

(19)



Евразийское
патентное
ведомство

(21) 201990310 (13) A1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки
2019.06.28(51) Int. Cl. G01N 23/04 (2018.01)
G01B 15/02 (2006.01)
G06T 7/10 (2017.01)(22) Дата подачи заявки
2017.07.27

(54) СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ И/ИЛИ СОСТОЯНИЯ МАТЕРИАЛА ИССЛЕДУЕМОГО ОБЪЕКТА ПОСРЕДСТВОМ РАДИОГРАФИИ

(31) P1600469

(32) 2016.07.27

(33) HU

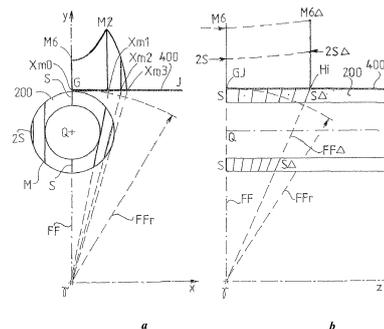
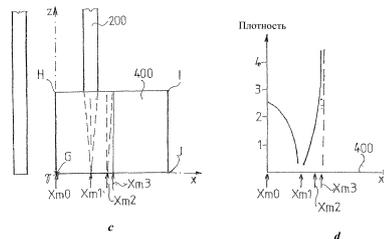
(86) PCT/HU2017/050030

(87) WO 2018/100404 2018.06.07

(88) 2018.08.16

(71)(72) Заявитель и изобретатель:
ТЕЛЕКИ ПЕТЕР (HU)(74) Представитель:
Хмара М.В., Липатова И.И.,
Новоселова С.В., Пантелеев А.С.,
Ильмер Е.Г., Осипов К.В. (RU)

(57) Изобретение относится к способу определения посредством радиографии геометрических параметров исследуемого объекта, который может быть описан геометрически. При этом длина траектории излучения, проходящей сквозь материал исследуемого объекта, может быть определена по проекции объекта, например трубы, изображение которой сформировано рентгеновским или гамма-источником излучения при условии доступности данных об экспозиции радиографического изображения. При этом участки траекторий, проходящих сквозь материал объекта, и вычисляемые на их основе кривые, допускают, что размер исследуемого объекта, например трубы, может быть больше, чем размер приемника (пленки/детектора), используемого для получения радиографического изображения. При осуществлении данного способа источник излучения, исследуемый объект и приемник (пленка/детектор), служащий для получения радиографического изображения, находятся в фиксированных положениях.



A1

201990310

201990310

A1

СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ И/ИЛИ СОСТОЯНИЯ МАТЕРИАЛА ИССЛЕДУЕМОГО ОБЪЕКТА ПОСРЕДСТВОМ РАДИОГРАФИИ

5 Область техники, к которой относится изобретение

Изобретение относится к способу, посредством которого объект может быть отображен (для диагностических целей, например с целью проверки технического состояния) посредством приемника излучения путем облучения объекта из заданной точки излучением, испускаемым квазиточечным источником излучения, в частности
10 источником рентгеновских и/или гамма-лучей. Облучаемый объект имеет четко определенные геометрические и физические характеристики, релевантные для облучения, например характеристики поглощения рентгеновских и/или гамма-лучей. При этом приемник излучения (выполненный, в частности, в виде пленки и/или любого другого подходящего детекторного средства) отображает, с определенным
15 разрешением, изменения, пропорциональные количеству излучения, падающего на данный приемник и поглощаемого им (точнее, пикселями приемника, т. е. теми участками его поверхности, имеющими определенный размер и фактически определяющими разрешение). Основываясь на этих изменениях, т. е. производя их оценку, можно определить геометрические параметры и/или состояние исследуемого
20 объекта.

Предшествующий уровень техники

В промышленности ультразвуковые или радиографические методы получения изображений используются в качестве предпочтительных методов неразрушающего
25 контроля (коррозии/эрозии) различных конструктивных компонентов, особенно полых объектов, например, таких как трубы, трубопроводы, а также имеющиеся в них сварные швы. Например, в энергетической (в частности атомной) промышленности ультразвуковые измерения толщины стенок применяются при проведении инспекции (а) колен труб (особенно наружных труб), (b) Т-образных трубных коннекторов и (с)
30 фитингов-переходников и других фитингов для труб/трубопроводов, применяемых на электростанциях.

Ультразвуковые тестирования являются непрактичными для инспекции in-situ дублирующихся конструкций (например конструкций типа труба-в-трубе) в процессе функционирования электростанции и, по возможности, без удаления теплоизоляции.

35 При использовании так называемого радиографического тангенциального метода получения изображений (рассматриваемого далее), который, хотя и известен в

области получения рентгеновских изображений, не получил широкого практического применения (как следствие типа применяемого источника излучения), изображения пустых труб с диаметрами до примерно 300 мм формируются на пленке/детекторе, и изучаются теневые изображения стенок труб. Данный метод применим для труб с 5 толщиной стенки до 10-15 мм.

Известно также промышленное применение компьютерной томографии (КТ); однако, в реальных промышленных (а не в лабораторных) условиях КТ неосуществима (в данном случае относительное положение источника излучения и пленки/детектора фиксировано, но оно изменяется относительно исследуемого объекта).

10 Важно отметить также, что при ультразвуковых измерениях толщины стенки инспектируемая поверхность материала крайне мала по сравнению с поверхностью материала, которая может быть отображена на пленке/детекторе и проинспектирована посредством радиографии.

Известен также радиографический тангенциальный метод получения 15 изображений, в котором одновременно с инспектируемым объектом на пленке/детекторе получают также изображение референтных элементов (эталонов). В результате, при проведении оценки изображения наряду с ним доступны также изображения одного или более референтных элементов. В таком случае данные о 20 толщине инспектируемого объекта могут быть легко получены в корреляции с изображениями референтных элементов. Соответствующее решение по определению состояния труб/трубопроводов в процессе функционирования электростанции предложено, например, в патенте Венгрии HU 187820 и в европейском патенте EP 128922 B1.

Использование подобных референтных элементов усложняет указанный 25 радиографический тангенциальный метод получения изображений, а также значительно сокращает область пленки/детектора, полезную с точки зрения получения изображений. Это, в свою очередь, уменьшает толщину объекта, который может исследоваться данным методом.

В электронной публикации A. Hecht *et al.* в NDT.net (см. <http://www.ndt.net/article/ecndt98/chemical/101/101.htm>; October 1998, Vol. 3, No. 10), озаглавленной 30 „On-Line Radiographic Wallthickness-Measurement of Insulated Piping in the Chemical and Petrochemical Industry”, описан радиографический тангенциальный метод получения изображений, пригодный для измерения толщины стенки промышленного трубопровода. Данный метод использует плоскую поверхность электронного гамма- 35 и/или рентгеновского детектора, чтобы получить радиографическое изображение исследуемого трубопровода, а также компьютерную обработку цифровых данных,

чтобы оценивать рентгеновские изображения. Толщину стенки трубопровода определяют на основе проецируемого цифрового изображения стенки трубопровода (т. е. “тени стенки”) путем обработки геометрических соотношений, характеризующих геометрическую схему, которая была использована для получения изображения.

- 5 Соответственно, данный способ применим, только если плоская поверхность детектора способна принимать/отображать проецируемое (и, следовательно, увеличенное) полное изображение инспектируемого трубопровода, сделанное вдоль его диаметра.

В электронной публикации В. Redmer *et al.* в NDT.net (см. <http://www.ndt.net/article/ecndt02/308/308.htm>; December 2002, Vol. 7, No. 12),
10 озаглавленной „Mechanised Weld Inspection by Tomographic Computer Aided Radiometry (ТомоСАР)”, описаны способ и система для исследования, с компьютерной поддержкой, промышленных трубопроводов посредством рентгеновского сканирования. В данной системе используется комбинированный блок из источника
15 излучения и детектора, который движется вокруг наружной поверхности трубопровода по спиральной траектории. Толщину стенки определяют, используя полученные цифровые данные и применяя ламинографические или томографические методы реконструкции изображения. Данный способ является весьма сложным и, следовательно, дорогостоящим.

Из уровня техники известно измерение толщины стенки, основанное на
20 получении радиографического изображения; однако (как это отмечено выше), диаметр трубы, определяемый известным методом, довольно ограничен. В этом отношении можно сослаться на сообщение, сделанное фирмой *GE Sensing & Inspection Technologies* и озаглавленное „Computed Radiography Plus Rhythm Software Platform for FAC (Flow Accelerated Corrosion) Inspection in Nuclear Secondary Circuit”
25 (дополнительные подробности могут быть получены из материалов следующей конференции: 8th International Conference on NDE in Relation to Structural Integrity for Nuclear and Pressurized Components – We.3.B.3, проходившей в Берлине (Германия) с 29.09.2010 по 1.10.2010, наиболее полно отражающих уровень техники в данной области).

30 Каждый рассмотренный выше документ, характеризующий уровень техники, описывает (тангенциальную) схему проецирования изображения на пленку/детектор, пригодную для использования при инспектировании труб с диаметром 220-250 мм и толщиной стенки 15 мм, которые могут быть снабжены теплоизоляцией.

При этом каждый из рассмотренных способов предусматривает измерения
35 увеличенной проекции толщины стенки исследуемой трубы, появляющейся на пленке/детекторе, естественно, с коррекцией влияния степени увеличения. Существует

также решение, дополнительно использующее для калибровки референтный образец.

Вместе с тем, рассмотренным способом присущи фундаментальные ограничения, поскольку получение изображения толщины стенки трубопровода у его наружной поверхности дает нулевую толщину материала, тогда как наибольшая
5 толщина материала, изображение которой может быть получено у внутренней поверхности, в большинстве случаев не может быть отображена. Эта проблема проиллюстрирована фиг. 2d, 2с. Ее сущность заключается в том, что в способах согласно уровню техники внутренняя поверхность трубопровода, разумеется, локализована не в положении, в котором она фактически представляется находящейся
10 на пленке/детекторе, а ближе к наружной поверхности. Соответственно, определяемое значение толщины стенки не является точным. По мере возрастания диаметра трубы и толщины ее стенки проблема еще больше обостряется. В числе других факторов, это является причиной непригодности рассмотренных способов для измерения толщины стенки трубопровода большого диаметра (с наружным диаметром больше 250 мм).

