENGINEERING. PROCEEDINGS, vol. 5923, 18 August 2005 (2005-08-18), page 59230S.

R U 2725427 C 2

RUSSIAN FEDERATION



(19) RU (11)

2 725 427⁽¹³⁾ C2

(51) Int. Cl.
G01N 23/20 (2006.01)
H05G 1/00 (2006.01)
G01T 7/00 (2006.01)

FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(52) CPC
G01N 23/20 (2020.02)

(21)(22) Application: 2016136403, 09.09.2016

(24) Effective date for property rights:
09.09.2016

Registration date:
02.07.2020

Priority:

(30) Convention priority:
30.11.2015 US 14/953,689

(43) Application published: 15.03.2018 Bull. № 8

(45) Date of publication: 02.07.2020 Bull. № 19

Mail address:
190000, Sankt-Peterburg, BOX-1125,
"PATENTIKA"

(72) Inventor(s):

ENGEL Dzhejms E. (US),
DZHORDZHSON Geri (US),
SAFAI Morteza (US)

(73) Proprietor(s):

ZE BOING KOMPANI (US)

C2

2725427

RU

R U
2 7 2 5 4 2 7

C 2

(54) SYSTEMS AND METHODS FOR DETECTING STRUCTURAL CHANGES BASED ON SCATTERED X-RAYS

(57) Abstract:

FIELD: measuring equipment.

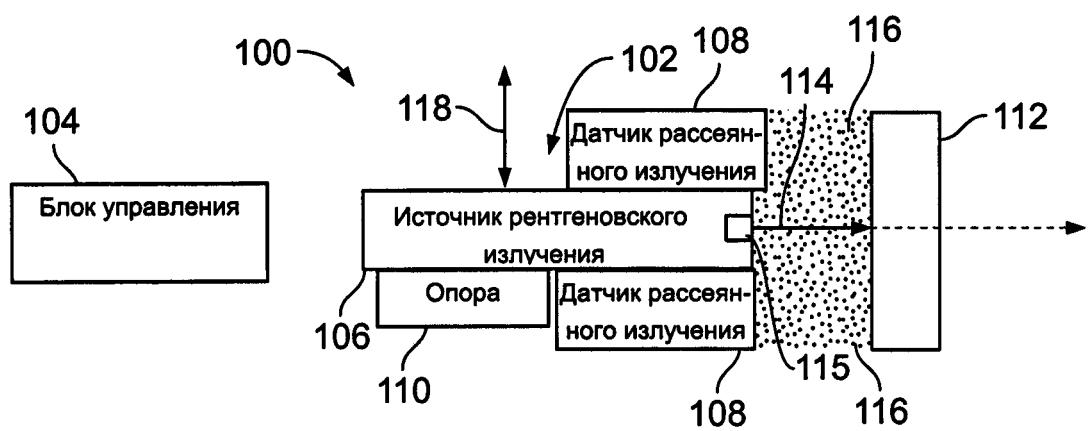
SUBSTANCE: invention relates to systems and methods of detecting changes on the surface of structural elements or inside them based on scattered X-rays. Method comprises making a control sample of material from which said structure is made, creating and storing calibration data determined based on control

sample, radiating the structure with X-rays, detecting scattered X-rays scattered on the structure, and determining said one property of structure or more based on detected scattered X-rays and calibration data.

EFFECT: technical result is high accuracy of detecting changes in structural elements.

19 cl, 6 dwg

R U 2725427 C 2



ФИГ. 1

R U 2725427 C 2

[0001] Варианты реализации настоящего изобретения в целом относятся к системам и способам обнаружения изменений на поверхности конструктивных элементов или внутри них на основе рассеянного рентгеновского излучения, в частности к системам и способам обнаружения структурных изменений посредством анализа данных о рассеянном рентгеновском излучении, таких как данные об обратно рассеянном излучении и/или прямо рассеянном излучении.

УРОВЕНЬ ТЕХНИКИ

[0002] Конструкции летательного аппарата могут быть выполнены из композиционных материалов, которые в общем случае представляют собой армированные материалы на основе полимеров, используемые вместо металлов, в частности там, где необходимы относительно небольшой вес и высокая механическая прочность. Композиционные материалы широко используются в различных коммерческих и военных летательных аппаратах, наземных транспортных средствах и потребительских товарах. Композиционный материал может включать в себя сеть армирующих волокон, уложенных, как правило, слоями, и полимерную смолу, которая по существу смачивает армирующие волокна с образованием контактного связывания смолы с армирующими волокнами. Затем из композиционного материала различными известными способами формования, такими как экструзия или другие процессы формования, может быть выполнен конструктивный компонент.

[0003] Изменения в композитных конструкциях (например, летательного аппарата) могут быть вызваны ударом молнии, пожаром, выхлопными газами двигателя или другими 30 высокотемпературными воздействиями. Начинающееся тепловое повреждение композиционных материалов обычно не поддается обнаружению с использованием обычных методов неразрушающего контроля (НК), таких как ультразвуковые методы.

[0004] Инфракрасная (ИК) спектроскопия является утвержденным способом обнаружения изменений в отношении компонентов некоторых летательных аппаратов. При этом инфракрасная спектроскопия обычно используется для обнаружения изменений на внешней поверхности конструкции. Однако с помощью инфракрасной спектроскопии невозможно эффективно определять изменения 5 внутри конструкции.

[0005] Для обнаружения изменений внутри конструкции, например вызванных тепловым повреждением, также могут быть использованы ультразвуковые системы и способы. Однако конструкция может претерпеть значительные изменения прежде, чем это будет обнаружено ультразвуковой системой.

[0006] В целом, известные системы и способы обнаружения изменений в композитной конструкции, такой как часть летательного аппарата, как правило, не эффективны для обнаружения начинающихся тепловых изменений.

РАСКРЫТИЕ СУЩНОСТИ ИЗОБРЕТЕНИЯ

[0007] Существует потребность в системе и способе, которыми можно эффективно обнаруживать локализованные области структурного изменения (такие, которые могут быть вызваны тепловым повреждением) в конструкции, такой как часть летательного аппарата. Существует потребность в системе и способе количественной оценки уровня изменения конструкции, например, в результате теплового воздействия. Кроме того, существует потребность в системе и способе, с помощью которых можно обнаруживать 45 области начинающегося изменения в композитной конструкции до того, как увеличение изменения достигнет нежелательного уровня.

[0008] С учетом указанных проблем, некоторые варианты реализации настоящего изобретения обеспечивают создание способа выявления одного свойства конструкции

или более. Способ может включать создание и сохранение калибровочных данных, определенных на основании одного контрольного образца или более, выполненного из материала, из которого выполнена указанная конструкция, облучение конструкции рентгеновским излучением, обнаружение рассеянного рентгеновского излучения,

5 рассеянного на конструкции, и определение указанного одного свойства конструкции или более на основе обнаруженного рассеянного рентгеновского излучения и калибровочных данных. Свойства могут быть термическими и/или механическими.

Рассеянное рентгеновское излучение представляет собой обратно рассеянное рентгеновское излучение и/или прямо рассеянное рентгеновское излучение. Указанное 10 одно свойство или более включает плотность конструкции и/или уровень изменения 5 полимерных связей в ней. Процесс определения может включать связывание различий плотности конструкции с уровнями изменений, вызванными тепловой энергией.

[0009] Способ может также включать сравнение рассеянного рентгеновского излучения с заданным пороговым значением для определения областей изменения в 15 конструкции. Этапы создания и сохранения могут включать создание и сохранение калибровочных данных в виде калибровочной кривой или таблицы соответствия. Способ может также включать создание карты изменений исходя из данных о рассеянном рентгеновском излучении.

[0010] Некоторые варианты реализации настоящего изобретения обеспечивают 20 создание системы для выявления свойств, выполненной с возможностью выявления одного свойства конструкции или более. Система для выявления свойств может включать в себя рентгеновскую установку, включающую в себя источник рентгеновского излучения, выполненный с возможностью облучения конструкции рентгеновскими лучами, и один датчик рассеянного излучения или более, выполненный с возможностью 25 обнаружения рассеянного рентгеновского излучения, рассеянного на конструкции. Рентгеновская установка сканирует контрольный образец (контрольные образцы), выполненный (выполненные) из материала, из которого выполнена указанная конструкция. Система для выявления свойств также может содержать блок управления, соединенный с рентгеновской установкой. Блок управления выполнен с возможностью 30 создания и сохранения калибровочных данных, определенных на основании одного контрольного образца или более. Блок управления выполнен с возможностью определения свойств на основе рассеянного рентгеновского излучения и калибровочных данных.

[0011] Некоторые варианты реализации настоящего изобретения обеспечивают 35 создание системы для выявления свойств, которая может включать в себя рентгеновскую установку, содержащую источник рентгеновского излучения, выполненный с возможностью облучения конструкции рентгеновскими лучами, и один датчик рассеянного излучения или более, выполненный с возможностью обнаружения рассеянного рентгеновского излучения, рассеянного на конструкции. Рентгеновская 40 установка выполнена с возможностью сканирования одного контрольного образца или более перед облучением конструкции рентгеновскими лучами. Контрольный образец 5 (контрольные образцы) выполнен (выполнены) из материала, из которого выполнена указанная конструкция.

