



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

G01B 15/02 (2019.02); G01B 11/06 (2019.02)

(21)(22) Заявка: 2017110697, 16.12.2015

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
16.12.2015

Дата регистрации:  
03.02.2020

Приоритет(ы):

(30) Конвенционный приоритет:  
16.12.2014 JP 2014-254285

(43) Дата публикации заявки: 01.10.2018 Бюл. № 28

(45) Опубликовано: 03.02.2020 Бюл. № 4

(85) Дата начала рассмотрения заявки РСТ на  
национальной фазе: 30.03.2017

(86) Заявка РСТ:  
JP 2015/006270 (16.12.2015)

(87) Публикация заявки РСТ:  
WO 2016/098350 (23.06.2016)

Адрес для переписки:  
105062, Москва, ул. Покровка, 33, стр. 1,  
Агентство "ИНТЭЛС"

(72) Автор(ы):

МАТСУЗАВА Такатоши (JP),  
ТАТЕЙАМА Казутака (JP)

(73) Патентообладатель(и):

ДЖАПАН ОЙЛ, ГАС ЭНД МЕТАЛС  
НЭЙШНЛ КОРПОРЕЙШН (JP),  
НЭЙШНЛ ИНСТИТЮТ ОФ  
МАРИТАЙМ, ПОРТ ЭНД АВИЭЙШН  
ТЕКНОЛОДЖИ (JP),  
НЭЙШНЛ ЮНИВЕРСИТИ  
КОРПОРЕЙШН КИТАМИ ИНСТИТЮТ  
ОФ ТЕКНОЛОДЖИ (JP)

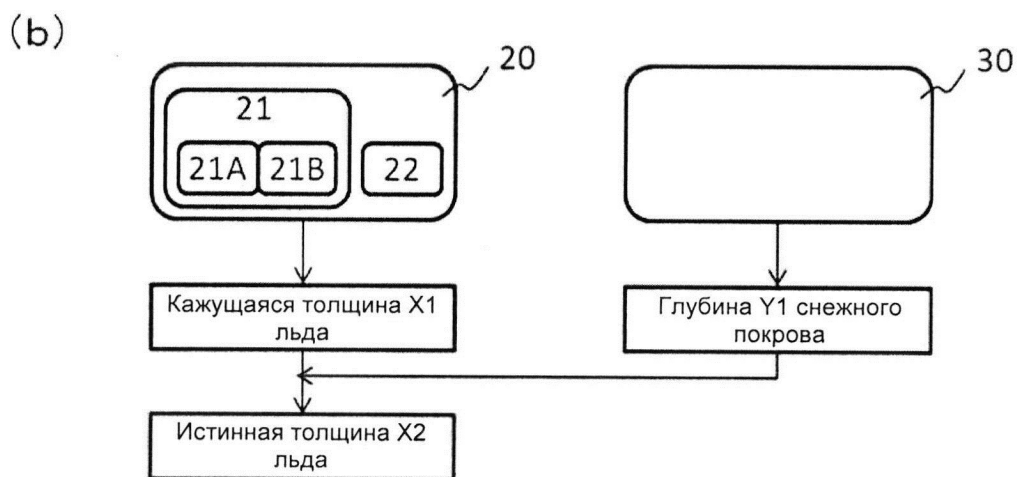
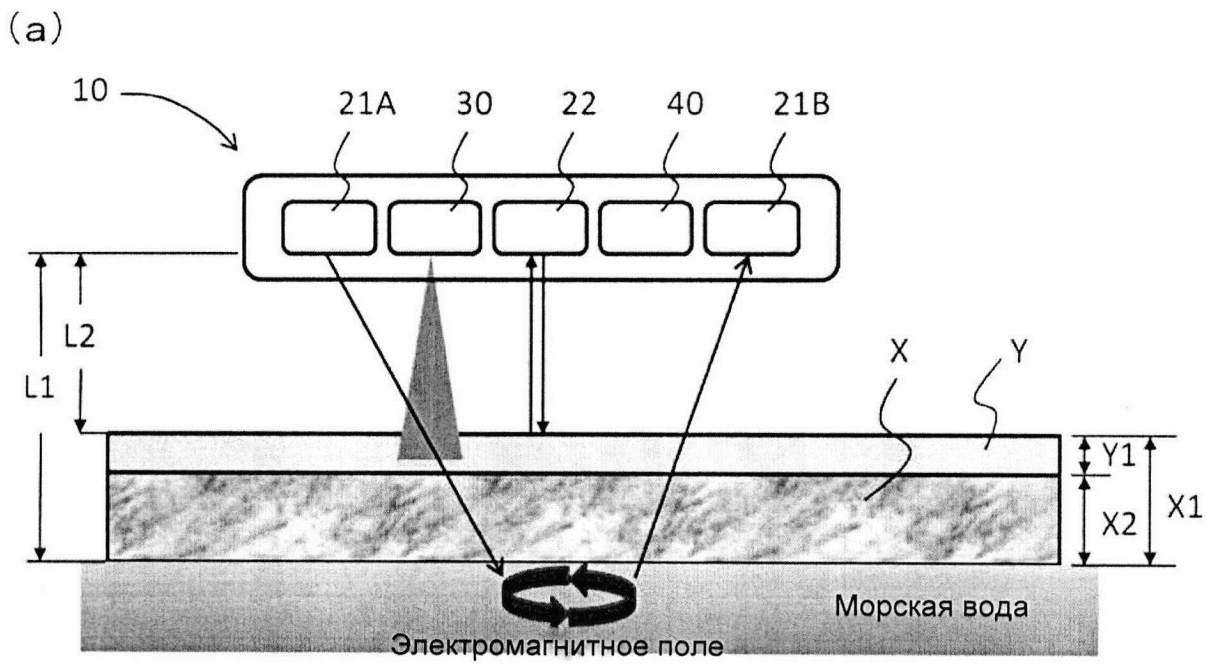
(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: RU 2500985 C1, 10.12.2013. JP  
2005291782 A, 20.10.2005. RU 2559159 C1,  
10.08.2015. US 20140159938 A1, 12.06.2014. US  
4775028 A1, 04.10.1988.

(54) Способ дистанционного измерения толщины льда, способ дистанционного измерения прочности льда, устройство для дистанционного измерения толщины льда, устройство для дистанционного измерения прочности льда и дистанционный измерительный модуль

(57) Реферат:

Использование: для измерения толщины и прочности льда. Сущность изобретения заключается в том, что способ дистанционного измерения толщины льда заключается в том, что с помощью электромагнитного индукционного датчика осуществляют дистанционное измерение кажущейся толщины льда, включающей в себя толщину снежного покрова на поверхности льда; с помощью электромагнитных волн

осуществляют дистанционное измерение толщины указанного снежного покрова; и на основе указанной кажущейся толщины льда и указанной толщины снежного покрова определяют истинную толщину льда. Технический результат: обеспечение возможности бесконтактно измерить толщину и прочность льда. 5 н. и 13 з.п. ф-лы, 10 ил.