15

Сущность изобретения

Таким образом, задача, решаемая изобретением, состоит в устранении или по меньшей мере в ослаблении проблем, свойственных соответствующим методам, известным из уровня техники, и, параллельно с этим, в разработке альтернативной
20 технологии неразрушающего контроля, основанной на радиографии и направленной на определение геометрических параметров и/или состояния материала полого тела, предпочтительно трубчатого объекта, подлежащего инспектированию.

Дополнительная задача, решаемая изобретением, состоит в разработке технологии неразрушающей диагностики, которая основана на радиографии и которая
25 может быть использована для надежного инспектирования, например в диагностических целях, трубопровода с произвольными наружным диаметром и толщиной стенки в процессе или вне процесса использования трубопровода, который, как вариант, может иметь наружный слой теплоизоляции. Очевидно, что фундаментальный предел для наибольшей измеряемой толщины материала стенки
30 трубопровода задается жесткостью сканирующего излучения, генерируемого источником, применяемым для получения проецируемого радиографического изображения.

Еще одна задача состоит в разработке такого способа неразрушающего контроля, основанного на радиографии, в котором, чтобы обеспечить возможность
35 оценивания результатов измерений, нет необходимости использовать, при формировании изображения, референтный калибровочный элемент (этalon).

Согласно предлагаемому решению – в соответствии с п. 1 прилагаемой формулы изобретения – для определения параметра, соответствующего толщине инспектируемого объекта/толщине его стенки, в частности полого тела, предпочтительно трубчатого объекта, не требуется никаких эталонов, а детектируемый диаметр трубы неограничен. Кроме того, приемник излучения, применяемый для получения изображения, может иметь как плоскую, так и криволинейную поверхность в форме цилиндрической оболочки, как это показано на фиг. 1a-1d и фиг. 6a, 6b. Технология согласно изобретению не требует получения изображения толщины стенки исследуемого трубчатого объекта и, следовательно, регистрации тени стенки (хотя она и возможна). Вместо этого, согласно способу по изобретению производится определение так называемых особых (remarkable) точек в/на трубчатом объекте и соответствующих положений проекций данных особых точек на приемнике излучения, используемом для получения изображения.

Предпочтительные варианты изобретения раскрыты в п.п. 2-10.

В промышленной практике изобретение применимо для измерения толщины стенок, в основном, труб и трубопроводов и/или для оценивания их состояния (предпочтительно в отношении коррозии/эрозии, а также отложений, износа и т. д.). Применение изобретения создает также возможности для инспекций на (атомных) электростанциях или в нефтяной и химической отраслях промышленности объектов в рабочем состоянии, т. е. *in situ*, даже если инспектируемый трубопровод имеет непрерывный слой изоляции.

При осуществлении способа по изобретению, т. е. во время получения изображения, источник излучения, объект, подлежащий инспектированию, и приемник излучения, т. е. пленка, детектор или любое другое средство (например прибор), подходящее (подходящий) для приема/регистрации изображения, находятся во взаимно геометрически стабильных положениях; альтернативно, любой дефект изображения, обусловленный движением (например вибрацией любого из названных объектов), может быть измерен и, следовательно, устранен.

В частности, обязательное условие для осуществления способа неразрушающего контроля согласно изобретению состоит в том, что объект, подлежащий инспектированию и помещенный в область, облучаемую рентгеновскими и/или гамма-лучами, устройство для приема излучения (частично проходящего сквозь объект), т. е. пленка, детектор или любое другое средство, подходящее для приема/регистрации изображения, и источник излучения имеют геометрические и релевантные для облучения физические параметры, которые могут быть выражены в математической форме, причем объект, подлежащий инспектированию, приемник

излучения и источник излучения находятся в стабильных/неподвижных положениях (в пределах приемлемого допуска) в течение периода, требуемого для генерирования радиографа (фотографического теневого изображения), т.е. для создания изображения объекта посредством трансиллюминации. Следовательно, линия, проведенная от источника излучения к любой точке поверхности приемника излучения (т.е. траектория, по которой определенный луч проходит сквозь инспектируемый объект), может интерпретироваться с точки зрения дозиметрии. Таким образом, может быть определена линия прохождения сквозь инспектируемый объект (далее именуемая также прохождением).

По сути, каждая из подобных линий прохождения задает на приемнике излучения единственный пиксель (в данном описании термин “пиксель” означает наименьшую часть поверхности приемника излучения, которая может наблюдаться как отдельный элемент поверхности, несущий информацию об инспектируемом объекте, при наивысшем возможном разрешении приемника излучения). В частности, если приемник излучения содержит (традиционную) рентгеновскую пленку, нижний предел размера пикселя (т.е. разрешение промышленных рентгеновских пленок) составляет около 0,05 мм; следовательно, размер пикселя составляет 0,05 мм x 0,05 мм, т.е. при разрешении, например, 0,1 мм, в 1 мм² может быть задано 100 пикселей. Таким образом, на поверхности пленки/детектора с размерами 300 x 400 мм (120000 мм²) присутствуют 12×10^6 (т.е. 12М) пикселей, причем каждый из этих пикселей может оцениваться по отдельности, т.е. нести информацию. Размер пикселя увеличивается вследствие нерезкости, которая частично имеет геометрическую природу (она обусловлена тем, что сам источник излучения не является точечным источником). Например, размеры источника Ir-192, примерно равные 2,0 мм x 3,0 мм, определяют внешнюю (геометрическую) нерезкость, тогда как частично нерезкость обусловлена степенью нерезкости самой рентгеновской пленки. При этом данная нерезкость является функцией энергии излучения, и именно она оказывает основное влияние на детектируемое значение толщины материала.

Значения указанной нерезкости пленки, зависящие от энергии излучения (и, следовательно, от типа источника излучения), приведены в Таблице 1.

Таблица 1.

100 кэВ (рентгеновские лучи)	0,05 мм
200 кэВ	0,10 мм
400 кэВ	0,15 мм
Ir-192 (гамма-излучение)	0,17 мм
Co-60	0,35 мм
2 МэВ (линейный ускоритель)	0,32 мм

Из приведенных данных не следует, что не могут наблюдаться меньшие значения, детектируемые в схемах, характеризуемых заданными значениями энергии. Скорее, эти данные должны рассматриваться как представляющие характерные значения для разрешения в изображении. В качестве индикатора качества изображения для подлежащих инспектированию объектов (например трубчатой формы) предложен калибровочный элемент, называемый проволочным индикатором IQI ("Image Quality Indicator"), который создает минимальные помехи для изображения и более подробные сведения о котором приведены в профессиональном буклете, изданном и опубликованном фирмой Agfa-Gevaert N.V. (Нидерланды) под заголовком "Industrial radiography". Калибровочный элемент IQI состоит из набора проволок различных диаметров, расположенных в соответствии со стандартным порядком. При сваривании трубы данные проволоки расположены, по существу, под прямым углом к сварному шву. Однако для радиографического инспектирования такая схема неприемлема, поскольку для труб меньшего диаметра проволока калибровочного элемента IQI лежит на линии прохождения, которая проходит через материал с изменяющейся толщиной; как следствие, эта проволока может оказывать негативное влияние на схему оценивания, используемую при определении толщины стенки. Таким образом, желательно, чтобы калибровочный элемент при номинальной толщине материала был расположен параллельно сварному шву.

Желательно, чтобы диаметр проволоки, ожидаемый в соответствии с качеством изображения, был выражен в процентах от номинальной толщины материала. Как показывает опыт, если при оценивании радиографов применяются устройства для улучшения качества изображения, например фильтрующие средства, используемые, чтобы ослабить влияние рассеянного излучения, это значение может составлять 1,0 %. Согласно уровню техники допустимо и значение 0,5 %.

Важным показателем в радиографических исследованиях является также контраст изображения, взаимосвязь которого со степенью затемнения ("плотностью") отражена в Таблице 2.

Таблица 2

Плотность	Контраст
3,0	100 %
2,5	85 %
2,0	71 %
1,5	54 %
1,0	35 %

30

Основываясь на опыте, интервал доз (\approx плотности) для пленки/детектора, используемой/используемого как приемник излучения, может оцениваться, как

лежащий в пределах от 0,5 до 4,5. В этом случае отношение доз (dose ratio) определяется, как логарифм с основанием 10 отношения референтной и измеренной доз. В случае пленок существует так называемая голубая подложка с плотностью в интервале 0,2-0,25 (определяющая диапазон шума при оценивании). Этот интервал можно исключить за счет его незначительного превышения.

В качестве приемника излучения рекомендуются одноразовые пленки двух типов, а именно пленки, усиленные (интенсифицированные) посредством Pb и производимые/поставляемые фирмами Agfa-Gevaert и Fuji (Япония). В Таблице 3 устанавливается соответствие между различными типами пленок этих производителей.

Таблица 3.

Agfa	Pb	Fuji	Pb
	D4	=	50
	D5	=	80
	D7	=	100
	D8	=	150

Для больших толщин материала применимы только источники излучения, испускающие гамма-лучи. Например, для источника на базе Ir-192 наибольшая толщина материала, которая может быть просвечена, составляет около 4 дюймов (101,60 мм), тогда как никакие рентгеновские лучи при этой и больших толщинах материалов неприменимы. Для источника на базе Co-60 ($\approx 1,25$ МэВ) наибольшая детектируемая толщина материала составит 8 дюймов (203,20 мм). Наиболее важные параметры для некоторых элементов – рассчитанные для энергии 1,0 МэВ – представлены в Таблице 4. В столбце (I) данной Таблицы приведены символы и атомные номера соответствующих элементов; в столбце (II) – объемные плотности ρ этих элементов; в столбцах (III) и (IV) – коэффициенты μ полного затухания и коэффициенты $\mu^* \rho$ линейного затухания соответственно; в столбце (V) – толщина слоя половинного ослабления (absorption half-value thickness, HVT) соответствующего элемента, выраженная в сантиметрах (в данном случае имеет место соотношение $\ln 2 = 0,69315/\mu^* \rho$), а в столбце (VI) – поверхностная плотность соответствующего элемента, выраженная в г/см².

Таблица 4.