[0012] Система для выявления свойств также может содержать блок управления, 45 соединенный с рентгеновской установкой. Блок управления выполнен с возможностью: создания и сохранения калибровочных данных, определенных на основании одного контрольного образца или более, определения изменения в конструкции посредством определения плотности конструкции на основе обнаруженного рассеянного

рентгеновского излучения, связывания различий плотности и/или полимерных связей конструкции с уровнями изменения в ней и сравнения рассеянного рентгеновского излучения с заданным пороговым значением для определения областей изменения в конструкции.

5 КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ

[0013] На ФИГ. 1 схематически показана система для выявления свойств согласно варианту реализации настоящего изобретения.

[0014] На ФИГ. 2 схематически показана система для выявления свойств согласно варианту реализации настоящего изобретения.

10 [0015] На ФИГ. 3 показан вид спереди контрольного образца согласно варианту реализации настоящего изобретения.

[0016] На ФИГ. 4 показан вид в перспективе системы для выявления свойств согласно варианту реализации настоящего изобретения.

15 [0017] На ФИГ. 5 показано изображение конструкции относительно графика зависимости значений уровней серого от расстояния на конструкции, согласно варианту реализации настоящего изобретения.

[0018] На ФИГ. 6 показана структурная схема способа выявления одного свойства конструкции или более, согласно варианту реализации настоящего изобретения.

ОСУЩЕСТВЛЕНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

20 [0019] Предшествующий раздел описания "Раскрытие сущности изобретения", а также последующий раздел "Осуществление изобретения" с подробным описанием некоторых вариантов реализации будут лучше поняты при прочтении совместно с прилагаемыми чертежами. При использовании в настоящем документе элемент или этап, который приведен в единственном числе и которому предшествует слово "a" или "an" (неопределенный artikel английского языка) не следует понимать как обязательно исключающий множественное число этих элементов или этапов. Кроме того, ссылки на "один вариант реализации изобретения" не предназначены для истолкования как исключающие существование дополнительных вариантов реализации, которые также включают перечисленные признаки. Более того, если явно не указано обратное,

30 варианты реализации "содержащие" или "имеющие" элемент или множество элементов, имеющих определенное свойство, могут включать в себя дополнительные элементы, не обладающие этим свойством.

[0020] Варианты реализации настоящего изобретения могут быть использованы для проверки различных структур, таких как композитные конструкции, углерод-углеродные конструкции, пластмассы, сшитые полимеры, другие конструкции на основе смол и/или т.п. Варианты реализации настоящего изобретения также могут быть использованы для выявления различных механических и термических свойств, проявляемых внутри детали, таких как прочность, механическое напряжение и/или т.п. Кроме того, варианты реализации настоящего изобретения могут быть использованы во время процесса

40 отверждения (композитной конструкции, например) или для определения термических свойств конструкции, такой как тепловой экран. Вкратце, варианты реализации настоящего изобретения могут быть использованы для определения одного физического свойства конструкции или более посредством анализа данных рассеяния.

[0021] Некоторые варианты реализации настоящего изобретения обеспечивают **45** создание систем и способов, которые используются для определения внутренних механических и/или термических свойств материала, образующего определенную конструкцию. Внутренние свойства материала меняются в различной степени при воздействии на него, например, теплом. В качестве примера, когда конструкция

испытывает воздействие первой температуры, ее внутренняя молекулярная структура имеет первую характеристику. При повышении температуры 5 происходит изменение внутренней молекулярной структуры таким образом, что при второй температуре, большей чем первая температура, внутренняя молекулярная структура имеет вторую характеристику. Варианты реализации настоящего изобретения используют рассеянное рентгеновское излучение для обнаружения внутренних изменений материала, возникающих вследствие оказания на него термического воздействия и/или появления в нем механических изменений.

[0022] Некоторые варианты реализации настоящего изобретения обеспечивают

создание систем и способов определения термических и/или механических свойств конструкции. Кроме того, некоторые варианты реализации настоящего изобретения обеспечивают создание систем и способов определения внутренних термических и механических свойств конструкции.

[0023] Некоторые варианты реализации настоящего изобретения обеспечивают

создание систем и способов, выполненных с возможностью быстрого и эффективного автоматического определения изменений и/или свойств (например, степени или уровня повреждения) композитной конструкции. Варианты реализации настоящего изобретения обеспечивают создание систем и способов определения изменений внутренних механических и/или термических свойств конструкции.

[0024] Изменения и/или свойства могут включать одно или более из следующих проявлений: тепловое повреждение, механические или структурные аномалии, несоответствия, изменения и т.п. По меньшей мере в одном варианте реализации, изменения и/или свойства могут включать характеристики или особенности указанной конструкции. С течением времени в конструкции может возникать тепловое повреждение или деградация, которое или которая может быть вызвано или вызвана, например, ударами молнии.

[0025] Некоторые варианты реализации настоящего изобретения обеспечивают создание способа выявления одного физического свойства конструкции или более, который может включать сканирование контрольного образца (такого как один калибровочный образец или более) с помощью рентгеновской установки, используемой в системе выявления свойств. Физические свойства могут быть подвергнуты анализу, чтобы определить наличие изменения конструкции, например, посредством подачи тепловой энергии. Контрольный образец выполняют из того же материала и имеющим такую же или схожую 5 толщину, что и конструкция, подлежащая проверке на предмет изменений. Например, контрольный образец может быть выполнен из композиционного материала, используемого для выполнения конструкции, такой как крыло летательного аппарата. Толщина контрольного образца может находиться в диапазоне, используемом для выполнения конструкции. Контрольный образец может характеризоваться диапазоном термических свойств (например, от отсутствия теплового повреждения до максимального теплового повреждения, при котором образец разрушается).

[0026] Материал, используемый для выполнения контрольного образца и конструкции, может иметь определенную молекулярную структуру, такую как полимерные цепи в матрице. В общем случае, одно свойство молекулярной структуры или более изменяется при подаче тепловой энергии в увеличивающемся количестве. Например, плотность молекулярной структуры конструкции уменьшается при ее горении, обугливании и т.п. Полимерные связи внутри матрицы или между матрицей и армирующими материалами деградируют при избыточной температуре, которая может привести к изменениям плотности. Изменение молекулярной структуры влияет на уровень рассеянного

рентгеновского излучения таким образом, что интенсивность рассеянного рентгеновского излучения (например, количество фотонов рентгеновского излучения, рассеиваемых на конструкции) больше в неповрежденной нормальной части (например, при изготовлении согласно плану) конструкции по сравнению с измененной частью

- 5 этой конструкции. По мере увеличения изменения (например, повреждения) при более высокой температуре при длительном нагревании, также происходит окисление (обугливание) матрицы, которое приводит к изменению плотности и ее уменьшению, что, в свою очередь, приводит к уменьшению интенсивности рассеяния. По меньшей мере в одном варианте реализации тепловое повреждение может незначительно влиять
- 10 на плотность конструкции, однако при этом можно выявить уменьшение рассеяния, связанное с повреждением молекулярных цепей конструкции. По меньшей мере в одном варианте реализации блок управления может выполнять соотнесение вызванных термическим воздействием изменений полимерных связей внутри матрицы и между матрицей и армирующими материалами, которые могут вызывать изменения плотности
- 15 материала.

[0027] Рентгеновская установка используется для сканирования контрольного образца, включающего различные области структурного изменения, например, различные области теплового повреждения. Данные о рассеянном рентгеновском излучении соотносят с каждой областью теплового повреждения. Например,

- 20 неповрежденную область соотносят с первой интенсивностью рассеянного рентгеновского излучения, область с незначительным уровнем теплового повреждения соотносят со второй интенсивностью рассеянного рентгеновского излучения (которая является более низкой, чем первая интенсивность рассеянного рентгеновского излучения), область со средним уровнем теплового повреждения соотносят с третьей
- 25 интенсивностью рассеянного рентгеновского излучения (которая является более низкой, чем вторая интенсивность рассеянного рентгеновского излучения) и так далее. Соотнесённые показатели интенсивности рассеянного рентгеновского излучения могут быть соотнесены с различными уровнями теплового повреждения (от отсутствия теплового повреждения до максимального теплового повреждения) на калибровочной
- 30 кривой, таблице соответствия и/или т.п.

[0028] Затем, после сканирования контрольного образца и его использования для соотнесения интенсивностей рассеяния с термическими свойствами (такими как тепловое повреждение), фактическая конструкция (выполненная из того же материала, что и контрольный образец), подлежащая проверке, может быть подвергнута сканированию

- 35 посредством рентгеновской установки. Выявленные интенсивности рассеяния конструкции могут служить для ссылки в отношении соотнесённых термических свойств (например, определенных с помощью контрольного образца) для определения конкретных областей и интенсивностей теплового повреждения указанной конструкции.