Фиг. 1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC

*G01B 15/02 (2019.02); G01B 11/06 (2019.02)*(21)(22) Application: **2017110697, 16.12.2015**(24) Effective date for property rights:  
**16.12.2015**Registration date:  
**03.02.2020**

Priority:

(30) Convention priority:  
**16.12.2014 JP 2014-254285**(43) Application published: **01.10.2018 Bull. № 28**(45) Date of publication: **03.02.2020 Bull. № 4**(85) Commencement of national phase: **30.03.2017**(86) PCT application:  
**JP 2015/006270 (16.12.2015)**(87) PCT publication:  
**WO 2016/098350 (23.06.2016)**Mail address:  
**105062, Moskva, ul. Pokrovka, 33, str. 1, Agentstvo  
"INTELS"**

(72) Inventor(s):

**MATSUZAVA Takatoshi (JP),  
TATEJAMA Kazutaka (JP)**

(73) Proprietor(s):

**DZHAPAN OJL, GAS END METALS  
NEJSHNL KORPOREJSHN (JP),  
NEJSHNL INSTITYUT OF MARITAJM,  
PORT END AVIEJSHN TEKNOLODZHI (JP),  
NEJSHNL YUNIVERSITI KORPOREJSHN  
KITAMI INSTITYUT OF TEKNOLODZHI  
(JP)****(54) METHOD FOR REMOTE MEASUREMENT OF ICE THICKNESS, METHOD FOR REMOTE  
MEASUREMENT OF ICE STRENGTH, DEVICE FOR REMOTE MEASUREMENT OF ICE THICKNESS,  
DEVICE FOR REMOTE MEASUREMENT OF ICE STRENGTH AND REMOTE MEASURING MODULE**

(57) Abstract:

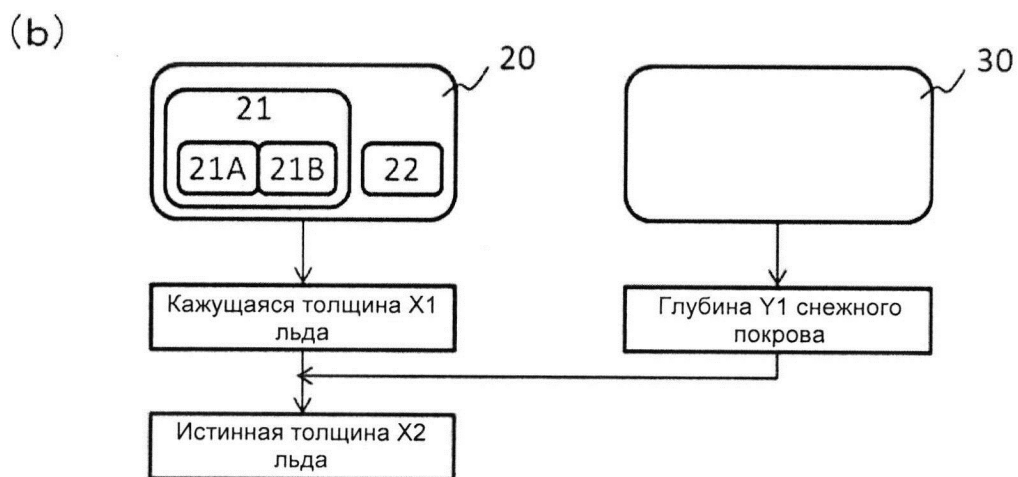
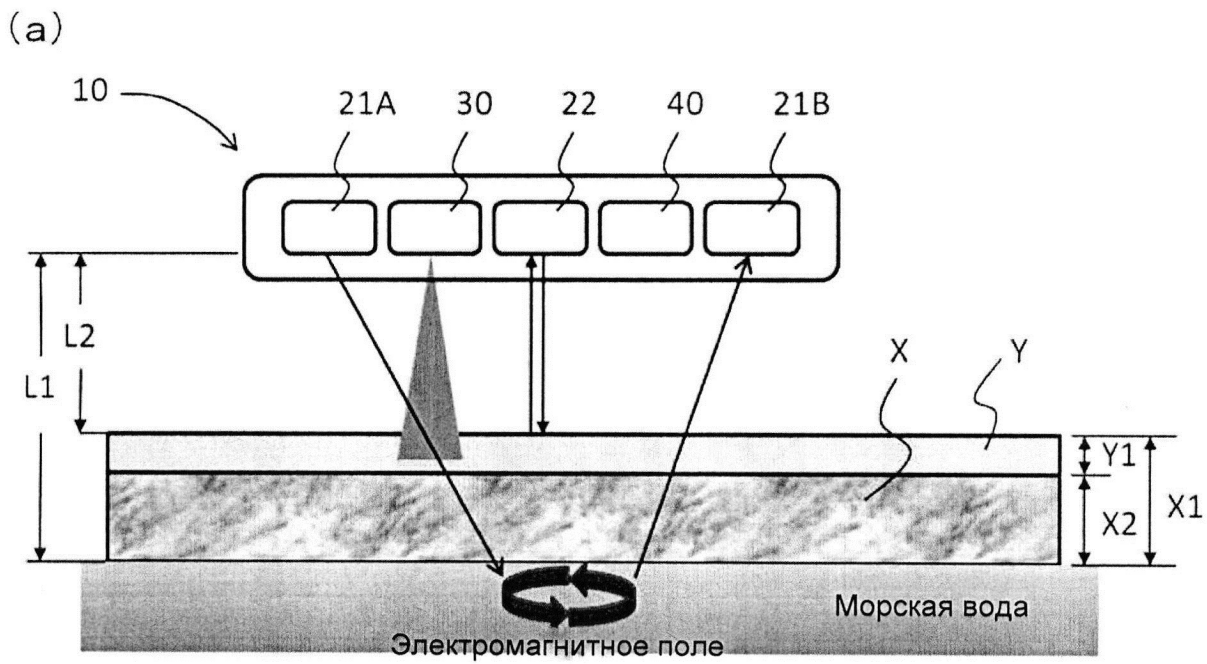
FIELD: physics.

SUBSTANCE: invention can be used to measure thickness and strength of ice. Summary of the invention consists in the fact that the method of remote measurement of ice thickness consists in the fact that by means of the electromagnetic induction sensor remote measurement of the apparent thickness of ice, including thickness of snow cover on the surface of ice;

electromagnetic thickness is used to perform remote measurement of thickness of said snow cover; and based on said apparent thickness of ice and said thickness of snow cover is determined true thickness of ice.

EFFECT: technical result is enabling possibility of ice thickness and strength non-contact measurement.

18 cl, 10 dwg



Фиг. 1

## Область техники

Настоящее изобретение относится к бесконтактному измерению толщины и прочности льда, в частности к способу дистанционного измерения толщины льда, способу дистанционного измерения прочности льда, устройству для дистанционного измерения

5 толщины льда, устройству для дистанционного измерения прочности льда и дистанционному измерительному модулю.

## Уровень техники

Толщина и прочность льда представляют собой информацию, необходимую для оценки ледостойкости плавучих конструкций, таких как нефтедобывающие конструкции,

10 газодобывающие конструкции и т.п., предназначенных для эксплуатации в ледовитой акватории. Кроме того, толщина и прочность льда представляют собой информацию, необходимую для эксплуатации и оценки безопасности и экономичности судов, таких как буровые суда, рабочие суда, ледоколы и т.п., предназначенных для эксплуатации в ледовитой акватории.

15 Механическая прочность льда характеризуется пределом прочности при изгибе и пределом прочности при сжатии. Предел прочности льда при изгибе относится к разрушающей нагрузке, создаваемой в случае изгибного разрушения ледяного пласта под давлением снизу вверх или сверху вниз. Этот режим разрушения характеризуется сравнительно низкой разрушающей нагрузкой и высокой эффективностью разрушения.

20 Тот факт, что конструкции и суда, предназначенные для эксплуатации в ледовитой акватории, часто имеют наклонные боковые стенки, обусловлен использованием именно изгибного разрушения. Следовательно, при оценке нагрузки, действующей на конструкции и суда в течение длительного периода времени, и при проектировании и оценке характеристик, относящихся к удержанию на одном месте и к движению,

25 необходимо знать предел прочности льда при изгибе.

Предел прочности льда при сжатии относится к разрушающей нагрузке, создаваемой при компрессионном разрушении льда, когда лед подвергается раздавливанию. Этот режим разрушения характеризуется наиболее высокой разрушающей нагрузкой. Случаи раздавливания конструкций и судов в ледовитой акватории можно объяснить тем, что

30 предел прочности льда на сжатие превысил конструкционную прочность этих конструкций и судов. Следовательно, при проектировании и оценке критической прочности конструкций и судов необходимо знать прочность льда на сжатие.

В патентной литературе 1 раскрыт способ оценки толщины морского льда, состоящий в следующем: на верхней поверхности морского льда размещают первичную и

35 вторичную катушки; через первичную катушку пропускают ВЧ-ток с частотой 1~2 МГц, в результате чего создается электромагнитное поле; и на основе фазового угла напряжения, индуцируемого во вторичной катушке, оценивают толщину морского льда.