I	II	III	IV	V	VI
13 Al	2,70	0,06143	0,16586	4,1791	11,2836
14 Si	2,34	0,06354	0,14868	4,6620	10,9091
22 Ti	4,50	0,05875	0,26437	2,6219	11,7985
23 V	6,10	0,05779	0,35252	1,9663	11,9942
24 Cr	7,10	0,05912	0,41975	1,6513	11,7245
25 Mn	7,40	0,05833	0,43164	1,6058	11,8833
26 Fe	7,87	0,05975	0,46354	1,4953	11,7683
27 Co	8,90	0,05890	0,52421	1,3223	11,7682
28 Ni	8,90	0,06140	0,54646	1,2684	11,2891
29 Cu	8,96	0,05881	0,52694	1,3154	11,7862
41 Nb	8,57	0,05834	0,49997	1,3864	11,8813
42 Mo	10,22	0,05809	0,59368	1,1675	11,9323
74 W	19,30	0,06488	1,25218	0,5535	10,6836
82 Pb	11,35	0,06971	0,79121	0,8760	9,9433
вода	1,00	0,07060	0,07060	9,8180	9,8180

Следует отметить, что под железом (Fe) фактически подразумеваются простые нелегированные углеродистые стали, хотя в промышленности в большинстве случаев применяются легированные стали; поэтому всегда необходимо проверять значение HVT. В Таблице 4 представлены возможные легирующие элементы для стали (за исключением элемента 82 (Pb)). Таблица 4 основана на документе Health Physics Resources – UCRL – 501741: Compilation of X-Ray Cross Sections.

Знание и применение сведений, известных из уровня техники, составляют неотъемлемые части способа согласно изобретению. Радиография – это одна из форм неразрушающего тестирования материалов. Соответствующие международные правила и стандарты изложены в ISO 14096-1:2005(EN) и ISO 14096-2:2005(EN). Как следствие, в настоящее время для пленок могут быть предложены (только) аппараты FS50 и FS50B для оцифровки пленки фирмы GE. Некоторые характерные показатели аппарата FS50B таковы: максимальная ширина анализируемой пленки может составлять 355 мм (14 дюймов); минимальное разрешение: 0,05 мм (т. е. наименьший пиксель имеет размеры 0,05 x 0,05 мм); интервал плотности: 0,05-4,7 D; чувствительность к контрасту плотности: 0,02.

Для целей диагностики, например, при использовании Ir-192 в качестве источника излучения ожидаемые минимальные размеры пикселя составляют 0,1 x 0,1 мм; однако, если источником излучения является Co-60, допустимы/приемлемы и размеры пикселя 0,2 x 0,2 мм.

Следует также отметить, что для целей диагностики (например для инспектирования сварных швов) в качестве подходящих могут рассматриваться пленки

D4, D5 из Таблицы 3; однако, для измерений толщины стенки труб (что соответствует одному из аспектов изобретения) подходит пленка D8 (например, применительно к источнику излучения на базе Ir-192 длительность экспозиции для пленки D8 по сравнению с пленкой D5 составляет около 30 %). Следует также отметить, что измерения толщин стенок труб и трубопроводов в настоящее время проводятся методом ультразвукового тестирования. В связи с этим авторы полагают, что для измерения толщин стенок труб и трубопроводов вполне подходят размеры пикселя 0,25 x 0,25 мм или 0,20 x 0,20 мм. Эти выводы сделаны с учетом геометрической нерезкости, обусловленной размером и формой источника излучения. В случае принятия указанных критериев при осуществлении способа по изобретению рентгеновские пленки могут быть заменены "плоской панелью" типа DXR-250C-W и/или DXR25U-W (изготовитель: фирма General Electric, Inc., США). Указанные типы панелей различаются только размерами: размеры панели с индексом "C" составляют 8 x 8 дюймов (203,2 x 203,2 мм), а панели с индексом U – 16 x 16 дюймов (406,4 x 406,4 мм). Поскольку данные панели – это тоже продукция фирмы GE, они могут работать с программной платформой аппарата FS50B для оцифровки. Кроме того, детекторы в данных панелях – это негнущиеся детекторы с плоской поверхностью, детектирующим веществом которых является оксисульфид гадолиния (ОСГ), а размеры пикселя составляют 0,2 x 0,2 мм.

Понятно, что эти детекторы не подходят для целей диагностики; однако, в рамках изобретения они могут быть использованы как приемники излучения для замены традиционных пленок. Длительность экспозиции ОСГ-детекторов соизмерима с аналогичным параметром так называемых RCF-пленок, которая составляет от 20 до 30 % длительности экспозиции вышеупомянутой пленки D8.

Если принять во внимание, что при проведении измерений толщины стенки достаточной является меньшая степень затемнения (не 2,5, а 2,0 или даже меньше), длительности экспозиций, достаточные для получения индивидуальных тангенциальных радиографов, могут быть уменьшены. В этом отношении (в случае использования пленок) наиболее предпочтительными могли бы быть так называемые "фосфорные" пленки (в которых $AgBr_2$ замещен фосфорными соединениями); однако, они несовместимы с аппаратом FS50B.

Например, в случае функционирующего паропровода с активной теплоизоляцией толщиной 770 мм и с диаметром трубы 465 мм при толщине стенки трубы 16 мм, принимая рабочую температуру и давление пара равными 270 °С и 4,6 МПа, полная измеренная толщина стенки будет равна 40 мм (полная толщина стенки трубы (=32 мм) + вклад теплоизоляционного материала (=1 мм) + толщина железной

стенки, эквивалентной пару ($=7$ мм)). При расстоянии от фокуса до пленки, равном 770 мм, в случае применения источника излучения на базе Ir-192, активность которого составляет 850 ГБк, длительность экспозиции, требуемая для достижения плотности 2,5, для различных приемников излучения будет изменяться следующим образом:

- 5 – пленка Fuji 80+Pb: длительность экспозиции 50 мин;
- пленка D8: длительность экспозиции 15 мин;
- пленка RCF: длительность экспозиции 5 мин.

10 При тех же условиях, но при требуемой плотности, равной 2,0, длительность экспозиции сокращается еще больше. Например, она составит 12 мин и 4 мин для пленок D8 и RCF соответственно. В случае плоской панели длительность экспозиции может быть еще меньшей.

В рассмотренном примере инспектирования возникает следующая проблема: в случае “пустого” трубопровода экспозиция будет определяться применительно к удвоенной толщине стенки ($2S = 32,0$ мм). Если соответствующее изображение было
15 получено на пленке, то, основываясь на геометрических данных паропровода, толщина материала, соответствующая $2S$, будет локализована в стенке трубопровода на расстоянии 0,56 мм от его наружной поверхности со смещением к внутреннему объему трубопровода. Наибольшая толщина материала (167,8 мм) будет иметь место в зоне прохода у внутренней поверхности стенки трубопровода. Эта наибольшая
20 толщина материала ослабляет дозу облучения на уровне около $1/10000$. Как показано на фиг. 2c и 2d, это приводит к появлению на пленке/детекторе широкой яркой полосы. Как следствие, довольно трудно определить прохождение, относящееся к внутренней поверхности. Если инспектирование должно проводиться в рабочем состоянии трубопровода (т. е. когда в нем находится пар), ситуация будет намного более тяжелой.

25

Перечень фигур, чертежей

Далее изобретение будет рассмотрено более подробно, со ссылками на прилагаемые чертежи.

30 Фиг. 1a, 1b, 1c и 1d иллюстрируют взаимное расположение трубы, подлежащей инспектированию, и приемника излучения, предпочтительно пленки, в случае приемника излучения с плоской поверхностью (фиг. 1a и 1b; получение тангенциального радиографического изображения) и в случае приемника излучения, который следует кривизне контура трубы (фиг. 1c и 1d), без изоляционного покрытия (фиг. 1a и 1c) и с непрерывным изоляционным покрытием (фиг. 1b и 1d).

35 На фиг. 2a, 2b, 2c и 2d показаны соответственно: схема по фиг. 1a в сечении, с кривой прохождений; схема по фиг. 1a в сечении продольной плоскостью, с кривой

прохождений; на виде сверху, в сечении, и с показом пленки; а также характеристическая кривая (плотность пленки), полученная путем оценивания экспонированной пленки и соответствующая кривой прохождений по фиг. 1а.

На фиг. 3 представлен конкретный вариант, в котором внутренний и наружный диаметры трубы имеют различные центры, т.е. инспектируемая труба является эксцентричной, так что толщина стенки трубы является неоднородной в сечениях плоскостями, перпендикулярными продольной оси трубы.

Фиг. 4 иллюстрирует основы технологии согласно изобретению.

Фиг. 5а, 5b и 5с иллюстрируют (соответственно на видах трубы в поперечном и в продольном сечениях, а также на виде сверху, в сечении) процесс интерпретации дефекта (например раковины) в стенке трубы и определения его положения.

Фиг. 6а и 6b иллюстрируют традиционные схемы расположения пленки и источника излучения, применяемые на практике для инспектирования в нерабочем состоянии с пленкой, находящейся соответственно на внутренней цилиндрической поверхности и на наружной цилиндрической поверхности трубы. Важно учитывать, что в этом случае излучение проходит сквозь материал, соответствующий только единственной толщине стенки.