[0029] Калибровочные данные (например, калибровочные кривые, таблицы

- 40 соответствия и/или т.п.), собранные с помощью контрольного образца, могут быть автоматически применены к изображению, полученному в результате рассеяния, с созданием двухмерной карты конструктивных свойств или характеристик, такой как карта структурной деградации, которая может быть вызвана нагревом. Карта может быть отображена (в цвете или уровнями серого) в процентах прочности, максимальной
- 45 температуре при номинальном времени или другом физическом свойстве в зависимости от того, каким образом контрольный образец был подвергнут контролю. Карта изменений может быть введена в модель конечных элементов исследуемой конструкции для прогнозирования рабочих характеристик, объема ремонта, определения

геометрических характеристик и анализа. Карта изменений также может быть использована ремонтным персоналом 5 для определения, сколько поврежденного материала необходимо вырезать или иным образом удалить из конструкции и/или насколько большим сделать наложение. По существу, благодаря вариантам реализации

5 настоящего изобретения отдельные лица могут точно определить точный размер ремонтного материала (то есть, чтобы он был не слишком большим или не слишком маленьким) на основании фактического размера поврежденной области материала или области материала, вызывающей опасения иного рода.

[0030] Некоторые варианты реализации настоящего изобретения обеспечивают

10 создание способа обнаружения начинаяющегося теплового повреждения в композитной детали. Способ может включать облучение части композитной детали рентгеновским излучением, обнаружение рассеянного излучения (такого как обратно рассеянное излучение или прямо рассеянное излучение), вызванного облучением, и обработку обнаруженного рассеянного излучения для определения областей начинаяющегося

15 теплового повреждения в композитной детали.

[0031] На ФИГ. 1 схематически показана система 100 для выявления свойств, согласно варианту реализации настоящего изобретения. Система 100 для выявления свойств включает в себя рентгеновскую установку 102, функционально соединенную с блоком 104 управления, например, с помощью одного проводного или беспроводного

20 соединения или более. Система 100 для выявления свойств также может содержать один контрольный образец или более, как описано ниже, такой как контрольный образец 120, показанный на ФИГ. 3.

[0032] Рентгеновская установка 102 включает в себя источник 106 рентгеновского излучения, такой как рентгеновская трубка, один датчик 108 рассеянного излучения

25 или 30 более (в отличие от датчиков рассеянного излучения в схеме на просвет, которые обнаруживают рентгеновское излучение, проходящее через конструкцию) и опору 110. Источник 106 рентгеновского излучения и датчик(и) 108 рассеянного излучения могут быть размещены на одной стороне композитной конструкции 112, подлежащей проверке. Источник 106 рентгеновского излучения выполнен с возможностью испускания

30 первичного рентгеновского луча 114 через отверстие 115 в композитную конструкцию 112. По мере того как первичный рентгеновский луч 114 входит в композитную конструкцию 112 и проходит через нее, электроны рентгеновского излучения рассеиваются на конструкции 112 и обнаруживаются датчиком (датчиками) 108 рассеянного 5 излучения в виде рассеянного рентгеновского излучения 116, например в виде данных

35 об обратно рассеянном излучении. В альтернативных вариантах реализации рентгеновская установка 102 может включать в себя больше или меньше датчиков 108 рассеянного излучения, чем показано. Например, рентгеновская установка 102 может включать в себя один датчик 108 рассеянного излучения.

[0033] Блок 104 управления анализирует рассеянное рентгеновское излучение 116 и

40 сравнивает рассеянное рентгеновское излучение 116 с сохраненными калибровочными или исходными данными (далее называемыми калибровочными данными), например, содержащимися в одной калибровочной кривой или более, таблиц соотвествия и/или т.п. Сохраняемые калибровочные данные могут быть сохранены в одном запоминающем устройстве или более, связанном с блоком 104 управления и/или размещенном внутри

45 него. Сохраненные калибровочные данные могут обеспечивать соотнесение различных уровней структурного изменения (таких как различные уровни теплового повреждения) с соответствующими уровнями интенсивности рассеяния (такими как количественные показатели рассеяния). По существу, блок 104 управления анализирует принятую

рассеянное рентгеновское излучение 116 и связывает рассеянное рентгеновское излучение 116 со структурным изменением. При перемещении рентгеновской установки 102 относительно указанной конструкции блок 104 управления обнаруживает рассеянное рентгеновское излучение 116, рассеянное на различных областях конструкции 112, и определяет уровни структурного изменения в различных областях указанной конструкции посредством сравнивания различной интенсивности уровней рассеянного рентгеновского излучения 116 в различных областях со связанными уровнями структурного изменения (такими как связанные уровни теплового повреждения), сохраненными в калибровочных данных.

- [0034] Опора 110 может быть использована для перемещения рентгеновской установки 102 относительно конструкции 112. Например, опора 110 может включать в себя одну направляющую или более, в которой удерживаются колеса основания рентгеновской установки 102 с обеспечением поступательного перемещения рентгеновской установки 102 в направлениях, обозначенных стрелками 118. По меньшей мере еще в одном варианте реализации опора 110 может включать в себя поворотное основание, которое обеспечивает возможность поворота рентгеновской установки 102 и качания первичного рентгеновского луча 114 относительно конструкции 112. Опора 110 может включать в себя один исполнительный механизм или более, выполненный 5 с возможностью автоматического перемещения рентгеновской установки 102. В частном случае рентгеновская установка 102 может быть выполнена с возможностью перемещения руками с помощью опоры 110. Рентгеновская установка 102 может быть перемещена относительно конструкции 112, например перемещена руками или автоматически на гусеницах, роликах и т.п.

[0035] На ФИГ. 2 схематически показана система 100 для выявления свойств, имеющая конфигурацию, отличающуюся от той, которая показана на ФИГ. 1. Система 100 для выявления свойств аналогична показанной на ФИГ. 1 за исключением того, что источник 106 рентгеновского излучения размещен на одной стороне конструкции 112, а датчики 108 рассеянного излучения размещены на противоположной стороне конструкции 112. Конструкция 112, подлежащая проверке, размещена между источником 106 рентгеновского излучения и датчиками 108 рассеянного излучения. По существу, датчики 108 рассеянного излучения выполнены с возможностью обнаружения рассеянного рентгеновского излучения 116 в качестве данных о прямо рассеянном излучении, рассеянном на указанной конструкции от первичного рентгеновского луча 114. В альтернативных вариантах реализации система 100 для выявления свойств может включать в себя датчики 108 рассеянного излучения на обеих сторонах конструкции 112 и, следовательно, может быть выполнена с возможностью выявления свойств конструкции на основании как обратно рассеянного рентгеновского излучения, так и прямо рассеянного рентгеновского излучения.

[0036] На ФИГ. 3 показан вид спереди контрольного образца 120 согласно варианту реализации настоящего изобретения. Контрольный образец 120 может включать в себя полосу материала 122, имеющую физические свойства, сходные со свойствами композитной конструкции 112, которую необходимо подвергнуть проверке. Например, полоса материала 122 может быть выполнена из того же материала, что и композитная конструкция 112, и может иметь ту же толщину или значения толщины, что и композитная конструкция 112. Контрольный образец 120 подвергают контролю на предмет соотнесения по меньшей мере одного физического свойства конструкции с интенсивностью рассеяния. Физические свойства могут быть связаны, например, с уровнями нагрева и/или отверждения материала 122.

[0037] Контрольный образец 120 имеет известные физические характеристики (например, толщину, тип материала и т.п.), и его подвергают одному 5 испытанию или более для определения механических и/или термических свойств, такому как испытание на изгиб в трех точках, испытание на усталость, испытание на прочность, испытание

5 на нагрев и/или иным механическим испытаниям. По меньшей мере в одном варианте реализации контрольный образец 120 может быть подвергнут контролю на различных уровнях и/или в различных диапазонах от отсутствия или минимальных связанных с нагревом несоответствий, аномалий или других подобных изменений до максимального уровня связанных с нагревом несоответствий, аномалий или других подобных изменений.

10 Например, контрольный образец 120 может быть подвергнут контролю на различных уровнях в различных диапазонах от минимального изменения или уровня свойств (такого как отсутствие повреждения) до максимального изменения или уровня свойств (такого как максимальное повреждение) в отношении конкретного испытания.

[0038] Например, контрольный образец 120 может быть использован в отношении 15 контроля конкретной конструкции на предмет теплового повреждения. В этом варианте реализации контрольный образец 120 может включать в себя множество областей 124, 126, 128, 130 и 132, на каждую из которых оказывают контрольное воздействие различного уровня. На область 124 оказывают воздействие с отсутствием повреждения (например, к области 124 не подают тепло). На область 126 оказывают воздействие с 20 низким уровнем повреждения. На область 128 оказывают воздействие со средним уровнем повреждения. На область 130 оказывают воздействие с повышенным уровнем повреждения. На область 132 оказывают воздействие с максимальным уровнем повреждения. Максимальный уровень повреждения может быть таким уровнем повреждения, при котором готово начаться разрушение образца. Например, 25 максимальный уровень повреждения может быть таким уровнем повреждения, при котором в композитной детали начинается отслаивание.