Далее, в патентной литературе 2 раскрыт способ измерения толщины морского льда, состоящий в следующем: с помощью СВЧ-дальномера измеряют расстояние до нижней

40 поверхности морского льда; с помощью ультразвукового дальномера измеряют расстояние до верхней поверхности морского льда; вычисляют разность выходных значений двух указанных дальномеров; и на основе полученной разности измеряют толщину льда.

45 Далее, в патентной литературе 3 раскрыт способ контроля состояния обледенения катка, состоящий в следующем: с помощью ИК-камеры обнаруживают ИК-энергию, излучаемую катком; на основе выходной информации ИК-камеры, с помощью ИК-тепловизора формируют тепловое ИК-изображение поверхностной температуры катка;

и на основе полученного теплового изображения оценивают состояние обледенения катка.

Далее, в патентной литературе 4 раскрыт способ измерения характеристик снежного покрова, состоящий в следующем: с помощью передающей антенны излучают электромагнитные волны на снежный покров; с помощью приемной антенны принимают электромагнитные волны, отраженные от поверхности снежного покрова и от поверхности земли; и путем заданной операционной обработки результатов приема электромагнитных волн вычисляют высоту и плотность снежного покрова.

Далее, в патентной литературе 5 раскрыта система измерения глубины снежного покрова, которая с помощью лазерного сканера излучает лазерный свет на поверхность снежного покрова; осуществляет веерное возвратно-поступательное сканирование поверхности снежного покрова лазерным светом; на основе отраженного лазерного света осуществляет динамическое измерение расстояния до поверхности снежного покрова; вычисляет разность между полученными измерительными данными и стандартным значением, хранящимся в памяти; и в результате получает данные о глубине снежного покрова, из которых исключены специфические данные в угловом диапазоне сканирования.

Далее, в патентной литературе 6 раскрыт способ определения величины осадки морского льда, состоящий в следующем: с помощью сонара подводного якорного типа, предназначенного для измерения толщины льда, и анемометра осуществляют измерение соответственно толщины морского льда и скорости дрейфа; синхронно этим, с помощью летательного аппарата, оснащенного аппаратурой с высокой разрешающей способностью, осуществляют наблюдение морского льда; и на основе полученных данных вычисляют величину осадки интересующего морского льда.

Далее, в патентной литературе 7 раскрыт способ графического представления глубины снежного покрова, состоящий в следующем: запускают в воздух летательный аппарат над объектом измерения; излучают лазерный свет из летательного аппарата на объект измерения; обнаруживают отраженный лазерный свет; на его основе формируют трехмерную информацию об объекте измерения; и представляют полученную трехмерную информацию в виде графического изображения, показывающего, в том числе, толщину снежного покрова.

Далее, в патентной литературе 8 раскрыта технология, состоящая в том, что с помощью двухдиапазонного интерференционного радара с синтезированной апертурой осуществляют наблюдение льда и на основе полученных данных осуществляют картографирование обнаружение и трещин и деформаций льда в качестве его характеристик.

Ссылки на прототипы уровня техники

Патентная литература

Патентная литература 1: Токкай (Японский бюллетень нерассмотренных патентных заявок), №58-223704

Патентная литература 2: Токкай, №62-124480

Патентная литература 3: Токкай, №05-253333

Патентная литература 4: Токкай, №11-14434

Патентная литература 5: Токкай, №11-14434

Патентная литература 6: Токкай, №2003-149332

Патентная литература 7: Токкай, №10-318743

Патентная литература 8: Международная публикация №2014/039267

Сущность изобретения

# Проблемы уровня техники, решаемые в изобретении

Способы измерения толщины льда, раскрытые в патентной литературе 1 и 2, не учитывают толщину снежного покрова на поверхности льда и поэтому они не позволяют определить истинную толщину льда.

5 Способ контроля состояния обледенения катка, раскрытый в патентной литературе 3, предусматривает лишь получение теплового ИК-изображения поверхностной температуры катка с помощью ИК-камеры и не предназначен для измерения толщины льда.

10 Способ измерения глубины снежного покрова, раскрытый в патентной литературе 4 и 5, предусматривает вычисление высоты снежного покрова на основе связи с формой поверхности земли, представляющей собой заранее известную стандартную поверхность, однако в случае льда, плавающего в воде, форма льда, находящегося под снежным покровом, неизвестна, и стандартная поверхность неопределима, из-за чего данный способ неприменим для измерения толщины льда на море.

15 Способ контроля морского льда, раскрытый в патентной литературе 6, предусматривает синхронное осуществление наблюдения льда с помощью сонара подводного якорного типа для измерения толщины льда и летательного аппарата, оснащенного аппаратурой с высокой разрешающей способностью, так что измерение толщины льда путем одного лишь наблюдения с воздуха невозможно. Кроме того, 20 невозможно также измерение толщины снежного покрова.

Способ измерения глубины снежного покрова, раскрытый в патентной литературе 7, предусматривает использование лазерного света, однако лазерный дальномер измеряет лишь расстояние до лицевой поверхности, и глубину необходимо вычислять как разность результата измерения и расстояния до заданной стандартной поверхности. 25 В случае льдов, плавающих в воде, стандартная поверхность неопределима и, следовательно, измерение глубины снежного покрова будет невозможно.

Технология картографирования и измерения характеристик морского льда, раскрытая в патентной литературе 8, предусматривает измерение толщины льда посредством 30 интерференционного двухдиапазонного радара с синтезированной апертурой с использованием электромагнитных волн двух частотных диапазонов. В электромагнитном способе, осуществляемом с помощью электромагнитного индукционного датчика, используемого в настоящем изобретении, гарантирована непосредственная корреляция между измеряемой физической величиной и толщиной льда, и благодаря этому обеспечена возможность высокоточного измерения толщины 35 льда. В отличие от этого, в технологии, раскрытой в патентной литературе 8, величина интенсивности обратного рассеяния, определяемая посредством интерференционного радара с синтезированной апертурой, не пересчитывается напрямую в толщину льда, и эту толщину приходится оценивать с помощью сложного процесса, что негативно сказывается на точности измерения.

40 Кроме того, ни в одном из изобретений, раскрытых в вышеуказанной патентной литературе 1~8, не предусмотрено бесконтактное измерение прочности льда.

Средства бесконтактного измерения толщины льда включают в себя средства, использующие лишь лазерный дальномер, и средства, использующие подводный сонар. Лазерный дальномер с воздуха измеряет разность расстояния до поверхности воды и 45 расстояния до поверхности льда. Подводный сонар из толщи воды измеряет расстояние до нижней поверхности льда. Отдельно, с помощью глубиномера измеряют глубину воды. Однако, поскольку во всех вышеперечисленных способах вычисление толщины льда невозможно без предположительного задания удельного веса льда, вычисление

с учетом удельного веса может оказаться невозможным из-за формы льда. Кроме того, указанные способы обычно имеют низкую разрешающую способность в плане (plane resolution).

Помимо этого, в качестве средств для бесконтактного измерения температуры обычно используются пирометры. Однако пирометры - это приборы, которые оценивают температуру раскаленного объекта на основе видимого светового излучения, и поэтому они непригодны для применения в случае льда.

Кроме того, в качестве средств для бесконтактного измерения формы поверхности морского льда используются, помимо всего прочего, трехмерные видеокамеры. Однако, хотя с помощью трехмерных видеокамер и формируется стереоскопическое оптическое изображение, они используют видимый свет, и поэтому их применение в ночное время невозможно. В дополнение, для оцифровки информации о высоте требуется пост-анализ, что не позволяет получать результаты незамедлительно.

Таким образом, при существующем уровне техники истинные толщину и прочность льда было невозможно измерить иным способом, чем локальное исследование непосредственно на местности (прямое измерение). Однако такое исследование непосредственно на местности обычно связано с большими затратами труда, времени и денежных средств, поскольку требует вырезания ледяных блоков, применения громоздкого испытательного оборудования и т.п.

Целью настоящего изобретения является создание способа дистанционного измерения толщины льда, способа дистанционного измерения прочности льда, способа дистанционного измерения, устройства для дистанционного измерения толщины льда, устройства для дистанционного измерения прочности льда и дистанционного измерительного модуля с целью обеспечения возможности бесконтактного измерения истинной толщины и/или прочности льда в произвольных точках местности.