Сведения, подтверждающие возможность осуществления изобретения

Трубы, проиллюстрированные фиг. 1, 2 и 5, имеют идентичные размеры; аналогично, идентичные размеры имеют трубы, показанные на фиг. 3, 4 и 6. Чертежи выполнены, по существу, с соблюдением масштаба. Далее будут пояснены обозначения, использованные на фиг. 1-6, а именно:

100	излучение (рентгеновское и/или γ -излучение), используемое для получения изображения
200	труба
300	слой изоляции
400	приемник излучения (в частности пленка, детектор или иное устройство для получения изображения), чувствительный к излучению, используемому для получения изображения
γ	источник излучения или, альтернативно, центр проецирования
$F^*F = FF$	расстояние между приемником излучения и источником излучения, референтное расстояние для экспозиции
$FF\Delta$	фактическое расстояние между приемником излучения и источником излучения

	FFr	расстояние между приемником излучения и источником излучения, измеренное от центра проекции вдоль заданного направления
	A	прохождения сквозь трубу 200 в параллельной проекции
5	B	прохождения сквозь трубу 200 в перспективной проекции с центром, соответствующим источнику γ излучения
	Q	центр трубы 200 (в общем случае)
	Q1, Q2	центры эксцентричной трубы 200 (см. фиг. 3)
	S	толщина стенки трубы 200 (в общем случае)
10	Sn	увеличенное изображение толщины стенки S, спроецированное на приемник 400 излучения в соответствии с фиг. 4
	SD	прохождение, соответствующее толщине S стенки
	2S	(в общем случае) прохождение, соответствующее удвоенной толщине S стенки трубы 200
15	M1	самое длинное прохождение сквозь трубу в параллельной проекции
	M2	самое длинное прохождение сквозь трубу в перспективной проекции с центром, соответствующим источнику γ излучения
20	M3	самое длинное прохождение сквозь трубу с центрами Q1, Q2 в перспективной проекции с центром, соответствующим источнику γ излучения
	M4	(в общем случае) труба 200 с заполняющим ее веществом (например водой, паром и т. д.)
25	M5	(в общем случае) сплошная труба, т. е. образующая стержень, цилиндр; ее диаметр D показан на фиг. 4
	M6	диаметр d поллой трубы, показанной на фиг. 4; при этом выполняется соотношение $\varnothing D - \varnothing d = 2S$
	x, y, z	референтные оси
30	Xm0, Xm1	проекции прохождений, относящихся к трубе 200, на ось x плоской поверхности приемника 400 излучения согласно фиг. 2
	Xm2, Xm3	проекции прохождений, относящихся к трубе 200, на ось x плоской поверхности приемника 400 излучения согласно фиг. 2
	G, H, I, J	четыре угла приемника 400 излучения
	GH; JI	сечения, параллельные оси z
	GJ; HI	сечения, параллельные оси x
35	C	дефект (например раковина) в стенке трубы 200, показанный на фиг. 5

Cⁿ увеличенное изображение дефекта С, спроецированное на приемник 400 излучения, как это показано на фиг. 5

МХ (в общем случае) толщина материала, определенная с использованием линии прохождения

5 Далее приводится краткое пояснение того, как толщина МХ материала может быть получена из данных, соответствующих номинальной экспозиции.

При известной (характеристической) кривой плотности приемника 400 излучения (далее, для простоты, именуемого пленкой/детектором) можно принять, что плотность (D) пленки/детектора пропорциональна дозе облучения (DF), т. е. что
10 выполняется следующее соотношение:

$$\log_{10} \frac{\text{интенсивность падающего излучения}}{\text{интенсивность прошедшего излучения}} = D/\text{потемнение} \sim DF. \quad (1)$$

Каждый член базового уравнения для экспозиции может быть определен по отдельности. Например, имеет место соотношение:

$$t = \frac{DF \times l^2 \times 2^{MX/HVT}}{A_{Bq} \times K_Y} \times 3,6 \cdot 10^9, \quad (2)$$

15 где:

t = длительность экспозиции (в секундах),

DF = доза (в зивертах, Зв),

l = расстояние от фокуса до пикселя (в метрах),

HVT = толщина слоя половинного ослабления (в метрах),

20 A_{Bq} = активность (в беккерелях, Бк),

K_Y = коэффициент дозы (Зв:м²/ГБк:ч)

МХ = толщина материала вдоль линии прохождения.

Преобразуя уравнение (2), можно получить:

$$DF = \frac{A_{Bq} \times K_Y \times t}{l^2 \times 2^{MX/HVT}} / 3,6 \cdot 10^9, \quad (3)$$

25 или

$$2^{MX/HVT} = \frac{A_{Bq} \times K_Y \times t}{l^2 \times DF} / 3,6 \cdot 10^9. \quad (4)$$

Далее, если обозначить правую часть уравнения (3), как С, то:

$$2^{MX/HVT} = C, \quad (5)$$

отсюда:

$$30 \quad MX/HVT \times \lg 2 = \lg C, \quad (6)$$

$$HVT = MX/\lg 2 \times \lg C \quad (7)$$

Преобразуя последнее уравнение, можно выразить длину прохождения в

материале, как:

$$MX = HVT \times \lg C / \lg 2. \quad (8)$$

Традиционная интерпретация иллюстрируется фиг. 4, позволяющей легко сравнить прохождения в полупространствах А и В (в данном случае термин “прохождение” относится к распределению материала между источником γ излучения и пикселем (точкой), полученным (полученной) при формировании тангенциального радиографического изображения с применением источника γ излучения). На фиг. 4 показаны положения особенных прохождений 2S, M1, M2, причем все эти прохождения расположены в плоскости XY. По существу, совокупность линий прохождения или, скорее, так называемая кривая прохождений однозначно задается положением центра проекции (источника γ излучения). Данная ситуация рассматривается как идеальная. Ситуация, проиллюстрированная фиг. 3, значительно отличается от этой идеальной ситуации. Фиг. 3 поясняет изобретательский замысел, который позволяет четко выявить проблему (эксцентричной) трубы 200, имеющей (с точки зрения радиографии) два центра Q1, Q2, путем проведения анализа кривой прохождений. В этой связи важно отметить, что, тогда как кривые прохождений в полупространствах А на фиг. 3 и фиг. 4 идентичны одна другой, кривые прохождений в полупространствах В на фиг. 3 и фиг. 4 имеют измеряемые различия – например, в отношении положения M2 по сравнению с положением M3. На практике это означает, что, хотя толщина S стенки трубы представляется одинаковой на пленке 400 в случае получения изображения, например, посредством тангенциальной радиографии, анализ кривых прохождений в двух полупространствах делает явными любые различия. Если центр Q2 расположен на фиг. 3 ближе к источнику γ излучения, пик M3 кривой прохождений – по сравнению с пиком M2 этой кривой – смещается в сторону меньших значений по оси y (т. е. его значение уменьшается), в то же время смещаясь в сторону больших значений по оси x (т. е. его значение по этой оси увеличивается).

Если координата центра Q2 увеличивается, координата пика M3 для соответствующей трубы увеличивается, а координата x уменьшается. Используя тот же подход, рассмотрим более подробно фиг. 2a-2d со ссылкой на расположение трубы/пленки, проиллюстрированное фиг. 1a. Пленка 400 находится в плоскости ZX, т. е. она параллельна осям z и x. Особые прохождения, относящиеся к трубе и обозначенные, как Xm0, Xm1, Xm2 и Xm3, расположены в сечении (срезе) GJ пленки 400 плоскостью YX; а источник γ излучения находится в начале референтной системы координат YXZ. При этом Xm0 – согласно фиг. 2a и 2c – это проекция прохождения, соответствующего толщине 2S материала вдоль линии, идущей от источника γ излучения к точке G пленки/детектора 400. Xm1 соответствует самому длинному

прохождению M (касательно к внутренней цилиндрической поверхности стенки трубы) и представляющему прохождению излучением самого длинного расстояния в стенке трубы. X_{m2} соответствует прохождению, занимающему промежуточное положение в стенке трубы, а X_{m3} – это проекция наружной цилиндрической поверхности стенки трубы (соответствующая нулевой толщине материала). При этом сечение X_{m1} - X_{m3} соответствует увеличенному спроецированному изображению S_n толщины S стенки трубы.

Расстояние FF ориентировано к точке G пленки, которая является единственной точкой, для которой расстояние от источника излучения до пленки равно FF и для которой выдерживаются теоретические значения, заданные для номинального значения ($2S$) толщины материала. Важно отметить, что любая точка изображения на пленке может быть указана и идентифицирована геометрически, т. е. для нее могут быть установлены $FF\Delta$ (см. определение выше) и соответствующее прохождение. Следовательно, соответствующее прохождение может рассматриваться как референтная линия, с которой могут быть ассоциированы номинальные параметры инспектируемого объекта (в частности трубы), такие как ее диаметр, толщина стенки, вещество-наполнитель, изоляция и т. д., а также соответствующие данные пленки/детектора и требуемые физические параметры, релевантные для облучения. Знание этой информации позволяет, кроме того, определить данные по дозе/плотности пленки и/или данные, позволяющие рассчитать также характеристики материала. На фиг. 2а показано, для каких точек пленки (а именно точек X_{m0} и X_{m2}) прохождение соответствует толщине $2S$ материала. Однако плотности (дозы облучения) на пленке для этих точек неконгруэнтны. Это объясняется тем, что согласно фиг. 2 $FF\Delta > FF$, а доза облучения обратно пропорциональна квадрату этого увеличенного расстояния. Следовательно, значение плотности в точке X_{m0} совпадет не с точкой X_{m2} проекции, но с прохождением, соответствующим меньшей толщине материала. Таким образом, данное значение плотности будет иметь место ближе к наружной поверхности стенки трубы.

На фиг. 2с конфигурация по фиг. 2а представлена на виде сверху. Как видно из фиг. 2с, как следствие экспозиции точки G на пленке, проекции X_{m1} , X_{m2} , X_{m3} изображения представляют – вследствие уменьшения дозы – расширяющуюся полосу, слабеющую (уменьшающуюся по плотности) по мере удаления от точки G .

На фиг. 2d представлена характеристическая кривая для сечения GJ пленки, экспонированной источником γ излучения в направлении точки G , причем (референтная) экспозиция, рассчитанная для точки G , выбрана равной 2,5. Из фиг. 2d можно видеть, что проекция X_{m1} на ось x соответствует разрыву кривой вблизи

области голубой подложки и – как было отмечено выше – особые точки данной характеристической кривой не совпадают с особыми точками кривых прохождений. (это является причиной того, что рассмотренные выше известные способы не функционируют, когда диаметр трубы ($\varnothing D$) превышает 300 мм, а толщина S стенки

5 трубы превышает 15,0 мм).

На фиг. 2b используемая в способе согласно изобретению конфигурация по фиг. 2a (т. е. содержащая трубу и экспонированную пленку) представлена на виде сбоку, в сечении. Фиг. 2b иллюстрирует, что в случае, когда, например, толщина S стенки трубы равна 50,0 мм, для сечения HI справедливо $S\Delta = 54,4$ мм; если же расстояние FF

10 между пленкой и источником γ излучения равно 700 мм, то фактическое расстояние между пленкой и источником γ излучения в точке H на пленке будет $FF\Delta = 761,6$ мм. На фиг. 2b показаны изменения для каждого из прохождений $M\delta$, $M\delta\Delta$ и M ; в этом случае $FF=FFr$.