[0039] Проводимый контроль может быть контролем теплового повреждения. По существу, на область 124 может быть оказано воздействие комнатной температурой (например, без подачи дополнительного тепла в область 124). На область 126 может 30 быть показано воздействие тепловой энергией на низком уровне, превосходящем комнатную температуру. На область 128 может быть оказано воздействие тепловой энергией на среднем уровне, превосходящем тепловую энергию низкого уровня. На область 130 может быть оказано воздействие тепловой энергией на повышенном уровне, превосходящем тепловую энергию среднего уровня. На область 132 может быть 35 5 оказано воздействие тепловой энергией на максимальном уровне, который превосходит тепловую энергию повышенного уровня и при котором в области 132 начинается отслаивание.

[0040] При воздействии различных уровней энергии для испытаний (например, теплом, 40 механическим напряжением, натяжением и/или т.п.) на каждую область 126-132 происходит изменение физических свойств областей 126-132. Различные области внутри контрольного образца 120 рассеивают рентгеновское излучение по-разному, в зависимости от внутренних изменений, произошедших в контрольном образце 120. Например, нагревание композитной детали, которая содержит смолу, пластик или другой сшитый полимер (сшитые полимеры), изменяет физические и/или термические 45 свойства композитной детали, что обуславливает различное рассеяние рентгеновского излучения областями, имеющими различные свойства.

[0041] Например, энергия, используемая для испытаний, (такая как тепловая энергия) влияет на плотность каждой области 124-132 различным образом. Поскольку в область

124 не подается энергия для испытаний, плотность этой области остается такой же, как у нормальной (например, неповрежденной) части образца. Однако с увеличением уровней энергии для испытаний каждая область 126-132 становится более поврежденной. Например, увеличение уровней тепловой энергии ведет к постепенному повреждению областей 126-132, например, с уменьшением их плотности. По существу, каждая область 124-132 представляет различные уровни повреждения, обусловленного конкретным испытанием (таким как контроль теплового повреждения). В частном случае области 124-132 могут представлять различные уровни деградации связей внутри материала. Деградированные полимерные цепи могут рассеивать меньше рентгеновского излучения и могут служить индикатором структурного изменения (например, вызванного тепловым повреждением) до начала влияния на плотность конструкции вследствие потери материала.

[0042] Каждая из областей 124-132 может представлять контрольный образец. Как показано на чертежах, области 124-132 могут быть соединены друг с другом в одну полосу материала 122. В альтернативных вариантах реализации каждая из областей 124-132 может быть отдельным и самостоятельным контрольным образцом, не связанным с другими образцами. При необходимости могут быть использованы больше 5 или меньше областей 124-132 для испытаний, чем показано.

[0043] Как показано на ФИГ. 1-3, после проверки контрольного образца 120 с получением различных уровней изменения (например, повреждения), представленных областями 124-132, контрольный образец 120 сканируют посредством рентгеновской установки 102. По мере того как источник 106 рентгеновского излучения осуществляет сканирование (например, с поворотом в диапазоне получения изображения, с поступательным перемещением относительно конструкции и/или т.п.) первичным рентгеновским лучом 114 поверх каждой из областей 124-132, происходит изменение рассеянного рентгеновского излучения 116, отражаемого областями 124-132. Поскольку физические свойства каждой из областей 124-132 отличаются вследствие испытания (испытаний), выполненного (выполненных) на контрольном образце 120, каждая область 124-132 рассеивает первичный рентгеновский луч 114 в различной степени в виде рассеянного рентгеновского излучения 116. Например, область 124 остается практически нетронутой и имеет нормальную плотность (и/или недеградированные сплитые полимерные цепи), которая обеспечивает рассеяние первичного рентгеновского луча 114 в наибольшей степени в виде рассеянного рентгеновского излучения 116. С другой стороны, область 132 претерпела наибольшее изменение (например, получила повреждения в результате чрезмерной тепловой энергии) и, поэтому, плотность этой области 132 меньше, чем плотность других областей 124-130. По существу, область 132 рассеивает первичный рентгеновский луч 114 в наименьшей степени в виде рассеянного рентгеновского излучения 116.

[0044] Датчики 108 рассеянного излучения обнаруживают рассеянное рентгеновское излучение 116, рассеянное на каждой из областей 124-132, а блок 104 управления соотносит принятую рассеянную рентгеновскую энергию 116 с известным количеством энергии, используемой для проведения испытаний (и, следовательно, с уровнями изменений) и сообщенной области 124-132. Блок 104 управления может соотносить данные, относящиеся к принятому рассеянному рентгеновскому излучению 116, рассеиваемому областями 124-132, с известными уровнями изменения в них и сохранять данные соотнесения в запоминающем устройстве в качестве калибровочных данных. Например, блок 104 управления может хранить калибровочные данные в одной калибровочной кривой или более, таблицах соответствия и/или т.п. Калибровочные

данные могут быть сохранены для каждой известной физической характеристики, параметров испытания и 5 сканирования для нескольких различных контрольных образцов. Блок 104 управления затем имеет возможность сравнивать собранные данные о фактической конструкции, которую необходимо проверить, такой как конструкция 112, с калибровочными данными, для того чтобы определять области изменения в конструкции 112.

[0045] Конструкцию 112 (такую как композитная конструкция летательного аппарата) сканируют посредством рентгеновской установки 102. Рассеянное рентгеновское излучение 116, рассеянное на различных областях конструкции 112, обнаруживают датчиками 108 рассеянного излучения. Блок 104 управления анализирует данные, принятые датчиками 108 рассеянного излучения, и сравнивает принятые данные с калибровочными данными для определения величины структурного изменения (например, величины теплового повреждения) в различных областях конструкции 112.

[0046] На основании калибровочных данных могут быть определены допустимые уровни изменений (например, допустимые уровни деградации). Например, определенный процент может быть установлен в качестве порогового значения для изменений. По меньшей мере в одном варианте реализации величина 80% рассеянного рентгеновского излучения 116, рассеиваемого первой частью, такой как область 124 (например, неповрежденной частью), может быть установлена в качестве порогового значения для изменений. Если блок 104 управления обнаруживает рассеянное рентгеновское излучение 116, величиной менее 80% на конкретной области конструкции 112, блок 104 управления может выполнить определение, что указанная область может быть восстановлена.

[0047] Принятое рассеянное рентгеновское излучение 116 может быть показателем внутренних физических свойств конструкции 112. Например, принятое рассеянное рентгеновское излучение 116 может быть показателем плотности, гибкости, прочности и/или т.п. конструкции 112 в любой конкретной точке. Физические свойства, определенные обнаружением рассеянного рентгеновского излучения 116, позволяют произвести оценку изменения (такого как деградация или другого подобного повреждения) в конструкции 112 в различных точках или местах. Например, пониженная плотность конструкции 112 может свидетельствовать об изменении, вызванном тепловой энергией, поданной в указанную конструкцию 112.

[0048] Блок 104 управления анализирует данные о рассеянном излучении на основе сигналов, принятых датчиками 108 рассеянного излучения, которые обнаруживают рассеянное рентгеновское излучение 116. На основе проанализированных данных о рассеянии блок 104 управления может определять одно внутреннее физическое свойство или более (такое как плотность) конструкции 112 в различных местах конструкции 112 или вдоль нее. Блок 104 управления может сравнивать проанализированные данные о рассеянном излучении (как обнаруженные из принятого рассеянного рентгеновского излучения 116) с калибровочными данными для определения физических свойств. На основании определенных физических свойств блок 104 управления может оценивать изменения относительно указанной конструкции 112.

[0049] В альтернативных вариантах реализации блок 104 управления может не использовать калибровочные данные для определения физических свойств конструкции 112. В таком варианте реализации можно обойтись без контрольного образца 120. Вместо этого блок 104 управления может анализировать данные о рассеянном излучении, обнаруженные на основе рассеянного рентгеновского излучения 116, рассеянного на различных областях конструкции 112. Блок 104 управления может определять различия

физических свойств конструкции 112 в ее различных местах на основании различий данных рассеяния. Например, блок 104 управления может определять неравномерности (такие как повреждение или деградация) в конкретном месте конструкции 112, на котором рассеянное рентгеновское излучение 116 принято с уменьшением на 20% по сравнению с другим местом конструкции 112.

[0050] На ФИГ. 4 показан вид в перспективе системы 100 для выявления свойств.

Как показано на чертежах, система 100 для выявления свойств может включать в себя рентгеновскую установку 102, установленную на опоре 110, которая может быть выполнена в виде одной линейной направляющей 111 или более. Датчики 108

10 рассеянного излучения размещены по сторонам источника 106 рентгеновского излучения. Датчики 108 рассеянного излучения обнаруживают рентгеновское излучение, рассеиваемое на конструкции 112, такое как комптоновское рассеяние рентгеновских лучей. Комптоновское рассеяние относится к неупругому рассеянию фотона (такого как рентгеновский луч) заряженной частицей, такой как электрон, что, как правило, 15 приводит к уменьшению энергии фотона. Длина волны рассеянного рентгеновского излучения 5 отличается от длины волны первоначального рентгеновского излучения, генерируемого источником 106. Источник 106 рентгеновского излучения может быть выполнен с возможностью поворота первичного рентгеновского луча 114 по отношению к конструкции 112 в пределах угла качания для источника 106 рентгеновского излучения.