Средства решения технических проблем

Способ дистанционного измерения толщины льда по п. 1 формулы изобретения отличается тем, что с помощью электромагнитного индукционного датчика осуществляют дистанционное измерение кажущейся толщины льда, включающей в себя толщину снежного покрова на поверхности льда; с помощью электромагнитных волн осуществляют дистанционное измерение толщины указанного снежного покрова; и на основе указанной кажущейся толщины льда и указанной толщины снежного покрова определяют истинную толщину льда.

Согласно п. 1 формулы изобретения, обеспечена возможность достоверного определения, бесконтактным способом, истинной толщины льда, за вычетом толщины (глубины) снежного покрова, образовавшегося на льду, в произвольных точках местности. Например, благодаря наличию подо льдом вещества с высокой удельной электропроводностью, которым является морская вода, возможно высокоточное измерение кажущейся толщины льда, включающей в себя толщину снежного покрова, с помощью электромагнитного индукционного датчика, а также возможно высокоточное измерение толщины снежного покрова с помощью электромагнитных волн.

Способ дистанционного измерения прочности льда по п. 2 формулы изобретения отличается тем, что с помощью электромагнитного индукционного датчика осуществляют дистанционное измерение кажущейся толщины льда, включающей в себя толщину снежного покрова на поверхности льда; с помощью электромагнитных волн осуществляют дистанционное измерение толщины указанного снежного покрова; на основе указанной кажущейся толщины льда и указанной толщины снежного покрова



определяют истинную толщину льда; и на основе указанной истинной толщины льда с помощью блока вычисления прочности льда вычисляют прочность льда.

Согласно п. 2 формулы изобретения, обеспечена возможность достоверного определения, бесконтактным способом, прочности льда в произвольных точках местности. Кроме того, путем вычисления прочности льда на основе истинной толщины льда, не включающей в себя глубину снежного покрова, измеренную с высокой точностью, обеспечивают возможность достоверного измерения прочности. Например, благодаря наличию подо льдом среды с высокой удельной электропроводностью, такой как морская вода, возможно точное измерение кажущейся толщины льда, включающей в себя толщину снежного покрова, с помощью электромагнитного индукционного датчика, а также возможно точное измерение толщины снежного покрова с помощью электромагнитных волн, и таким образом возможно более достоверное определение прочности льда.

Аспект настоящего изобретения по п. 3 формулы изобретения отличается тем, что с помощью инфракрасного излучения осуществляют дистанционное измерение температуры льда; и с учетом результата измерения температуры льда вычисляют прочность льда.

Например, температура нижней (донной) поверхности морского льда, плавающего на поверхности морской воды, представляет собой точку замерзания, так что на основе температуры верхней поверхности, полученной в результате измерения, и температуры донной поверхности, представляющей собой точку замерзания, вычисляют температуру центральной области морского льда в предположении, что градиент температуры по толщине льда имеет линейную форму, и, используя результат вычисления температуры в качестве репрезентативного значения, вычисляют прочность морского льда.

Согласно п. 3 формулы изобретения, при вычислении прочности льда принимают во внимание также измеренную температуру льда и таким образом обеспечивают возможность более достоверного измерения прочности льда.

Здесь под термином «вычисление» имеется в виду определение прочности льда с использованием одного или более параметров, в число которых входят толщина льда, температура льда, соленость и т.п. Указанные параметры, помимо измеренных значений, включают в себя скорректированные измеренные значения, вычисленные значения, значения, полученные на основе предварительно заданных графиков и таблиц, значения, оцененные с использованием подходящих оценочных способов, и т.п. В этом отношении нижеследующие аспекты изобретения аналогичны.

Аспект настоящего изобретения по п. 4 формулы изобретения отличается тем, что с помощью электромагнитных волн осуществляют дистанционное измерение солености льда; и с учетом результата измерения солености льда вычисляют прочность льда. Например, в случае наличия снежного покрова на поверхности морского льда возможно появление ошибки измерения, которая будет нарастать с увеличением толщины снежного покрова, однако путем умножения на коэффициент, соответствующий толщине снежного покрова, нивелируют его влияние на результат измерения, таким образом получают истинное значение солености морского льда и с учетом этой солености вычисляют прочность морского льда.

Согласно п. 4 формулы изобретения, при вычислении прочности льда принимают во внимание также измеренное значение солености льда и таким образом обеспечивают возможность более достоверного измерения прочности льда.

Аспект настоящего изобретения согласно п. 5 формулы изобретения отличается тем, что с помощью лазерного сканера осуществляют дистанционное измерение формы

льда; и с учетом результата измерения формы льда вычисляют прочность льда.

Например, в случае, если в морском льду под влиянием высокого внутреннего давления происходит грядообразование торосов, на основе высоты и ширины льда, представляющих собой параметры формы льда, оценивают форму льда, учитывают  
5 влияние этой формы путем умножения на коэффициент, соответствующий указанным параметрам, и вычисляют прочность морского льда с учетом его формы.

Согласно п. 5 формулы изобретения, при вычислении прочности льда учитывают также измеренную форму льда и таким образом обеспечивают возможность более достоверного измерения прочности льда.

10 Аспект настоящего изобретения по п. 6 формулы изобретения отличается тем, что на основе указанной истинной толщины льда, указанной температуры льда, указанной солености льда и указанной формы льда вычисляют динамический модуль упругости; и на основе этого динамического модуля упругости вычисляют в качестве прочности льда предел прочности при одноосном сжатии.

15 Согласно п. 6 формулы изобретения, на основе всех параметров, полученных в результате дистанционного измерения, обеспечивают возможность достоверного определения предела прочности при одноосном сжатии, представляющего собой одну из характеристик механической прочности льда.

20 Аспект изобретения по п. 7 формулы изобретения отличается тем, что на основе указанной истинной толщины льда, указанной температуры льда, указанной солености льда и указанной формы льда вычисляют объемную долю соленой воды (brine volume ratio); и на основе этой объемной доли соленой воды вычисляют в качестве прочности льда предел прочности при изгибе.

25 Согласно п. 7 формулы изобретения, на основе всех параметров, полученных в результате дистанционного измерения, обеспечивают возможность достоверного определения предела прочности при изгибе, представляющего собой одну из характеристик механической прочности льда.

30 Способ дистанционного измерения по п. 8 формулы изобретения отличается тем, что при осуществлении способа дистанционного измерения толщины льда по п. 1 или способа дистанционного измерения прочности льда по п. 1, осуществляют дистанционное измерение с использованием подвижного средства.

35 Согласно п. 8 формулы изобретения, путем использования подвижного средства обеспечивают возможность измерения параметров льда в широких пределах и, как следствие, возможность сбора большого количества данных, относящихся к толщине и/или к прочности льда.

40 Способ дистанционного измерения по п. 9 отличается тем, что результат измерения, полученный при осуществлении способа дистанционного измерения толщины льда по п. 1 или при осуществлении способа дистанционного измерения прочности льда по п. 2, применяют для эксплуатации или проектирования плавучих конструкций, таких как нефтедобывающее оборудование или газодобывающее оборудование, предназначенных для эксплуатации в ледовитых акваториях, или судов, таких как буровые суда, рабочие суда или ледоколы, предназначенных для эксплуатации в ледовитых акваториях.

45 Согласно п. 9 формулы изобретения, путем применения измеренной толщины и/или прочности льда для эксплуатации или проектирования, обеспечивают возможность повышения безопасности конструкций и судов и эффективной оценки их экономичности.

При этом диапазон применения измеренных значений толщины и/или прочности льда включает в себя применение в реальном времени, применение в режиме пакетной обработки (batch processing) и применение одновременно в реальном времени и в режиме

пакетной обработки.

В случае применения в реальном времени, значения толщины и/или прочности льда, измеренные с помощью судна, могут быть применены в этом же самом судне.