Важный аспект способа оценивания согласно изобретению состоит в том, что на

15 его начальном этапе номинальные параметры трубы/трубопровода, подлежащей (подлежащего) инспектированию (такие как диаметр трубы, толщина стенки, тип изоляции, тип заполнения, т. е. вещество, присутствующее в трубе), а также номинальные параметры источника излучения и номинальные параметры и геометрическое положение приемника излучения, именуемые совместно, как

20 номинальные – т. е. известные – параметры схемы радиографии, вводят в качестве исходных параметров, в виде входных данных, в устройство (в частности компьютер или микроконтроллер), которое снабжено процессором, памятью и динамически распределяемой памятью, необходимыми для проведения вычислений. Данное устройство выполняет, в режиме онлайн или оффлайн, обработку/оценивание

25 тангенциального радиографа, получаемого на последующих операциях способа, чтобы указанное устройство могло построить/рассчитать фактическую пространственную конфигурацию источника излучения, полого инспектируемого объекта (конкретно трубы) и приемника, принимающего, для формирования изображения, излучение, испускаемое его источником, или, более конкретно, прохождения, ожидаемые в каждом

30 индивидуальном пикселе приемника излучения (пленки/детектора) для номинальных параметров радиографической конфигурации, дозы излучения, которые могут быть ассоциированы с проекциями изображений указанных прохождений (т. е. путей излучения), проходящих сквозь материал, а также значения плотности. При этом необходимо учитывать следующее.

35 (а) Для пустой трубы референтная толщина материала равна номинальной толщине $2S$ стенки, которая при проведении экспозиции входит в расстояние FF ;

данная толщина является референтной толщиной независимо от степени вариации толщины материала. Таким образом, указанную референтную толщину приписывают каждому пикселю пленки/детектора, который требуется для инспектирования. Указанным пикселям приписывают, кроме того, прохождения сквозь материал, определяемые на основе номинальных экспозиционных данных, а также дозы облучения и значения плотности, соответствующие изображениям проекций указанных прохождений и рассчитанные на основе соотношений (1)-(8). Указанные значения могут быть пересчитаны для прохождений сквозь материал, относящихся к индивидуальным пикселям, без ограничений на диаметр трубы и толщину стенки.

5 (b) Для трубы в рабочем состоянии, которая содержит наполнитель (например воду, пар и т. д.), этот наполнитель также может быть учтен в толщине материала, соответствующего индивидуальным пикселям, т. е. в данном случае требуется рассматривать комбинацию материала трубы и наполнителя. При этом желательно знать толщину слоя половинного ослабления (HVT) вещества-наполнителя, поскольку в 15 этом случае дозы облучения и значения плотности, соответствующие веществу-наполнителю, могут быть вычтены из доз облучения и значений плотности, соответствующих релевантным пикселям. Фактически, толщина экспонированного материала должна быть введена также и для этого наполнителя – данное значение увеличит номинальную толщину экспонированного материала по сравнению с пустой 20 трубой (например, в случае вышеупомянутого паропровода). Любое покрытие, нанесенное вокруг трубы, а также любое иное вещество, присутствующее между наружной поверхностью трубы (или покрытия, если оно имеется) и источником излучения, и/или приемником излучения, например воздух, можно/следует учитывать аналогичным образом. В результате будет получено вторичное радиографическое 25 изображение, в котором учтено присутствие вещества-наполнителя, покрытия и других веществ. Теперь это вторичное радиографическое изображение будет служить основой для расчета прохождений сквозь материал, соответствующих индивидуальным пикселям. Следует отметить, что если толщина слоя половинного ослабления вещества-наполнителя недоступна, ее значение может быть определено посредством 30 интерполяции, используя по меньшей мере два тестовых радиографа, получаемых способом, известным специалистам в релевантной области.

Затем производится формирование радиографического тангенциального изображения трубы на пленке/детекторе, чтобы получить ее радиограф, оценивание которого будет пояснено далее со ссылками на фиг. 2a и 2b; при этом для 35 интерпретации результатов требуются также фиг. 2c и 2d.

Если произвести считывание (например в цифровой форме) пленки/детектора

400 по фиг. 2а в пределах сечения GJ с шириной полосы, соответствующей доступному цифровому разрешению (в этом случае выбранному составляющим 0,20-0,25 мм), будет получена кривая проходов, показанная на фиг. 2а (над пленкой). Полученная кривая проходов лежит в плоскости YX и является перпендикулярной оси z, которая совпадает с осью инспектируемой трубы. Затем, начиная с сечения GJ, производится полное последовательное считывание пленки/детектора 400 в виде параллельных полос шириной, соответствующей разрешению, до считывания завершающей полосы, соответствующей сечению HI, и ее картирование в виде кривой проходов. Плоскости проходов, полученные в результате картирования, будут наклонены – как это показано фиг. 2b – относительно оси z на заданный угол, при этом длины линий прохода увеличиваются с ростом угла наклона (с сохранением соотношения $M6 < M6\Delta$).

Если плотность для референтной (номинальной) экспозиции принимается равной 2,5, значения плотности по всей поверхности пленки/детектора будут представлять важные, фундаментальные сведения для определения состояния материала инспектируемой трубы.

Разумеется, считывание пленки/детектора может быть начато в сечении GH и продолжаться в направлении сечения JI; в этом случае можно получить прямые линии проходов. Получаемые плоскости проходов параллельны оси z и наклонены по отношению к оси x в плоскости YZ. Вариант проходов в виде прямых линий показан на фиг. 6b. Преимущество прямых линий проходов состоит в том, что они соответствуют проходам для инспектируемой трубы на виде сбоку, в сечении, тогда как кривая проходов соответствует фронтальному виду проходов трубы, спроецированному, разумеется, на z и x. Преимуществом указанных кривых проходов и прямых линий проходов является то, что, если они идеальны, т. е. не свидетельствуют о наличии дефекта, отсутствует необходимость в каких-либо дальнейших измерениях в процессе инспектирования (кроме того, в таком случае достаточно получать радиографы только для половины периферии инспектируемой трубы). Кривая проходов может быть интерпретирована, даже если (увеличенная) проекция толщины стенки S (т. е. тень стенки) не может быть по какой-либо причине отображена на пленке/детекторе и/или если диаметр $\varnothing D$ стенки превышает размер пленки/детектора.

Как это иллюстрируется фиг. 5а-5с, при наличии дефекта С его локализация в стенке трубы производится следующим образом: применительно к устройствам типа “плоской панели” получаемый радиограф может быть немедленно отображен на дисплее аппарата FS50B для оцифровки; в данном случае номинальные параметры,

необходимые для оценивания радиографа, также должны быть введены в данный аппарат (аппарат FS50B для оцифровки может быть установлен в любом месте, т. е. не требуется, чтобы он находился в месте инспектирования). После получения изображения с источником γ излучения, находящимся в своем первом положении, процесс получения изображения повторяется (при этом предыдущее, первое, радиографическое отображение на “плоской панели” может быть просто сохранено в аппарате FS50B, т. е. в его запоминающем устройстве, например в блоке памяти) таким образом, что “плоская панель” устройства сохраняет свое первоначальное положение, тогда как источник γ излучения перемещают (например, параллельно оси z) во второе положение. Это второе положение источника γ излучения выбирают таким образом, что увеличенное изображение S^n проекции данного дефекта является видимым и на втором радиографе. Затем источник излучения в соответствующем положении и ассоциированное увеличенное спроецированное изображение дефекта S на каждом из радиографов соединяют прямой линией; при этом пересечение двух линий определяет геометрическое положение дефекта в трубе (т. е. в стенке полого инспектируемого объекта). Поскольку источник излучения, трубу, пленку/детектор и положение дефекта можно смоделировать в 3D-пространстве, становится возможным рассчитать также степень увеличения дефекта S . Если формирование изображения производится на пленке, всё – в принципе – остается тем же самым, хотя в этом случае между получением двух радиографов пленку перемещают и две операции получения изображения производят при соответствующих положениях пленки. Измеренная толщина MX материала, соответствующая прохождению, которое отличается от прохождения, принадлежащего номинальным значениям, указывает на дефект. Если толщина MX материала, которая может быть рассчитана по характеристической кривой пленки/детектора, полученной из радиографа, экспонированного на пленку/детектор, отличается от номинального значения, это означает присутствие дефекта.

Для указанного аппарата FS50B для оцифровки доступны программные решения, соответствующие технологиям, известным из уровня техники. Вместе с тем, в аппарат FS50B для оцифровки необходимо дополнительно реализовать/запрограммировать способ согласно изобретению, а также применение соотношений согласно уравнениям (1)-(8), составляющее часть данного способа. Однако эта задача является рутинной для специалиста. В частности, данные об источниках излучения и пленках/детекторах практически должны храниться в запоминающем устройстве данного аппарата. Очевидно, что в практических вариантах технологии согласно изобретению относительное положение и расстояние между источником излучения и любым из пикселей пленки/детектора может быть определено

однозначно. Кроме того, крайне желательна возможность проведения измерений толщины стенки в соответствии с изобретением, в автоматическом режиме, применительно к изображениям, получаемым при осуществлении – традиционных – методов инспектирования сварного шва, без необходимости в каких-либо специальных предварительных процедурах.