20 [0051] Система 100, показанная на ФИГ. 4, представляет собой только один пример конфигурации системы. Как уже отмечалось, в альтернативных вариантах реализации система 100 может быть размещена так, что датчики 108 рассеянного излучения обнаруживают прямо рассеянное излучение вместо обратно рассеянного излучения. Кроме того, вместо перемещения рентгеновской установки 102 рентгеновская установка 25 102 может быть зафиксирована на месте, а конструкция 112 размещена на подвижной опоре, которая перемещает конструкцию 112 относительно зафиксированной рентгеновской установки 102.

[0052] На ФИГ. 5 показано изображение 200 конструкции 112 в отношении графика 202 зависимости значений 204 уровней серого от расстояния 206 на конструкции. Как 30 показано на ФИГ. 1-2, 4 и 5, блок 104 управления может создавать/реконструировать изображения 200 на основании принятого рассеянного рентгеновского излучения 116 по длине конструкции 112. По меньшей мере в одном варианте реализации изображение 200 может быть фактически полученным изображением по меньшей мере части указанной конструкции. По меньшей мере еще в одном варианте реализации изображение 35 200 может представлять собой или включать данные, представляющие изображение по меньшей мере части указанной конструкции независимо от того, могут ли они быть представлены как изображение или нет. Например, количество принятых фотонов рассеянного рентгеновского излучения 116 может быть соотнесено со значением 204 уровня серого. Интенсивность значения 204 уровня серого может быть прямо (или, в 40 альтернативных вариантах реализации, обратно) пропорциональна количеству фотонов рентгеновского излучения. Например, часть 210 конструкции 112 в максимальной степени отражает рассеянное рентгеновское излучение 116 и, поэтому, кажется самым ярким. И наоборот, часть 212, которая отличается от части 210 конструкции 112, в минимальной степени отражает рассеянное рентгеновское излучение 116 и, поэтому, 45 кажется самым темным. В альтернативных вариантах реализации указанная взаимосвязь может быть обратной, так что часть 210 конструкции 112 кажется более темной, чем часть 212. Также в альтернативных вариантах реализации вместо шкалы уровней серого цвета, изображение 200 может иметь цветовые коды таким образом, что различным

уровням изменения соответствуют различные цвета.

[0053] Как показано на ФИГ. 5, конструкция 112 в целом является нормальной на протяжении участка, проходящего соответственно от конца (0 пикселей) до отметки расстояния, соответствующей примерно 50 пикселям изображения 200. Изменение 212 (например, повреждение) конструкции 112 представлено от отметки расстояния, соответствующей 125 пикселям до отметки расстояния, соответствующей примерно 200 пикселям.

[0054] Пиксельные значения собирают на основании обнаруженного рассеянного излучения. Пиксельные значения могут быть сравнены с калибровочными данными для определения того, имеет ли какая-либо область конструкции 112 значение выше или ниже заданного порогового значения изменений. Например, область, которая имеет пиксельные значения, указывающие на уровень изменения в 85% (в отношении калибровочных данных), может быть помечена как недопустимая.

[0055] Как показано и описано, имеются отчетливые различия количественных показателей рассеянного рентгеновского излучения для областей конструкции 112, имеющих различные физические свойства (таких как, например, обгоревшие и необгоревшие области). Индикатором отличия физических свойств (например, вызванных тепловым изменением) могут быть отличия количественных показателей рассеянного рентгеновского излучения относительно друг друга. Например, область конструкции 112, измененная нагревом (например, обугленная или обгоревшая), имеет меньший количественный показатель рассеянного рентгеновского излучения по сравнению с нормальной областью конструкции 112. Тепловое изменение помимо обугливания поверхности и изменения цвета может быть обнаружено с помощью количественного показателя рассеянного рентгеновского излучения, что указывает на наличие начидающегося теплового изменения (например, изменения, вызванного нагревом и происходящего до начала плавления или обугливания смолы в композиционном материале).

[0056] В частном случае может быть создана и/или отображена карта пиксельных значений. Карта может представлять собой или включать в себя изображение (подвергнутое или не подвергнутое рендерингу) конструкции 112, представляющее изменения конкретного свойства (например, усталость, изгиб в трех точках, жесткость и/или т.п.). По меньшей мере в одном варианте реализации карта может обеспечивать представление комптоновского рассеяния в отношении одного термического и/или механического свойства материала, из которого выполнена конструкция, или более.

[0057] В частном случае пиксельные значения и/или карта могут быть переданы или может быть передана в модель для анализа методом конечных элементов (FEA) для оценки одного физического свойства или более подвергнутой сканированию конструкции 112. Модель для анализа методом конечных элементов может быть полезной, например, когда пиксельные значения находятся в пределах допустимой погрешности в отношении конкретного порогового значения.

[0058] После анализа конструкции 112 с определением каких-либо областей изменения, измененные области могут быть отрезаны, заделаны заплатами или восстановлены иным образом. Если часть летательного аппарата, например, была подвергнута воздействию избыточного нагрева, силы или имеет износ, лицо, осуществляющее технический контроль, может пожелать убедиться, что удаление части конструкции 112 привело к удалению отмеченной измененной области. Варианты реализации настоящего изобретения обеспечивают создание систем и способов, которые гарантируют, что вся конструкция всегда будет иметь соответствующие характеристики,

независимо от того, является ли она оригинальной или заменена впоследствии, например, посредством установки заплаты. В частном случае применения систем и способов, описанных в настоящем документе, может быть обеспечена гарантия того, что поврежденная область или области были полностью удалены и/или восстановлены. В 5 целом, варианты реализации настоящего изобретения обеспечивают создание систем и способов для эффективного обнаружения структурных изменений внутри конкретной конструкции.

[0059] Как описано выше, блок 104 управления может быть использован для управления работой системы 100 для выявления свойств. При использовании в 10 настоящем документе термин "центральный обрабатывающий блок", "CPU", "компьютер" или т.п. может включать в себя любую систему на основе процессора или микропроцессора, включая системы, использующие микроконтроллеры, 5 компьютеры с сокращенным набором команд (RISC), специализированные интегральные схемы (ASIC), логические схемы и любые другие схемы или процессоры, включающие в себя 15 аппаратные средства, программное обеспечение или их комбинацию, выполненные с возможностью реализации функций, описанных в настоящем документе. Описанные выше примеры являются лишь иллюстративными и не предназначены для ограничения каким-либо образом определения и/или значения таких терминов. Например, блок 104 управления может представлять собой или включать в себя один процессор или более, 20 выполненный с возможностью управления работой системы 100 для выявления свойств.

[0060] Блок 104 управления выполнен с возможностью исполнения набора инструкций, которые сохранены в одном элементе хранения или более (таком как запоминающие устройства), чтобы осуществлять обработку данных. Например, блок 104 управления может включать в себя одно запоминающее устройство или более или 25 быть соединенным с одним запоминающим устройством или более. Элементы хранения могут также хранить данные или другую необходимую или требующуюся информацию. Элемент хранения может быть выполнен в форме источника информации или физического элемента памяти в обрабатывающей машине.

[0061] Набор инструкций может включать в себя различные команды, которые 30 инструктируют блок 104 управления для работы в качестве обрабатывающей машины для выполнения определенных операций, таких как способы и процессы согласно различным вариантам реализации изобретения объекта, описанным в настоящем документе. Набор инструкций может быть выполнен в форме программного обеспечения. Программное обеспечение может быть выполнено в различных формах, 35 таких как системное программное обеспечение или программное обеспечение приложения. Кроме того, программное обеспечение может быть выполнено в виде набора отдельных программ или модулей, программного модуля в составе большой программы или части программного модуля. Программное обеспечение также может включать в себя модульное программирование в форме объектно-ориентированного 40 программирования. Обработка входных данных обрабатывающей машиной может быть проведена в ответ на команды пользователя, или в ответ на результаты предыдущей обработки, или в ответ на запрос, выполненный другой обрабатывающей машиной.