Устройство для дистанционного измерения толщины льда по п. 10 формулы изобретения отличается тем, что оно содержит электромагнитный индукционный датчик, используемый для дистанционного измерения кажущейся толщины льда, включающей в себя слой снега на поверхности льда; СВЧ-измеритель, который с помощью СВЧ-излучения осуществляет дистанционное измерение толщины снежного покрова на поверхности льда; и вычислительный блок, который на основе кажущейся 5 толщины льда, измеренной с помощью указанного электромагнитного индукционного датчика, и толщины снежного покрова, измеренной с помощью указанного СВЧ-измерителя, вычисляет истинную толщину льда.

Согласно п. 10 формулы изобретения, обеспечена возможность достоверного определения, бесконтактным способом, истинной толщины льда, из которой исключена 15 глубина снежного покрова, в произвольных точках местности.

Например, благодаря наличию подо льдом среды с высокой удельной электропроводностью, такой как морская вода, возможно высокоточное измерение кажущейся толщины льда, включающей в себя толщину снежного покрова, с помощью электромагнитного индукционного датчика, а также возможно высокоточное измерение 20 толщины снежного покрова с помощью СВЧ-измерителя для измерения толщины снежного покрова.

Устройство для дистанционного измерения прочности льда по п. 11 формулы изобретения отличается тем, что оно содержит электромагнитный индукционный датчик, используемый для дистанционного измерения кажущейся толщины льда, включающей в себя толщину снежного покрова на верхней поверхности льда; СВЧ-измеритель для дистанционного измерения толщины снежного покрова; первый вычислительный блок, который на основе кажущейся толщины льда, измеренной с помощью электромагнитного индукционного датчика, и толщины снежного покрова, измеренной с помощью СВЧ-измерителя, вычисляет истинную толщину льда; второй 30 вычислительный блок, который на основе истинной толщины льда вычисляет прочность льда.

Согласно п. 11 формулы изобретения, обеспечена возможность достоверного измерения, бесконтактным способом, прочности льда в произвольных точках местности. Кроме того, благодаря вычислению прочности льда на основе истинной толщины льда, 35 из которой исключена измеренная с высокой точностью глубина снежного покрова, обеспечена возможность более достоверного определения прочности льда.

Например, благодаря наличию подо льдом среды с высокой удельной электропроводностью, такой как морская вода, возможно высокоточное измерение кажущейся толщины льда, включающей в себя толщину снежного покрова, с помощью 40 электромагнитного индукционного датчика, а также возможно высокоточное измерение толщины снежного покрова с помощью СВЧ-измерителя для измерения толщины снежного покрова.

Аспект настоящего изобретения по п. 12 формулы изобретения отличается тем, что содержит ИК-измеритель температуры, который осуществляет дистанционное измерение температуры льда, при этом указанный второй вычислительный блок вычисляет 45 прочность льда с учетом температуры льда, измеренной с помощью ИК-измерителя температуры. Например, температура нижней поверхности морского льда, плавающего на поверхности морской воды, представляет собой точку замерзания, так что на основе

температуры верхней поверхности льда, полученной в результате измерения, и температуры нижней поверхности льда, представляющей собой точку замерзания, определяют температуру центральной области морского льда в предположении линейной формы градиента температуры по толщине льда, и с использованием полученной температуры центральной области льда в качестве репрезентативного значения

вычисляют прочность морского льда.

Согласно п. 12 формулы изобретения, при вычислении прочности льда учитывают также температуру льда и таким образом обеспечивают возможность более достоверного измерения прочности льда.

Аспект настоящего изобретения по п. 13 формулы изобретения отличается тем, что содержит СВЧ-измеритель солености, который осуществляет дистанционное измерение солености льда, при этом указанный второй вычислительный блок вычисляет прочность льда с учетом солености, измеренной с помощью СВЧ-измерителя солености.

Например, в случае наличия снежного покрова на морском льду возможна ошибка измерения, которая тем больше, чем толще снежный покров, однако путем умножения на коэффициент, соответствующий толщине снежного покрова, нивелируют влияние снежного покрова, получая истинную величину солености морского льда, и на основе этой истинной величины солености вычисляют прочность морского льда, которая изменяется в зависимости от солености.

Согласно п. 13 формулы изобретения, при вычислении прочности морского льда учитывают также соленость льда и таким образом обеспечивают возможность более достоверного измерения прочности льда.

Аспект настоящего изобретения по п. 14 формулы изобретения отличается тем, что содержит лазерный сканер, осуществляющий дистанционное измерение формы льда, при этом указанный второй вычислительный блок вычисляет прочность льда с учетом формы льда, измеренной с помощью лазерного сканера.

Например, в случае, если в морском льду под действием высокого внутреннего давления происходит грядообразование торосов, на основе высоты и ширины льда, представляющих собой параметры формы льда, оценивают форму льда и вычисляют прочность морского льда с учетом влияния формы льда путем умножения на коэффициент, соответствующий форме льда.

Согласно п. 14 формулы изобретения, при вычислении прочности льда учитывают также измеренную форму льда и таким образом обеспечивают возможность более достоверного определения прочности льда.

Аспект настоящего изобретения по п. 15 формулы изобретения отличается тем, что указанный второй вычислительный блок на основе истинной толщины льда, температуры льда, солености льда и формы льда вычисляет динамический модуль упругости и на основе этого модуля упругости вычисляет в качестве прочности льда предел прочности при одноосном сжатии.

Согласно п. 15 формулы изобретения, обеспечивают возможность достоверного определения предела прочности при одноосном сжатии, представляющего собой одну из характеристик механической прочности льда, на основе всех параметров, полученных в результате дистанционного измерения.

Аспект настоящего изобретения по п. 16 формулы изобретения отличается тем, что указанный второй вычислительный блок на основе истинной толщины льда, температуры льда, солености льда и формы льда вычисляет объемную долю соленой воды и на основе этой объемной доли соленой воды вычисляет в качестве прочности льда предел прочности при изгибе.

Согласно п. 16 формулы изобретения, обеспечивают возможность достоверного определения предела прочности при изгибе, представляющего собой одну из характеристик механической прочности льда, на основе всех параметров, полученных в результате дистанционного измерения.

5 Измерительный модуль по п. 17 формулы изобретения отличается тем, что устройство для дистанционного измерения толщины льда по п. 10 или устройство для дистанционного измерения прочности льда по п. 11 установлено внутри модульного корпуса, и этот модульный корпус имеет возможность подвешивания на подвижном объекте.

10 Согласно п. 17 формулы изобретения, благодаря подвешиванию модульного корпуса на подвижном объекте обеспечена возможность измерения параметров льда в широких пределах и, как следствие, возможность сбора большого количества данных, относящихся к толщине и/или прочности льда, причем собранные данные могут использоваться, в том числе, и в качестве данных для управления самим этим подвижным  
15 объектом.

Аспект настоящего изобретения по п. 18 формулы изобретения отличается тем, что внутри модульного измерительного корпуса установлены навигатор GPS и запоминающее устройство, в которое записываются результаты измерения.

Согласно п. 18 формулы изобретения, внутри модульного корпуса установлен  
20 навигатор GPS (Глобальной Система Навигации и Определения Местоположения), благодаря чему обеспечена возможность достоверного определения измерительных точек на местности. Кроме того, внутри модульного корпуса установлено запоминающее устройство, благодаря чему обеспечена возможность сохранения измеренных значений толщины и/или прочности морского льда после завершения измерения, с их привязкой  
25 к произвольным моментам времени и координатам по маршруту движения, а также обеспечена возможность определения изменения, с течением времени, толщины и/или прочности льда в одних и тех же измерительных точках в результате многократного измерения.

Эффект от применения изобретения

30 Благодаря применению настоящего изобретения, обеспечивается возможность достоверного определения, бесконтактным способом, истинной толщины льда, из которой исключена толщина снежного покрова на льду (глубина снежного покрова), в произвольных точках местности.