5
10
10
Следует также отметить, что применительно к получению изображения на пленке в более простых случаях может быть использован также точечный денситометр (pen-type densitometer): поскольку каждый пиксель на пленке может задаваться по отдельности, денситометр такого типа является подходящим для измерения только одного пикселя; следовательно, с использованием Таблицы 2, могут быть получены приближенные данные.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ определения геометрических параметров и/или состояния материала объекта (200), подлежащего инспектированию, путем получения in-situ его радиографического изображения, причем объект (200) имеет геометрические и релевантные для облучения физические параметры, которые могут быть описаны в математической форме, а способ включает: облучение подлежащего инспектированию объекта (200) излучением (100), формирующим изображение, в частности рентгеновским или гамма-излучением, испускаемым источником (γ) излучения; прием излучения, прошедшего сквозь объект (200), приемником (400) излучения и отображение объекта (200) приемником (400) излучения в виде радиографического изображения, сформированного путем изменения в приемнике (400), по существу, пропорционального количеству поглощенного им излучения, при удерживании – в пределах приемлемого допуска – источника (γ) излучения, подлежащего инспектированию объекта (200) и приемника (400) излучения во взаимно зафиксированном геометрическом положении в течение периода, необходимого для приема и/или детектирования указанного радиографического изображения,

отличающийся тем, что дополнительно включает следующие операции: разделяют полученное описанным образом радиографическое изображение на взаимно параллельные срезы, которые проходят от одного его края до противоположного края и ширина которых задается шириной пикселя, доступной при максимальном разрешении приемника (400) излучения; ассоциируют с каждым срезом кривую прохождений путем оценивания, от среза к срезу, изменения, обусловленного поглощенным излучением, по длине соответствующего среза; рассчитывают геометрические параметры, относящиеся к инспектируемому объекту, путем сравнения кривых прохождений, полученных описанным образом, с номинальными кривыми прохождений, определенными до формирования изображений на основе номинальных параметров объекта (200), источника (γ) излучения и приемника (400) излучения,

при этом, чтобы сгенерировать кривую прохождений для ассоциирования ее с соответствующим срезом, разделяют соответствующий срез по длине на участки, соответствующие ширине пикселя, доступной при максимальном разрешении приемника (400) излучения, а затем ассоциируют с каждым полученным описанным образом участком числовое значение, соответствующее изменению, определяемому количеством излучения, поглощенного соответствующим участком, причем соответствующие числовые значения определяют посредством предшествующего процесса калибровки.

2. Способ по п. 1, отличающийся тем, что указанный приемник (400) излучения содержит любое из следующих средств, чувствительных к излучению, формирующему изображение: пленка, детектор и прибор для регистрации изображений.

5 3. Способ по п. 1 или 2, в котором объект (200), подлежащий инспектированию, является трубчатым объектом, имеющим стенку, а при получении радиографического изображения приемник (400) излучения расположен в плоской, планарной позиции.

10 4. Способ по п. 1 или 2, в котором объект (200), подлежащий инспектированию, является трубчатым объектом, имеющим стенку и заданным своей внутренней цилиндрической поверхностью и наружной цилиндрической поверхностью, а при получении радиографического изображения приемник (400) излучения опирается на наружную цилиндрическую поверхность трубчатого объекта.

15 5. Способ по п. 1 или 2, в котором объект (200), подлежащий инспектированию, является трубчатым объектом, имеющим стенку и заданным своей внутренней цилиндрической поверхностью и наружной цилиндрической поверхностью, а при получении радиографического изображения приемник (400) излучения опирается на внутреннюю цилиндрическую поверхность трубчатого объекта.

6. Способ по любому из п.п. 2-4, отличающийся тем, что указанный трубчатый объект образует часть трубопровода в функционирующем промышленном аппарате.

20 7. Способ по любому из п.п. 1-6, отличающийся тем, что толщину (MX) материала, соответствующую линии прохождения, определяют, как один из геометрических параметров объекта (200), подлежащего инспектированию.

8. Способ по любому из п.п. 1-7, отличающийся тем, что изменение в приемнике (400) излучения в зависимости от поглощенного излучения выражается числом, пропорциональным степени затемнения приемника (400) излучения.

25 9. Способ по любому из п.п. 3-8, отличающийся тем, что между наружной цилиндрической поверхностью и приемником (400) излучения находится слой (300) изоляции, образующий непрерывное покрытие.

30 10. Способ по любому из п.п. 1-9, отличающийся тем, что в результате сравнения полученных геометрических параметров указанного объекта (200) с заданными значениями его геометрических параметров генерируют изменения во времени и изменение интервала указанных геометрических параметров.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ определения геометрических параметров и/или состояния материала
объекта (200), подлежащего инспектированию, путем получения in-situ его
5 радиографического изображения (200), причем объект (200) имеет геометрические и
релевантные для облучения физические параметры, которые могут быть описаны в
математической форме применительно к схеме радиографии с известными
номинальными параметрами объекта (200), источника (γ) излучения и приемника (400)
излучения, а способ включает: облучение подлежащего инспектированию объекта (200)
10 излучением (100), формирующим изображение, в частности рентгеновским или гамма-
излучением, испускаемым источником (γ) излучения; прием излучения, прошедшего
сквозь объект (200), приемником (400) излучения и отображение объекта (200)
приемником (400) излучения в виде радиографического изображения,
сформированного путем изменения в приемнике (400), по существу,
15 пропорционального количеству поглощенного им излучения, при удерживании – в
пределах приемлемого допуска – источника (γ) излучения, подлежащего
инспектированию объекта (200) и приемника (400) излучения во взаимно
зафиксированном геометрическом положении в течение периода, необходимого для
приема и/или детектирования указанного радиографического изображения,
20 **отличающийся тем**, что дополнительно включает следующие операции:

разделяют полученное описанным образом радиографическое изображение на
взаимно параллельные срезы, которые проходят от одного его края до
противоположного края и ширина которых задается шириной пикселя, доступной при
максимальном разрешении приемника (400) излучения, после чего

25 разделяют каждый из полученных описанным образом срезов по длине на
участки, соответствующие ширине пикселя, доступной при максимальном разрешении
приемника (400) излучения;

затем ассоциируют с каждым полученным описанным образом участком
числовое значение и линию прохождения, причем указанное значение соответствует
30 изменению в приемнике (400) излучения, определяемому количеством излучения,
поглощенного соответствующим участком, а указанная линия прохождения имеет
протяженность по прямой линии от источника (γ) излучения сквозь объект (200) до
соответствующего участка изображения;

заменяют полученное описанным образом значение для соответствующего
35 участка номинальным значением, соответствующим изменению в приемнике (400)
излучения, определяемому количеством излучения, поглощенного соответствующим

участком, причем указанное номинальное значение определяют на основе номинальных параметров указанной схемы радиографии по состоянию до получения изображения объекта (200) в предыдущем процессе калибровки;

формируют, в результате, вторичное радиографическое изображение объекта (200), а затем

рассчитывают геометрические параметры и/или состояние материала объекта (200) с использованием полученного описанным образом вторичного радиографического изображения последовательно для каждой линии прохождения, относящейся к соответствующему участку.

2. Способ по п. 1, отличающийся тем, что указанный приемник (400) излучения содержит любое из следующих средств, чувствительных к излучению, формирующему изображение: пленка, детектор и прибор для регистрации изображений.

3. Способ по п. 1 или 2, в котором объект (200), подлежащий инспектированию, является трубчатым объектом, имеющим стенку, а при получении радиографического изображения приемник (400) излучения расположен в плоской, планарной позиции.

4. Способ по п. 1 или 2, в котором объект (200), подлежащий инспектированию, является трубчатым объектом, имеющим стенку и заданным своей внутренней цилиндрической поверхностью и наружной цилиндрической поверхностью, а при получении радиографического изображения приемник (400) излучения опирается на наружную цилиндрическую поверхность трубчатого объекта.

5. Способ по п. 1 или 2, в котором объект (200), подлежащий инспектированию, является трубчатым объектом, имеющим стенку и заданным своей внутренней цилиндрической поверхностью и наружной цилиндрической поверхностью, а при получении радиографического изображения приемник (400) излучения опирается на внутреннюю цилиндрическую поверхность трубчатого объекта.

6. Способ по любому из п.п. 2-4, отличающийся тем, что указанный трубчатый объект образует часть трубопровода в функционирующем промышленном аппарате.

7. Способ по любому из п.п. 1-6, отличающийся тем, что толщину (MX) материала, соответствующую линии прохождения, определяют, как один из геометрических параметров объекта (200), подлежащего инспектированию.

8. Способ по п. 7, отличающийся тем, что толщину материала, относящуюся к определенной линии прохождения, рассчитывают, как

$$MX = HVT \times \lg C / \lg 2,$$

где HVT (в метрах) – толщина слоя половинного ослабления вдоль используемой линии прохождения, а

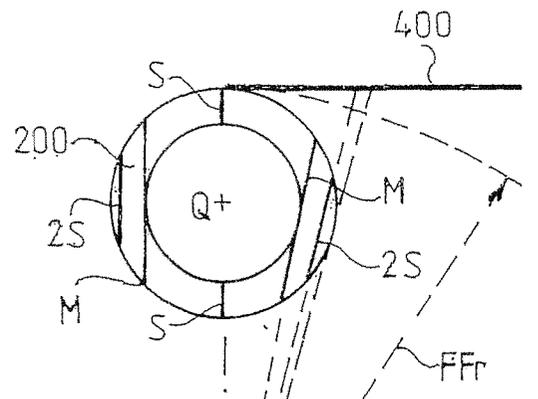
$$C = \frac{A_{Bq} \times K_{\gamma} \times t}{l^2 \times DF} / 3,6 \cdot 10^9,$$

где t – длительность (в секундах) экспозиции объекта (200), DF – доза (в зивертах), поглощенная в участке приемника (400) излучения, соответствующем выбранной линии прохождения, l – расстояние (в метрах) от фокуса до пикселя, A_{Bq} –
 5 активность (в беккерелях, Бк) указанного источника (γ) излучения, а K_{γ} – коэффициент дозы (Зв:м²/ГБк:ч).

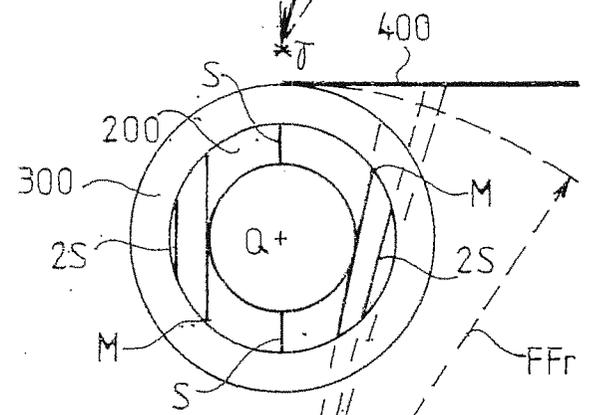
9. Способ по любому из п.п. 1-8, отличающийся тем, что изменение в приемнике (400) излучения в зависимости от поглощенного излучения выражается числом, пропорциональным степени затемнения приемника (400) излучения.

10 10. Способ по любому из п.п. 3-9, отличающийся тем, что между наружной цилиндрической поверхностью и приемником (400) излучения находится слой (300) изоляции, образующий непрерывное покрытие.