[0062] Схематические изображения вариантов реализации изобретения, 45 представленные в настоящем документе, могут иллюстрировать один блок управления или обработки или более, такой как блок 104 управления. Необходимо отметить, что блоки управления или обработки могут представлять собой схемы, схемные элементы или их части, которые могут быть реализованы в качестве аппаратных средств с

соответствующими инструкциями (например, программное обеспечение, сохраненное на материальном и некратковременном компьютерочитаемом носителе, таком как компьютерный жесткий диск, ПЗУ, ОЗУ или т.п.), которые выполняют операции, описанные в настоящем документе. Аппаратные средства могут включать в себя схему

- 5 конечного автомата, реализованную аппаратно для выполнения функций, описанных в настоящем документе. В частном случае аппаратные средства могут включать в себя электронные схемы, которые включают в себя и/или могут быть подключены к одному устройству или более, выполненному на основе логических схем, такому как микропроцессоры, процессоры, контроллеры или т.п. В частном случае блок 104
- 10 управления может представлять собой схему обработки, такую как одно или более из следующего: программируемая вентильная матрица (FPGA), специализированная интегральная схема (ASIC), микропроцессор (микропроцессоры), устройство для квантовых вычислений и/или т.п. Схемы в различных вариантах реализации изобретения могут быть выполнены с возможностью исполнения одного алгоритма или более для
- 15 реализации функций, описанных в настоящем документе. Указанный один алгоритм или более может включать в себя аспекты вариантов реализации, раскрытых в настоящем документе, независимо от их явного выражения в структурной схеме или способе.

- [0063] При использовании в настоящем документе термины "программное обеспечение" и "прошивка" являются взаимозаменяемыми и включают в себя любую компьютерную программу, сохраненную в памяти для выполнения компьютером, в том числе в памяти ОЗУ (RAM), памяти ПЗУ (ROM), памяти СППЗУ (EPROM), памяти ЭСППЗУ (EEPROM) и энергонезависимой памяти ОЗУ (NVRAM). Вышеуказанные типы запоминающих устройств являются только примерными и, таким образом, не ограничивают типы запоминающих устройств, выполненных с возможностью использования для хранения компьютерной программы.

- [0064] На ФИГ. 6 приведена структурная схема способа выявления одного свойства конструкции, такой как конструкция 112, или более. Блок 5 104 управления (показан на ФИГ. 1 и 2) может управлять работой системы 100 для выявления свойств (показанной на ФИГ. 1 и 2, например) согласно структурной схеме по ФИГ. 6. Способ начинают с операции 300, во время которой выполняют калибровку системы 100 для выявления свойств. Например, рентгеновская установка (такая как рентгеновская установка 102, показанная на ФИГ. 1 и 2) системы 100 для выявления свойств выполнена с возможностью сканирования одного контрольного образца 120 (такого как тест-купонов) или более, имеющего области измененных физических свойств. Рентгеновская установка 102 сканирует указанные известные области, подвергнутые контролю, и связывает данные о рассеянном рентгеновском излучении с каждым из контрольных образцов 120 и/или их областей. Указанное связывание известных областей, подвергнутых контролю, и данных о рассеянном рентгеновском излучении может обеспечить калибровочные данные, например, в виде калибровочной кривой, таблицы соответствия, графика, алгоритма и/или т.п. Калибровочные данные затем сохраняют при выполнении операции 302.

- [0065] При выполнении операции 304 конструкцию 112, подлежащую проверке, сканируют посредством рентгеновской установки 100. При выполнении операции 306 обнаруживают рассеянное рентгеновское излучение, рассеиваемое на частях конструкции 112. По меньшей мере в одном варианте реализации может быть выполнен двухмерный график области сканируемой конструкции (такой как график 202, показанный на ФИГ. 5). График может содержать ось количественных показателей рентгеновского излучения

(такую как ось значений уровня серого) и ось расстояний (такую как ось, измеряемая в пикселях). При выполнении операции 308 данные о рассеянном рентгеновском излучении, относящиеся к указанному рассеянному рентгеновскому излучению, сравнивают с калибровочными данными для определения областей, физические свойства которых отличаются. При выполнении операции 310 определяют, отклоняется ли значение данных о рассеянном рентгеновском излучении (например, является более высоким или более низким) от заданного порогового значения (например, выраженного в процентах порогового значения, указывающего на изменение). Если нет, согласно способу переходят от операции 310 к операции 312, на которой определяют отсутствие изменений на этом конкретном месте конструкции. Затем, согласно способу, возвращаются к операции 306. Однако если данные о рассеянном рентгеновском излучении отклоняются (являются более высокими или более низкими) от заданного порогового значения, согласно способу переходят от операции 310 к операции 314, на которой место конструкции обозначают 5 (например, помечают) как поврежденное.

При выполнении операции 315 определяют, завершено ли сканирование конструкции. Если сканирование завершено, процесс завершают выполнением операции 317. Если нет, согласно способу возвращаются к операции 306. По меньшей мере в одном варианте реализации данные о рассеянном рентгеновском излучении и/или калибровочные данные могут быть переданы в модель для анализа методом конечных элементов, которая может быть использована для оценки локализованного уменьшения значений прочности указанной конструкции.

[0066] Как описано выше, варианты реализации настоящего изобретения обеспечивают создание систем и способов, с помощью которых можно эффективно обнаруживать локализованные области структурного изменения в конструкции, такой как часть летательного аппарата. Кроме того, варианты реализации настоящего изобретения обеспечивают создание систем и способов, с помощью которых можно обнаруживать области начинаящегося изменения в композитной конструкции до того, как увеличение изменения достигнет нежелательного уровня.

[0067] Варианты реализации настоящего изобретения могут быть использованы для обнаружения изменений свойств или характеристик конструкции, отличных от повреждения. Например, варианты реализации настоящего изобретения могут быть использованы для определения свойств, таких как структурные несоответствия, аномалии, дефекты и/или т.п.

[0068] Хотя для описания вариантов реализации настоящего раскрытия в отношении пространства и направления могут быть использованы различные термины, такие как верхний, днищевой, нижний, серединный, боковой, горизонтальный, вертикальный, передний и т.п., следует отметить, что такие термины использованы только в отношении ориентаций, показанных на чертежах. Ориентации могут быть перевернуты, повернуты или иным образом изменены, так что верхняя часть становится нижней частью и наоборот, горизонтальная становится вертикальной и т.п.

[0069] При использовании в настоящем документе конструкция, ограничение или элемент, который “выполнен с возможностью” выполнения задания или операции, конструктивно выполнен, изготовлен или приспособлен конкретно таким образом, чтобы он соответствовал этому заданию или этой операции. Для 5 целей пояснения и во избежание недоразумений, при использовании в настоящем документе, объект, который просто обладает способностью изменения для выполнения задания или операции, не является “выполненным с возможностью” выполнения этого задания или этой операции.

[0070] Следует понимать, что представленное выше описание предназначается для иллюстрации и не является ограничительным. Например, описанные выше варианты реализации (и/или их аспекты) могут быть использованы в комбинации друг с другом. В дополнение, для адаптации к конкретной ситуации или материалу может быть

- 5 выполнено множество модификаций идей различных вариантов реализации изобретения без отхода его сущности. Хотя размеры и типы материалов, описанные в настоящем документе, предназначены для задания параметров различных вариантов реализации данного раскрытия, указанные варианты реализации никоим образом не являются ограничительными и представляют собой примерные варианты реализации.
- 10 Специалистам в данной области техники при рассмотрении приведенного выше описания будут очевидны многие другие варианты реализации. Следовательно, объем различных вариантов реализации настоящего изобретения должен быть определен со ссылкой на прилагаемую формулу изобретения вместе с полным объемом эквивалентов, на которые такая формула изобретения имеет право. В прилагаемой формуле изобретения
- 15 выражения "включающий в себя" и "в котором" (in which) использованы в качестве простых английских эквивалентов соответствующих выражений "содержащий/включающий" и "в котором" (wherein). Более того, выражения "первый", "второй" и "третий" и т.п. использованы только в качестве обозначений и не предназначены для наложения численных требований к их объектам. Кроме того, ограничения следующей
- 20 формулы изобретения не записаны в формате "средство-плюс-функция" и не предназначены для интерпретации на основе раздела 35 U.S.C. § 112(f), если только для таких ограничений формулы изобретения явным образом не используется выражение "средство для", за которым следует изложение функции без последующей структуры.

[0071] В этом письменном описании используются примеры для раскрытия различных вариантов реализации настоящего изобретения, включая наилучший вариант, а также любому специалисту в данной области техники обеспечивается возможность применения на практике различных вариантов реализации настоящего раскрытия, включая выполнение и использование любых устройств или систем и использование 5 любых включенных способов. Патентоспособный объем различных вариантов реализации раскрытия определяется формулой изобретения и может включать в себя другие примеры, которые окажутся очевидными для специалистов в данной области техники. Такие другие примеры предназначены для включения в пределы объема формулы изобретения, если указанные примеры имеют структурные элементы, которые не отличаются от буквального изложения формулы изобретения, или если указанные примеры включают в себя эквивалентные структурные элементы, которые имеют несущественные отличия от буквального изложения формулы изобретения.

(57) Формула изобретения

1. Способ выявления одного свойства конструкции или более, включающий:

- 40 создание и сохранение калибровочных данных, определенных на основании сканирования одного контрольного образца или более, выполненного из материала, из которого выполнена указанная конструкция;
- облучение конструкции рентгеновским излучением для ее сканирования;
- 45 обнаружение рассеянного рентгеновского излучения, рассеянного на указанной конструкции;

и определение указанного одного свойства конструкции или более на основании сравнения обнаруженного рассеянного рентгеновского излучения с калибровочными данными, причем указанное одно свойство или более представляет собой механическое

и/или термическое свойство.