Кроме того, в случае применения способа дистанционного измерения прочности  
35 льда, согласно которому с помощью электромагнитного индукционного датчика осуществляют дистанционное измерение кажущейся толщины льда, включающей в себя толщину снежного покрова на верхней поверхности льда; с помощью электромагнитных волн осуществляют дистанционное измерение толщины снежного покрова; на основе кажущейся толщины льда и толщины снежного покрова определяют  
40 истинную толщину льда; и на основе истинной толщины льда с помощью вычислительного блока вычисляют прочность льда, обеспечивается возможность достоверного бесконтактного измерения прочности льда в произвольных точках местности. При этом обеспечивается возможность более достоверного определения прочности льда благодаря вычислению прочности льда на основе истинной толщины  
45 льда, из которой исключена измеренная с высокой точностью глубина снежного покрова.

Кроме того, в случае, если с помощью ИК-излучения осуществляют дистанционное измерение температуры льда и с учетом результата измерения температуры вычисляют

прочность льда, обеспечивается возможность более достоверного определения прочности льда благодаря тому, что при вычислении прочности льда учитывают также измеренную температуру льда.

Кроме того, в случае, если с помощью электромагнитных волн осуществляют дистанционное измерение солености льда и с учетом результата измерения солености вычисляют прочность льда, обеспечивается возможность более достоверного определения прочности льда благодаря тому, что при вычислении прочности льда учитывают также измеренную соленость льда.

Кроме того, в случае, если с помощью лазерного сканера осуществляют дистанционное измерение формы льда и с учетом результата измерения формы льда вычисляют прочность льда, обеспечивается возможность более достоверного определения прочности льда благодаря тому, что при вычислении прочности льда учитывают также измеренную форму льда.

Кроме того, в случае, если на основе истинной толщины льда, температуры льда, солености льда и формы льда определяют динамический модуль упругости и на основе полученного модуля упругости вычисляют в качестве прочности льда предел прочности при одноосном сжатии, обеспечивается возможность более достоверного определения предела прочности при одноосном сжатии, представляющего собой одну из характеристик механической прочности льда, благодаря тому, что прочность льда вычисляют на основе всех параметров, полученных в результате измерения.

Кроме того, в случае, если на основе истинной толщины льда, температуры льда, солености льда и формы льда определяют объемную долю соленой воды и на основе полученной объемной доли соленой воды вычисляют в качестве прочности льда предел прочности при изгибе, обеспечивается возможность более достоверного определения предела прочности при изгибе, представляющего собой одну из характеристик механической прочности льда, благодаря тому, что прочность льда вычисляют на основе всех параметров, полученных в результате измерения.

Кроме того, в случае, если при осуществлении способа дистанционного измерения толщины льда по п. 1 или способа дистанционного измерения прочности льда по п. 2 осуществляют дистанционное измерение с помощью подвижного объекта, благодаря использованию этого подвижного объекта обеспечивается возможность измерения параметров льда в широких пределах и таким образом обеспечивается возможность сбора большого количества данных, относящихся к толщине и/или к прочности льда.

Кроме того, в случае, если результаты измерения, полученные при осуществлении способа дистанционного измерения толщины льда по п. 1 или при осуществлении способа дистанционного измерения прочности льда по п. 2, используются для эксплуатации или проектирования плавучих конструкций, таких как нефтедобывающее оборудование и газодобывающее оборудование, предназначенных для эксплуатации в ледовитой акватории, и судов, таких как буровые суда, рабочие суда и ледоколы, предназначенных для эксплуатации в ледовитой акватории, благодаря использованию измеренной толщины и/или прочности льда при эксплуатации или проектировании обеспечивается возможность повышения безопасности указанных конструкций и судов и возможность эффективной оценки их экономичности.

Кроме того, в случае, если применяется устройство для дистанционного измерения толщины льда, которое содержит электромагнитный индукционный датчик, используемый для дистанционного измерения кажущейся толщины льда, включающей в себя слой снега на поверхности льда; СВЧ-измеритель, который с помощью СВЧ-излучения осуществляет дистанционное измерение толщины снежного покрова на

поверхности льда; и вычислительный блок, который на основе кажущейся толщины льда, измеренной с помощью указанного электромагнитного индукционного датчика, и толщины снежного покрова, измеренной с помощью указанного СВЧ-измерителя, вычисляет истинную толщину льда, обеспечивается возможность достоверного

5 определения, бесконтактным способом, истинной толщины льда в произвольных точках местности.

Кроме того, в случае, если применяется устройство для дистанционного измерения прочности льда, которое содержит электромагнитный индукционный датчик, используемый для дистанционного измерения кажущейся толщины льда, включающей

10 в себя толщину снежного покрова на верхней поверхности льда; СВЧ-измеритель для дистанционного измерения толщины снежного покрова; первый вычислительный блок, который на основе кажущейся толщины льда, измеренной с помощью электромагнитного индукционного датчика, и толщины снежного покрова, измеренной с помощью СВЧ-измерителя, вычисляет истинную толщину льда; и второй

15 вычислительный блок, который на основе истинной толщины льда вычисляет прочность льда, обеспечивается возможность достоверного определения, бесконтактным способом, истинной толщины льда в произвольных точках местности. При этом обеспечивается возможность более достоверного определения прочности льда благодаря тому, что прочность льда вычисляют на основе истинной прочности льда, из которой исключена

20 измеренная с высокой точностью глубина снежного покрова.

Кроме того, в случае, если применяется ИК-измеритель температуры, осуществляющий дистанционное измерение температуры льда, и при этом указанный второй вычислительный блок вычисляет прочность льда с учетом температуры льда, измеренной с помощью ИК-измерителя температуры, обеспечивается возможность

25 более достоверного определения прочности льда благодаря тому, что при вычислении прочности льда учитывают также измеренную температуру льда.

Кроме того, в случае, если применяется СВЧ-измеритель солености, который осуществляет дистанционное измерение солености льда, и при этом указанный второй вычислительный блок вычисляет прочность льда с учетом солености, измеренной с

30 помощью СВЧ-измерителя солености, обеспечивается возможность более достоверного определения прочности льда благодаря тому, что при вычислении прочности льда учитывают также измеренную соленость льда.

Кроме того, в случае, если применяется лазерный сканер, который осуществляет дистанционное измерение формы льда, и при этом указанный второй вычислительный

35 блок вычисляет прочность льда с учетом формы льда, измеренной с помощью лазерного сканера, обеспечивается возможность более достоверного определения прочности льда благодаря тому, что при вычислении прочности льда учитывается также измеренная форма льда.

Кроме того, в случае, если указанный второй вычислительный блок на основе

40 истинной толщины льда, температуры льда, солености льда и формы льда определяет динамический модуль упругости и на основе этого динамического модуля упругости вычисляет в качестве прочности льда предел прочности при одноосном сжатии, обеспечивается возможность более достоверного определения предела прочности при одноосном сжатии, представляющего собой одну из характеристик механической

45 прочности льда, благодаря тому, что предел прочности при одноосном сжатии вычисляют на основе всех параметров, полученных при дистанционном измерении.

Кроме того, в случае, если указанный второй вычислительный блок на основе истинной толщины льда, температуры льда, солености льда и формы льда определяет

объемную долю соленой воды и на основе этой объемной доли соленой воды вычисляет в качестве прочности льда предел прочности при сгибе, обеспечивается возможность более достоверного определения предела прочности при сгибе, представляющего собой одну из характеристик механической прочности льда, благодаря тому, что предел прочности при сгибе вычисляют на основе всех параметров, полученных при дистанционном измерении.

Кроме того, в случае, если устройство для дистанционного измерения толщины льда по п. 10 или устройство для дистанционного измерения прочности льда по п. 11 установлено внутри модульного корпуса, и этот модульный корпус имеет возможность подвешивания на подвижном объекте, благодаря подвешиванию модульного корпуса на подвижном объекте обеспечивается возможность измерения параметров льда в широких пределах и, как следствие, возможность сбора большого количества данных, относящихся к толщине и/или прочности льда, причем собранные данные могут использоваться, в том числе, и в качестве данных для управления самим этим подвижным объектом.