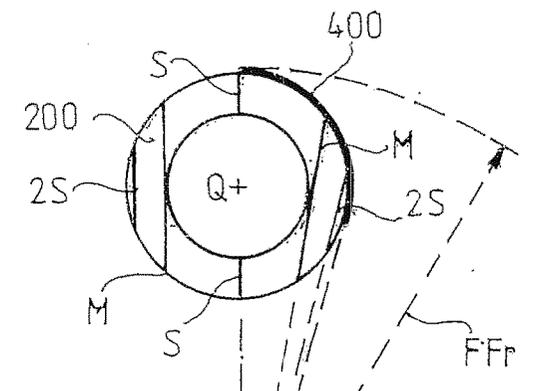
11. Способ по любому из п.п. 1-10, отличающийся тем, что в результате сравнения полученных геометрических параметров указанного объекта (200) с заданными значениями его геометрических параметров генерируют изменения во
 15 времени и изменение интервала указанных геометрических параметров.



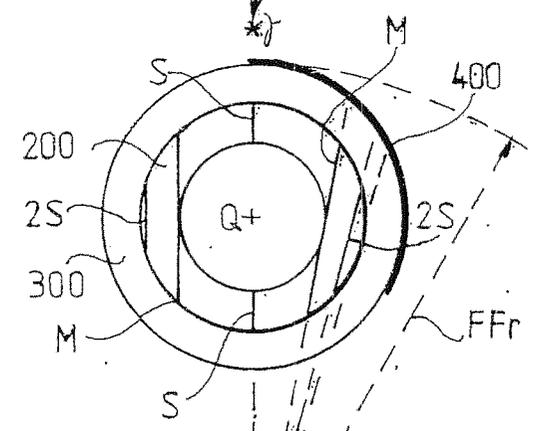
ФИГ. 1a



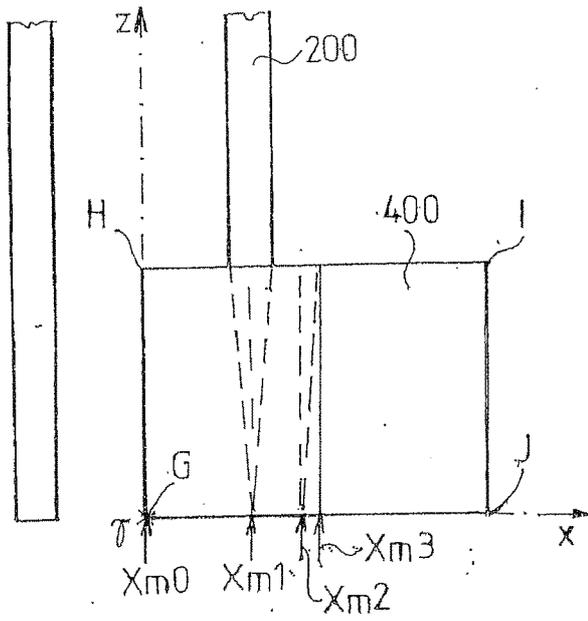
ФИГ. 1b



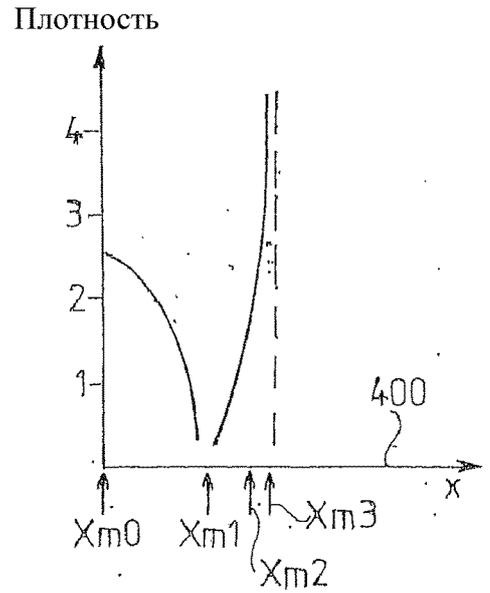