2. Способ по п. 1, согласно которому указанное одно свойство или более включает плотность конструкции и/или уровень изменения полимерных связей в ней.

3. Способ по п. 2, согласно которому определение включает связывание различий 5 плотности конструкции с уровнями изменений, вызванных тепловой энергией.

4. Способ по п. 1, также включающий сравнивание рассеянного рентгеновского излучения с заданным пороговым значением для определения областей изменений в конструкции.

5. Способ по п. 1, также включающий создание карты изменений исходя из данных 10 о рассеянном рентгеновском излучении.

6. Способ по п. 5, согласно которому создание карты изменений включает создание карты изменений, которая содержит значения уровней серого или значения цветовых кодов, связанные с количеством фотонов рассеянного рентгеновского излучения, обнаруженных указанным одним датчиком рассеянного излучения или более.

15 7. Способ по п. 1, согласно которому создание и сохранение включает создание и сохранение калибровочных данных в виде калибровочной кривой или таблицы соответствия.

8. Способ по п. 1, согласно которому рассеянное рентгеновское излучение представляет собой обратно рассеянное рентгеновское излучение и/или прямо рассеянное 20 рентгеновское излучение.

9. Система для выявления свойств, выполненная с возможностью выявления одного свойства конструкции или более и содержащая:

- рентгеновскую установку, включающую в себя источник рентгеновского излучения, выполненный с возможностью облучения конструкции рентгеновским излучением для 25 ее сканирования, и

один датчик рассеянного излучения или более, выполненный с возможностью обнаружения рассеянного рентгеновского излучения, рассеянного на конструкции, при этом рентгеновская установка выполнена с возможностью сканирования одного контрольного образца или более, выполненного из материала, из которого выполнена 30 указанная конструкция; и

- блок управления, соединенный с рентгеновской установкой и выполненный с возможностью создания и сохранения калибровочных данных, определенных на основании указанного одного контрольного образца или более, причем блок управления выполнен с возможностью определения указанного одного свойства или более на 35 основе рассеянного рентгеновского излучения и калибровочных данных, а указанные одно свойство или более представляет собой механическое и/или термическое свойство.

10. Система для выявления свойств по п. 9, в которой указанное одно свойство или более включают плотность конструкции и/или уровень изменения полимерных связей в ней.

40 11. Система для выявления свойств по п. 10, в которой блок управления выполнен с возможностью связывания различий плотности конструкции с уровнями изменений, вызванных тепловой энергией.

12. Система для выявления свойств по п. 9, в которой блок управления выполнен с возможностью сравнивания рассеянного рентгеновского излучения с заданным 45 пороговым значением для определения областей изменения в конструкции.

13. Система для выявления свойств по п. 9, в которой калибровочные данные созданы и сохранены в виде калибровочной кривой или таблицы соответствия.

14. Система для выявления свойств по п. 9, в которой блок управления выполнен с

возможностью создания карты изменений исходя из данных о рассеянном рентгеновском излучении.

15. Система для выявления свойств по п. 14, в которой карта изменений содержит значения уровней серого или значения цветовых кодов, связанные с количеством

5 фотонов рассеянного рентгеновского излучения, обнаруженных указанным одним датчиком рассеянного излучения или более.

16. Система для выявления свойств по п. 9, в которой источник рентгеновского излучения и указанный один датчик рассеянного излучения или более размещён с одной стороны конструкции, а рассеянное рентгеновское излучение представляет собой

10 обратно рассеянное рентгеновское излучение.

17. Система для выявления свойств, выполненная по п. 9, в которой конструкция размещена между источником рентгеновского излучения и указанным одним датчиком рассеянного излучения или более, а рассеянное рентгеновское излучение представляет собой прямо рассеянное рентгеновское излучение.

15 18. Система для выявления свойств, содержащая:

- рентгеновскую установку, включающую в себя источник рентгеновского излучения, выполненный с возможностью облучения конструкции рентгеновским излучением для ее сканирования, и

один датчик рассеянного излучения или более, выполненный с возможностью

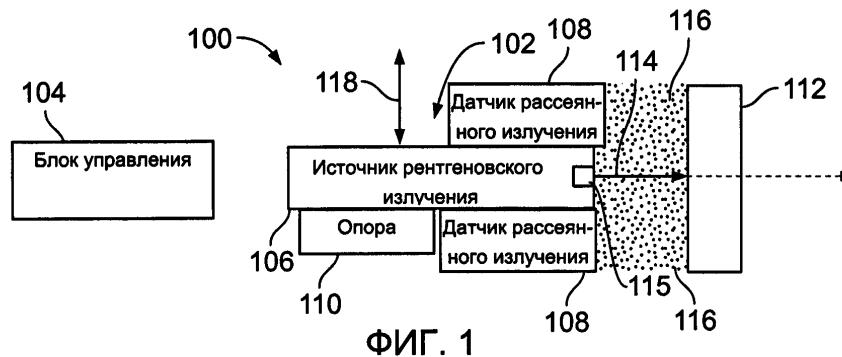
20 обнаружения рассеянного рентгеновского излучения, рассеянного на конструкции, при этом рентгеновская установка выполнена с возможностью сканирования одного контрольного образца или более перед облучением конструкции рентгеновским излучением, а указанный один контрольный образец или более выполнен из материала, из которого выполнена указанная конструкция; и

25 - блок управления, соединенный с рентгеновской установкой и выполненный с возможностью создания и сохранения калибровочных данных, определенных на основании указанного одного контрольного образца или более, определения изменения в конструкции посредством определения плотности конструкции на основе обнаруженного рассеянного рентгеновского излучения, связывания различий плотности

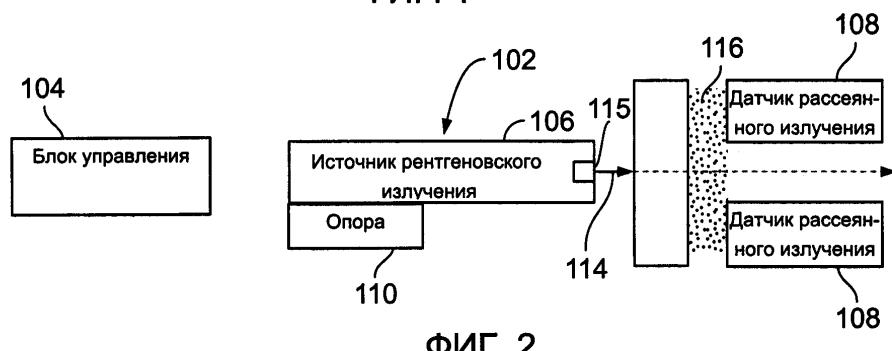
30 и/или полимерных связей конструкции с уровнями изменения в ней и сравнения рассеянного рентгеновского излучения с заданным пороговым значением для определения областей изменения в указанной конструкции.

19. Система для выявления свойств по п. 18, в которой блок управления также выполнен с возможностью создания карты изменений исходя из данных о рассеянном 35 рентгеновском излучении, причем карта изменений содержит значения уровней серого или значения цветовых кодов, связанные с количеством фотонов рассеянного рентгеновского излучения, обнаруженных указанным одним датчиком рассеянного излучения или более.