Кроме того, в случае, если внутри модульного измерительного корпуса установлены навигатор GPS и запоминающее устройство, которое сохраняет результаты измерения, благодаря наличию навигатора GPS внутри модульного измерительного корпуса обеспечивается возможность достоверного определения измерительных точек местности. В дополнение, благодаря наличию запоминающего устройства внутри модульного измерительного корпуса, обеспечивается возможность сохранения измеренных значений толщины и/или прочности морского льда с их привязкой к произвольным моментам времени и географическим координатам по маршруту движения после проведения измерений, а также возможность определения изменения, с течением времени, толщины и/или прочности льда в одних и тех же измерительных точках местности в результате многократного измерения.

Краткие пояснения к чертежам

На фиг. 1 показаны общий структурный чертеж устройства для дистанционного измерения толщины льда и блок-схема процесса измерения согласно одному варианту реализации настоящего изобретения;

На фиг. 2 показаны общий структурный чертеж устройства для дистанционного измерения прочности льда и блок-схема процесса измерения согласно еще одному варианту реализации настоящего изобретения;

На фиг. 3 показаны общий структурный чертеж устройства для дистанционного измерения прочности льда и блок-схема процесса измерения согласно еще одному варианту реализации настоящего изобретения;

На фиг. 4 показаны общий структурный чертеж устройства для дистанционного измерения прочности льда и блок-схема процесса измерения согласно еще одному варианту реализации настоящего изобретения;

На фиг. 5 показана диаграмма, характеризующая связь между толщиной и соленостью льда;

На фиг. 6 показаны общий структурный чертеж устройства для дистанционного измерения прочности льда и блок-схема процесса измерения согласно еще одному варианту реализации настоящего изобретения;

На фиг. 7 показаны общий структурный чертеж устройства для дистанционного измерения прочности льда и блок-схема процесса измерения согласно еще одному варианту реализации настоящего изобретения;

На фиг. 8 приведена диаграмма, показывающая связь между температурой и



соленостью льда с одной стороны и динамическим модулем упругости льда с другой;

На фиг. 9 приведена диаграмма, показывающая связь между динамическим модулем упругости льда и пределом прочности при одноосном сжатии;

На фиг. 10 показаны общий структурный чертеж модуля для дистанционного измерения прочности льда и блок-схема процесса измерения согласно еще одному варианту реализации настоящего изобретения.

Варианты практической реализации изобретения

Ниже приведены пояснения относительно вариантов практической реализации настоящего изобретения, относящихся к способу дистанционного измерения толщины льда, способу дистанционного измерения прочности льда, способу дистанционного измерения, устройству для дистанционного измерения толщины льда, устройству для дистанционного измерения прочности льда и дистанционному измерительному модулю.

На фиг. 1 показаны общий структурный чертеж устройства для дистанционного измерения толщины льда и блок-схема процесса измерения согласно одному варианту реализации настоящего изобретения; на фиг. 1(а) показан общий структурный чертеж устройства, а на фиг (b) - блок-схема процесса измерения.

Устройство 10 для дистанционного измерения прочности льда согласно данному варианту практической реализации изобретения размещают сверху над морским льдом X, который является объектом измерения и под которым находится морская вода, по существу параллельно морскому льду X с целью измерения толщины морского льда X.

Устройство 10 содержит электромагнитный индукционный измерительный блок 20, используемый для дистанционного измерения кажущейся толщины X1 льда, включающей в себя толщину снежного покрова Y на верхней поверхности морского льда; СВЧ-измеритель 30 толщины снежного покрова, который осуществляет дистанционное измерение толщины Y1 снежного покрова; вычислительный блок 40, который на основе кажущейся толщины X1 льда, измеренной с помощью электромагнитного индукционного измерительного блока 20, и толщины Y1 снежного покрова, измеренной с помощью СВЧ-измерителя 30, вычисляет истинную толщину X2 морского льда X.

При этом в качестве СВЧ-измерителя 30 толщины снежного покрова используют портативный СВЧ-измеритель (PMR).

Электромагнитный индукционный измерительный блок 20 содержит электромагнитный индукционный датчик (ЕМ-датчик) 21 и лазерный дальномер 22.

Электромагнитный индукционный датчик 21 содержит передатчик (ЕМ Tx) и приемник (ЕМ Rx). Передатчик 21А излучает электромагнитные волны в направлении морского льда X. Под действием излучаемых электромагнитных волн, вблизи поверхности моря создается электромагнитное поле, которое принимается приемником 21В, и с использованием того факта, что диэлектрическая проницаемость морской воды с одной стороны и диэлектрическая проницаемость снежного покрова и льда с другой значительно отличаются друг от друга, осуществляется измерение расстояния L1 до нижней поверхности (донной поверхности) морского льда X, контактирующей с морской водой.

При этом лазерный дальномер излучает лазерный свет на верхнюю поверхность морского льда X и измеряет расстояние L2 до этой верхней поверхности морского льда X.

Лазерный дальномер 22 излучает импульсный лазерный свет по существу под прямым углом на верхнюю поверхность морского льда X, принимает отраженный свет, на основе разности во времени и разности фаз между излученным и принятым лазерным

светом измеряет расстояние L2 до верхней поверхности морского льда X, и таким образом обеспечивается возможность высокоточного измерения расстояния L2 до верхней поверхности морского льда X.

На основе разности измеренных вышеуказанным образом расстояния L1 до донной поверхности морского льда и расстояния L2 до верхней поверхности морского льда определяют кажущуюся толщину X1 льда.

Существует вероятность того, что кажущаяся толщина X1 льда будет включать в себя толщину (глубину) Y1 снежного покрова Y.

Таким образом, в случае дистанционного измерения кажущейся толщины X1 льда с помощью электромагнитного датчика 21, благодаря тому факту, что под морским льдом X, не являющимся электрическим проводником, находится морская вода, являющаяся электрическим проводником, обеспечивается возможность эффективного воздействия электромагнитной индукции и, как следствие, возможность высокоточного измерения кажущейся толщины X1 морского льда, включающей в себя толщину Y1 снежного покрова Y.

Кроме того, в качестве электрических проводников, помимо морской воды, могут также выступать металл, графит и т.п., и объектом измерения становится структура, образовавшаяся в результате обледенения этих материалов с последующим образованием снежного покрова на слое льда. Портативный СВЧ-измеритель толщины снежного покрова измеряет яркостную температуру излучения в качестве характеристики СВЧ-излучения, отраженного от верхней поверхности морского льда X и имеющего частотный диапазон порядка 18 ГГц. Благодаря тому, что толщина Y1 снежного покрова имеет корреляцию с характеристиками СВЧ-излучения частотного диапазона 18 ГГц, отраженного от верхней поверхности морского льда X, обеспечивается возможность высокоточного вычисления толщины Y1 снежного покрова Y путем измерения яркостной температуры СВЧ-излучения с помощью портативного СВЧ-измерителя 30.

Портативный СВЧ-измеритель 30 использует СВЧ-излучение и не использует излучение миллиметрового и других диапазонов.

Вычислительный блок 40 имеет функцию автоматического вычисления и осуществляет высокоточное вычисление истинной толщины X2 морского льда X путем вычитания толщины Y1 снежного покрова Y из кажущейся толщины X1 льда.

Таким образом, в случае, если с помощью электромагнитного датчика 21 осуществляют дистанционное измерение кажущейся толщины X1 льда, включающей в себя толщину снежного покрова на верхней поверхности морского льда X, с помощью электромагнитных волн (СВЧ-излучения) осуществляют дистанционное измерение толщины Y1 снежного покрова, и на основе кажущейся толщины X1 льда и толщины Y1 снежного покрова определяют истинную толщину X2 морского льда X, обеспечивается возможность достоверного определения, бесконтактным способом, истинной толщины X2 морского льда X, из которой исключена глубина Y1 снежного покрова, в произвольных точках местности.

Способ измерения, использующий электромагнитный индукционный датчик 21, обеспечивает возможность высокоточного измерения расстояния L1 до донной поверхности морского льда X и при этом гарантирует отсутствие проблем с точностью измерения, обусловленных недостаточной разрешающей способности аппаратуры, как это имеет место в случае интерференционного радара с синтезированной апертурой.