ФИГ. 1c



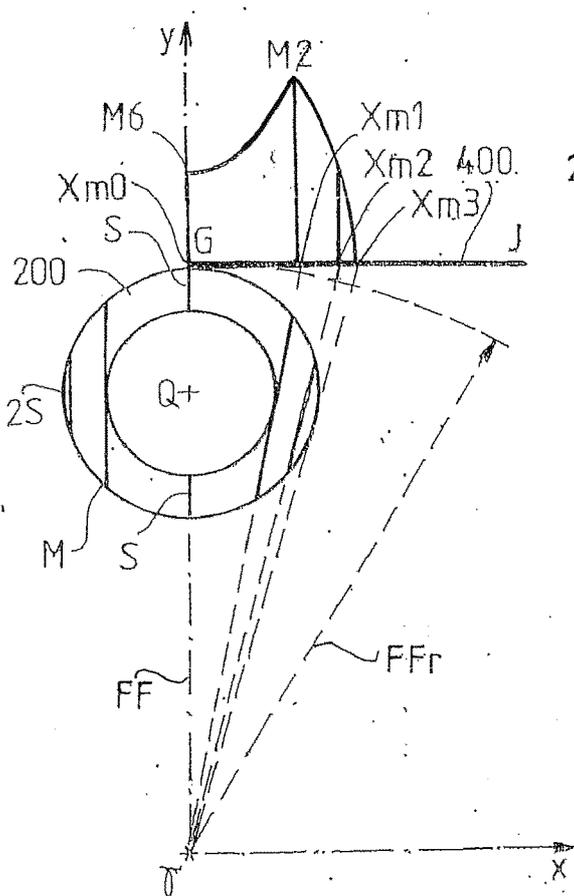
ФИГ. 1d



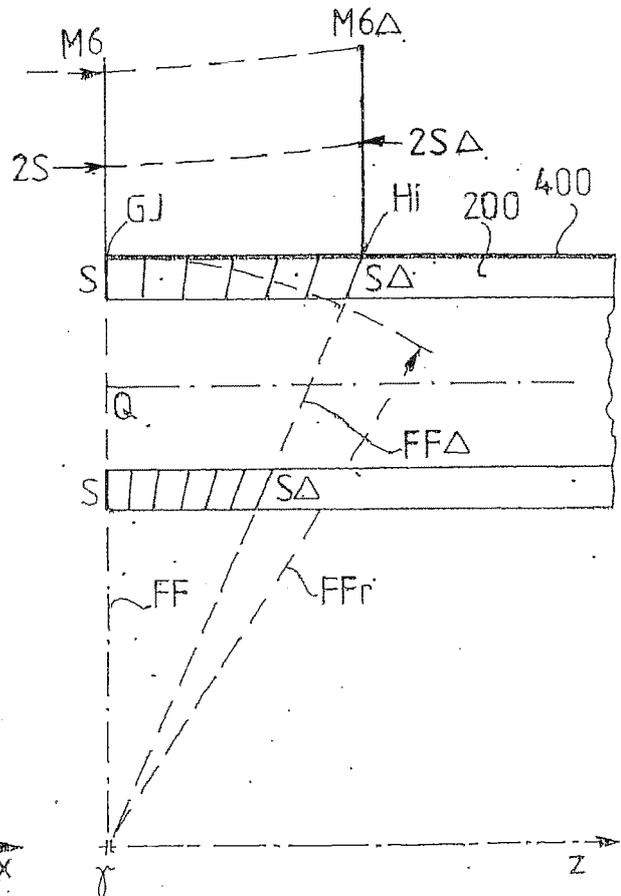
ФИГ. 2c



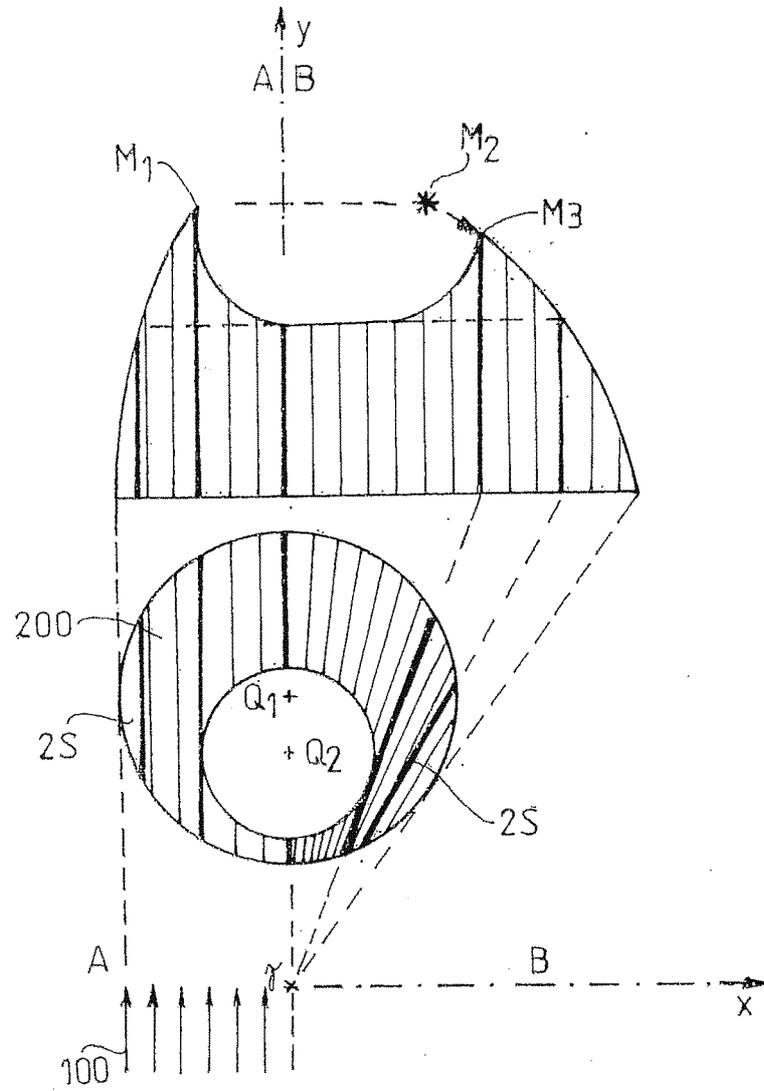
ФИГ. 2d



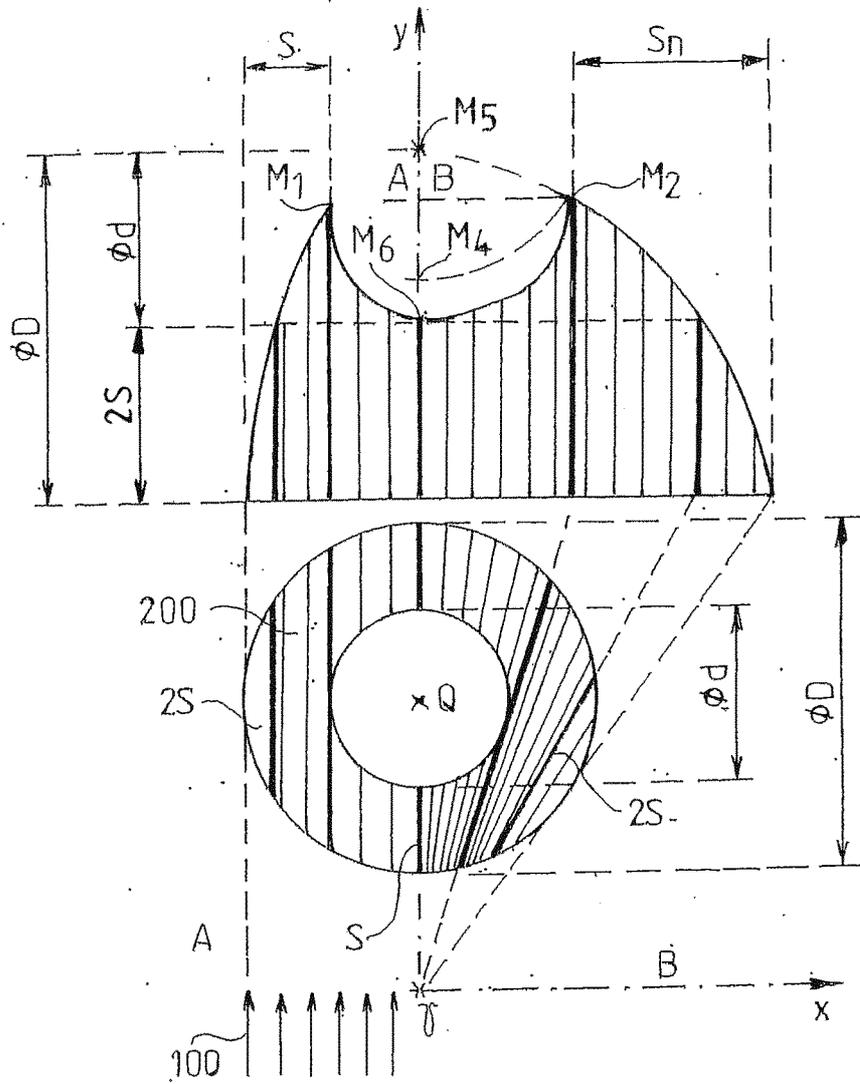
ФИГ. 2a



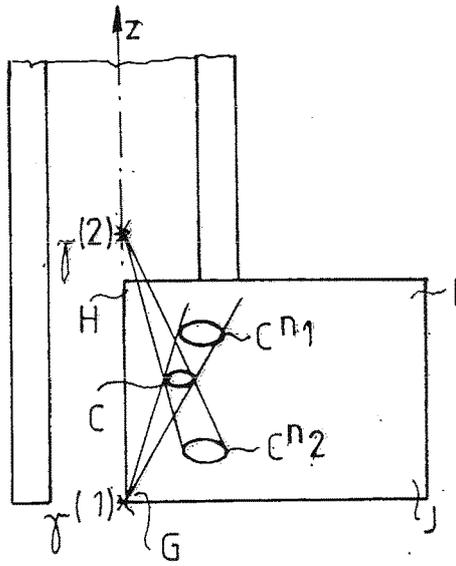
ФИГ. 2b



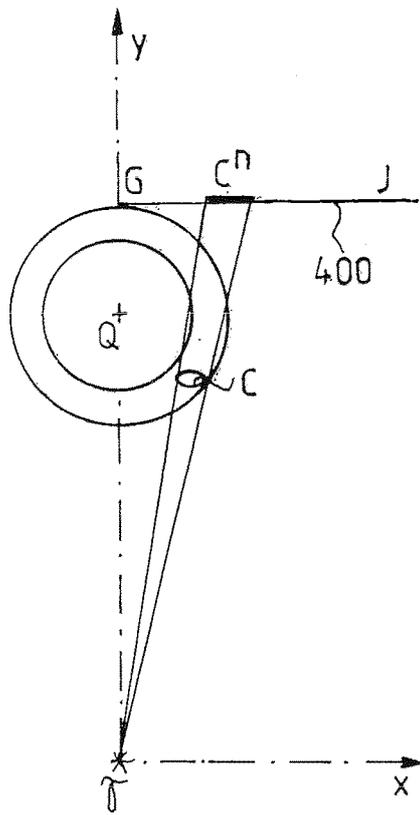
ФИГ. 3



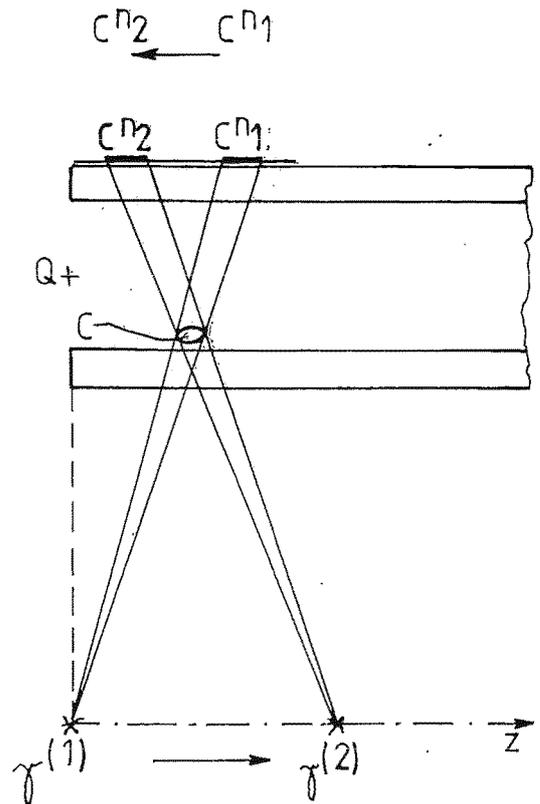
ФИГ. 4



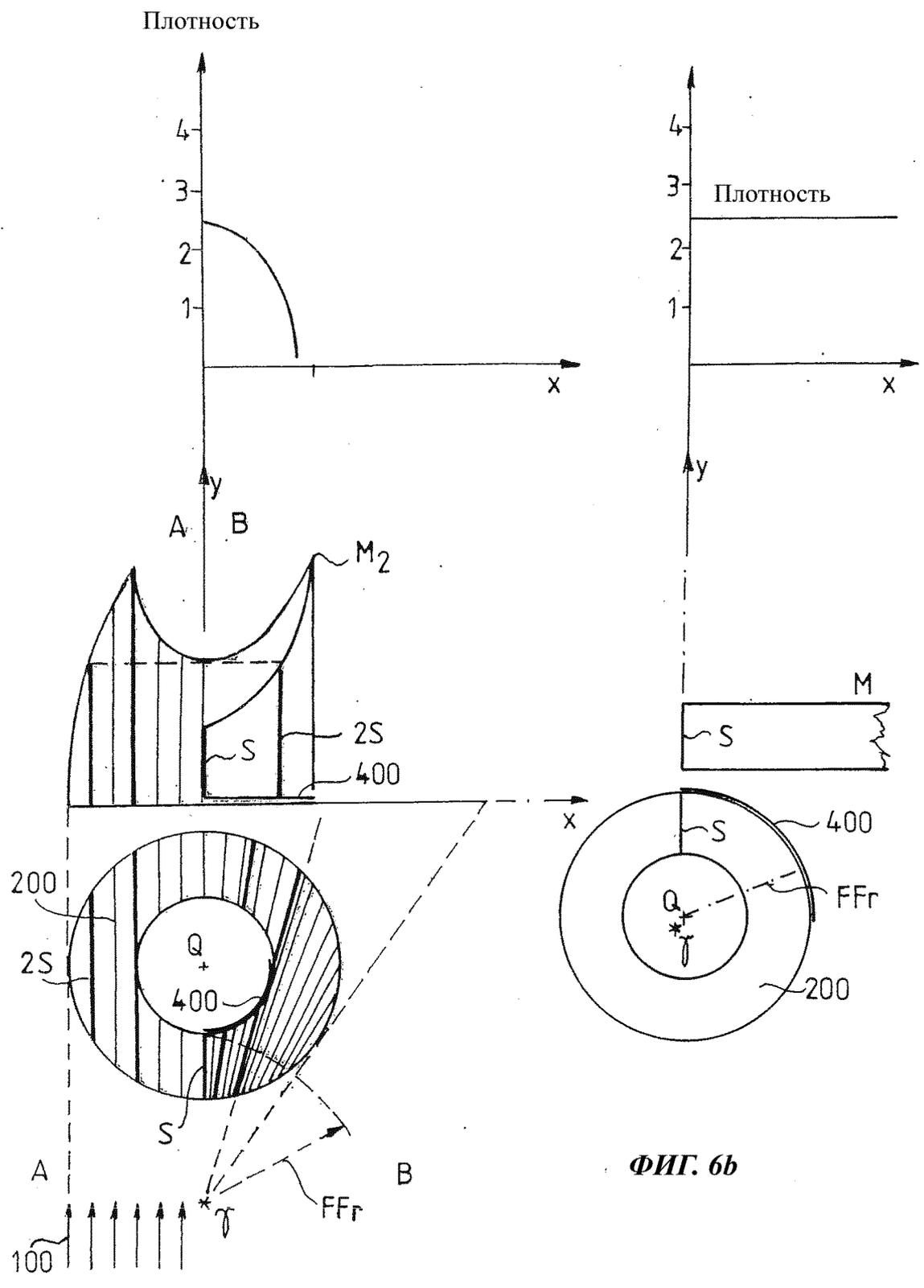
ФИГ. 5с



ФИГ. 5а



ФИГ. 5б



ФИГ. 6a

ФИГ. 6b