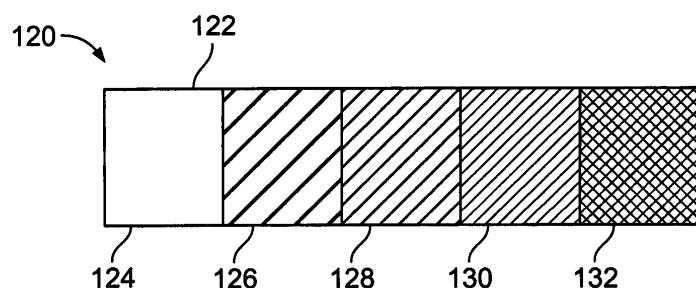
1/4



ФИГ. 1

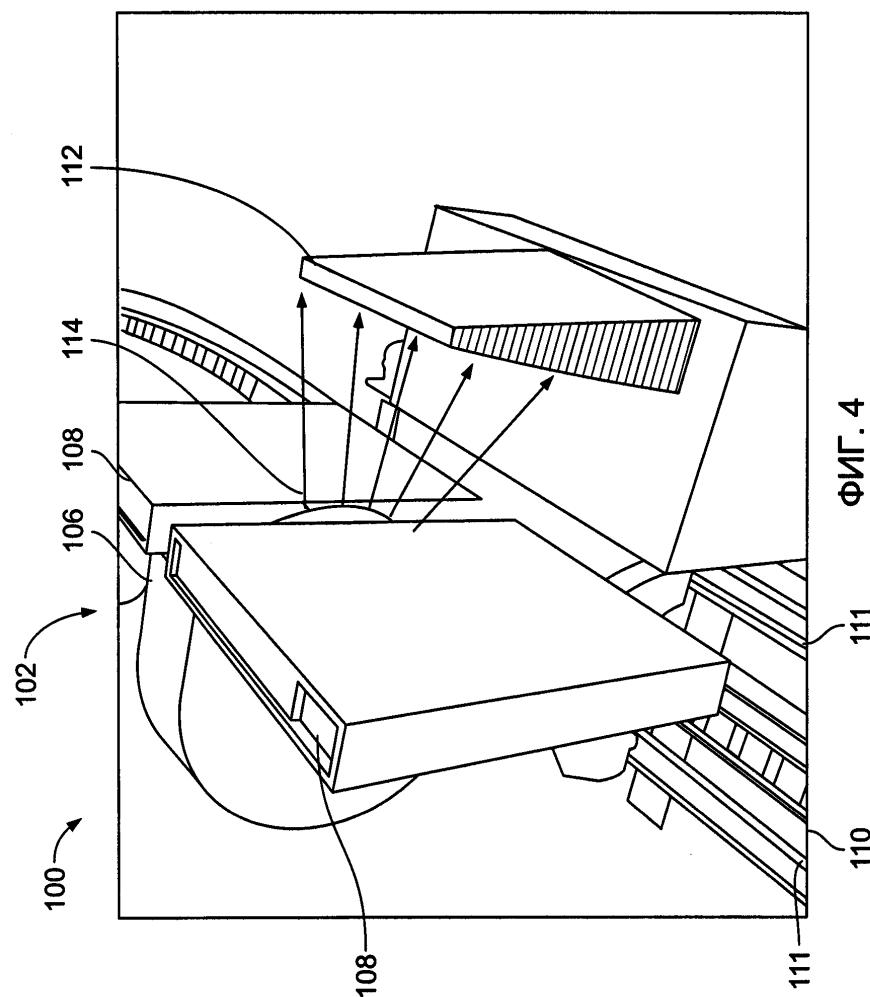


ФИГ. 2

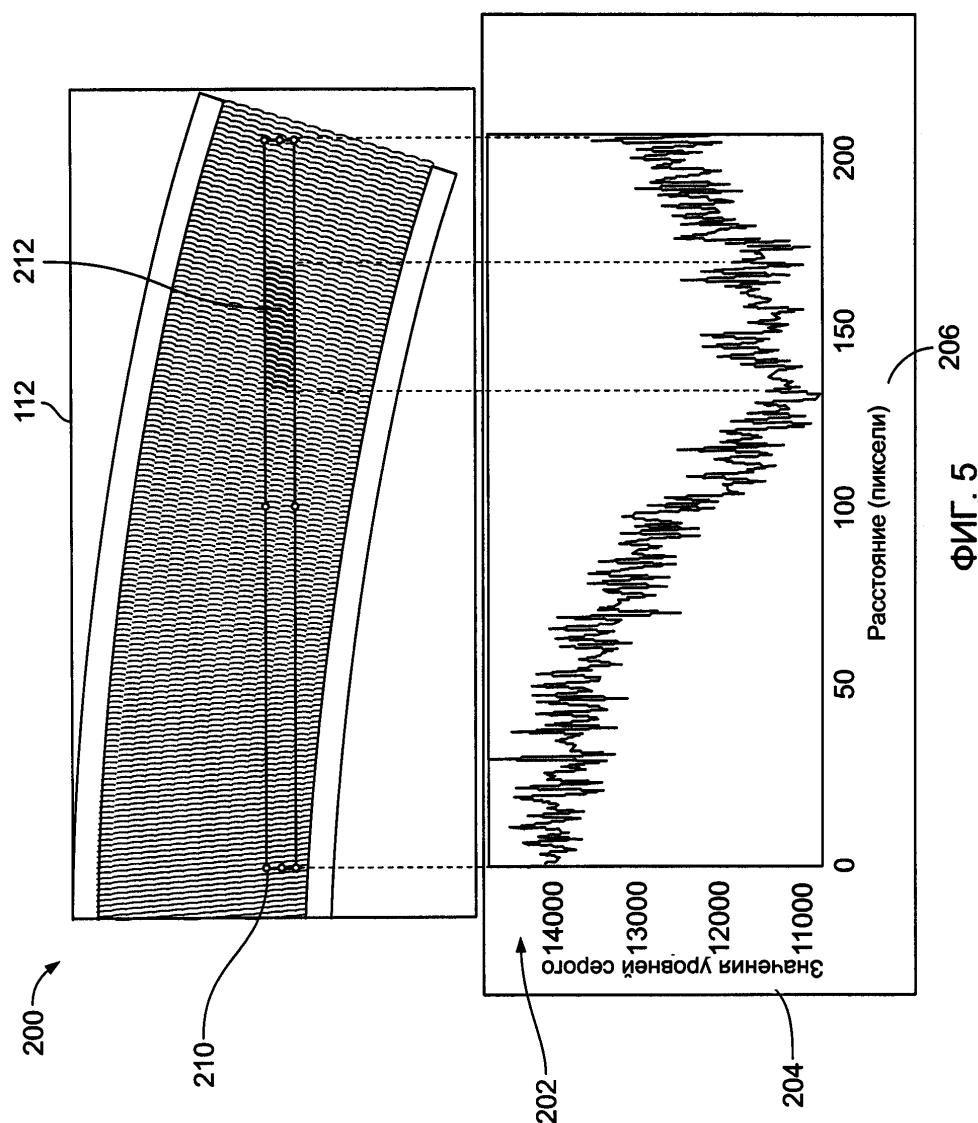


ФИГ. 3

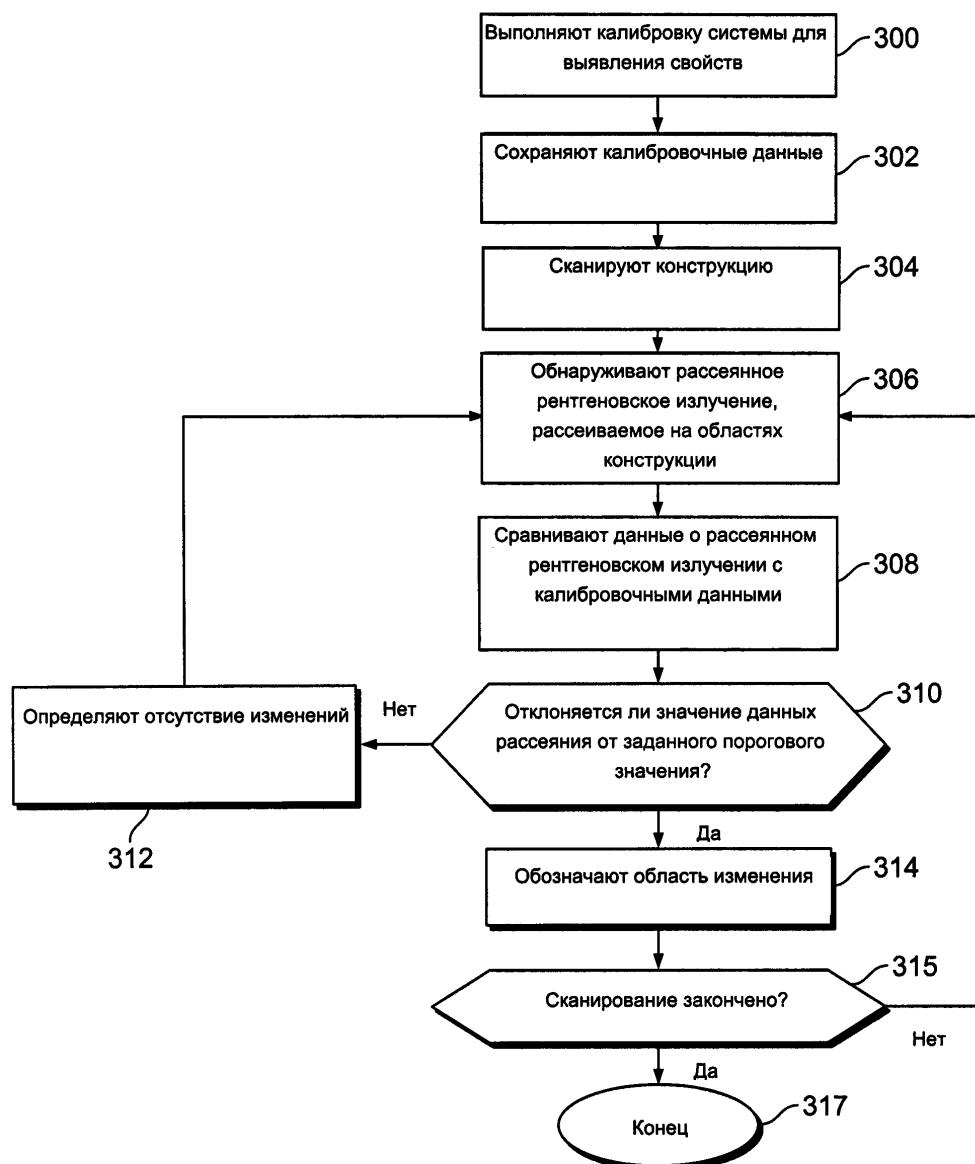
2/4



3/4



4/4



ФИГ. 6