В случае, если измерение осуществляется с помощью только лазерного дальномера и т.п., вычисление толщины льда будет невозможно, если не задать предположительное

значение удельного веса льда, и в зависимости от конфигурации льда возможны ситуации, когда вычисление по удельному весу будет невозможно. В отличие от этого, в вариантах практической реализации настоящего изобретения измерение осуществляют совместно электромагнитным индукционным датчиком 21 и лазерным дальномером 22, благодаря чему обеспечивается возможность измерения без учета удельного веса и вне зависимости от конфигурации льда, при этом получаемые измерительные данные характеризуются высокой разрешающей способностью в плане.

Кроме того, благодаря тому, что электромагнитный индукционный датчик 21 не требует непосредственного размещения на верхней поверхности морского льда X, обеспечивается возможность измерения при любой конфигурации льда под снежным покровом Y.

При этом лазерный дальномер 22 может не использоваться в случае, если расстояние L2 от устройства 10 до верхней поверхности морского льда X (расстояние до верхней поверхности снежного покрова Y) уже известно, а также в случае, если это расстояние определяется с помощью других измерительных средств. В этом отношении приведенные ниже варианты практической реализации изобретения аналогичны.

На фиг. 2 показаны общий структурный чертеж устройства для дистанционного измерения прочности льда и блок-схема процесса измерения согласно еще одному варианту реализации настоящего изобретения; на фиг. 2(a) показан общий структурный чертеж устройства, а на фиг. 2(b) - блок-схема процесса измерения. Функциональные элементы, аналогичные содержащимся в вышеуказанном примере практической реализации, имеют те же самые обозначения, и их отдельное пояснение не приводится.

Устройство 11 для дистанционного измерения прочности льда согласно данному варианту практической реализации изобретения, измеряет прочность морского льда X из точки, находящейся сверху от морского льда X, являющегося объектом измерения.

Устройство 11 для дистанционного измерения прочности морского льда содержит электромагнитный измерительный блок 20, портативный СВЧ-измеритель 30 для измерения толщины снежного покрова, первый вычислительный блок 40 для вычисления толщины льда и второй вычислительный блок 50 для вычисления прочности морского льда X на основе истинной толщины X2 льда.

Электромагнитный индукционный датчик 21 измеряет расстояние L1 до донной поверхности морского льда X. Лазерный дальномер 22 измеряет расстояние L2 до верхней поверхности морского льда X.

Лазерный дальномер 22 излучает импульсный лазерный свет по существу под прямым углом на верхнюю поверхность морского льда X, принимает отраженный свет, на основе разности во времени и разности фаз между излученным и принятым лазерным светом измеряет расстояние L2 до верхней поверхности морского льда X, и таким образом обеспечивается возможность высокоточного измерения расстояния L2 до верхней поверхности морского льда X.

На основе разности измеренных вышеуказанным образом расстояния L1 до донной поверхности морского льда и расстояния L2 до верхней поверхности морского льда определяют с высокой точностью кажущуюся толщину X1 льда. При этом существует вероятность того, что кажущаяся толщина X1 льда будет включать в себя толщину (глубину) Y1 снежного покрова Y.

Портативный СВЧ-измеритель 30 в качестве характеристики СВЧ-излучения частотного диапазона 18 ГГц, отраженного от верхней поверхности морского льда, измеряет яркостную температуру излучения и на основе этой яркостной температуры вычисляет толщину Y1 снежного покрова.

Вычислительный блок 40 осуществляет высокоточное вычисление истинной толщины X2 морского льда путем вычитания толщины Y1 снежного покрова из кажущейся толщины X1 льда.

Вычислительный блок 50 имеет функцию автоматического вычисления и с использованием корреляционных данных которые были предварительно записаны в запоминающее устройство и характеризуют корреляцию между толщиной льда и прочностью льда, осуществляет достоверное вычисление прочности морского льда X на основе истинной толщины X2 морского льда, вычисленной с помощью вычислительного блока 40.

Здесь термины «высокоточный» и «достоверный» используются в том смысле, что результаты дистанционного (не непосредственного) измерения толщины и прочности льда, получаемые согласно настоящему изобретению, являются намного более точными и достоверными, чем результаты, получаемые с помощью известных технологий.

Таким образом, благодаря применению аспекта настоящего изобретения, в котором с помощью электромагнитного датчика 21 осуществляют дистанционное измерение кажущейся толщины X1 льда, включающей в себя толщину снежного покрова на верхней поверхности морского льда X, с помощью электромагнитных волн (СВЧ-излучения) осуществляют дистанционное измерение толщины Y1 снежного покрова Y, на основе кажущейся толщины X1 льда и толщины Y1 снежного покрова определяют истинную толщину X2 морского льда X и на основе истинной толщины X2 морского льда X с помощью вычислительного блока 50 осуществляют высокоточное измерение прочности льда, обеспечивается возможность достоверного определения, бесконтактным способом, прочности морского льда X в произвольных точках местности. При этом, благодаря вычислению прочности морского льда X на основе истинной толщины X2 льда, измеренной с высокой точностью и не включающей в себя глубину Y1 снежного покрова, обеспечивается возможность более достоверного определения прочности.

На фиг. 3 показаны общий структурный чертеж устройства для дистанционного измерения прочности льда и блок-схема процесса измерения согласно еще одному варианту реализации настоящего изобретения; на фиг. 2(a) показан общий структурный чертеж устройства, а на фиг. 2(b) - блок-схема процесса измерения. Функциональные элементы, аналогичные содержащимся в вышеуказанных примерах практический реализации, имеют те же самые обозначения, и их отдельное пояснение не приводится.

Устройство 11 для дистанционного измерения прочности льда согласно данному варианту практической реализации изобретения, измеряет прочность морского льда X из точки, находящейся сверху от морского льда X, являющегося объектом измерения. Устройство 11 для дистанционного измерения прочности морского льда содержит электромагнитный измерительный блок 20, портативный СВЧ-измеритель 30 для измерения толщины снежного покрова, первый вычислительный блок 40 для вычисления толщины льда, второй вычислительный блок 50 для вычисления прочности морского льда X на основе истинной толщины льда и ИК-измеритель 60 температуры, который осуществляет дистанционное измерение температуры морского льда X.

Электромагнитный индукционный датчик 21 измеряет расстояние L1 до донной поверхности морского льда X. Лазерный дальномер 22 измеряет расстояние L2 до верхней поверхности морского льда X. На основе разности измеренных вышеуказанным образом расстояния L1 до донной поверхности морского льда и расстояния L2 до верхней поверхности морского льда определяют с высокой точностью кажущуюся толщину X1 льда. При этом существует вероятность того, что кажущаяся толщина X1 льда будет включать в себя толщину (глубину) Y1 снежного покрова Y.

Портативный СВЧ-измеритель 30 в качестве характеристики СВЧ-излучения частотного диапазона 18 ГГц, отраженного от верхней поверхности морского льда, измеряет яркостную температуру излучения и на основе этой яркостной температуры вычисляет толщину Y1 снежного покрова.

5 Вычислительный блок 40 осуществляет высокоточное вычисление истинной толщины X2 морского льда путем вычитания толщины Y1 снежного покрова из кажущейся толщины X1 льда.

10 Вычислительный блок 50 с использованием корреляционных данных, которые были предварительно записаны в запоминающее устройство и характеризуют корреляцию между толщиной льда и прочностью льда, осуществляет достоверное вычисление прочности морского льда X на основе истинной толщины X2 морского льда, вычисленной с помощью вычислительного блока 40.

ИК-измеритель 60 температуры измеряет температуру верхней поверхности снежного покрова Y и осуществляет непосредственную оцифровку результатов измерения.  
15 Вычислительный блок 50, с целью исключения влияния снежного покрова на результаты измерения, на основе глубины Y1 снежного покрова, измеренной с помощью портативного СВЧ-измерителя 30, корректирует температуру поверхности снежного покрова, измеренную с помощью ИК-измерителя температуры, и выдает температуру верхней поверхности морского льда X. В завершение, на основе температуры верхней  
20 поверхности морского льда, определенной путем указанной коррекции, оценивают температуру морского льда X и осуществляют более достоверное вычисление прочности морского льда X.

Например, поскольку температура донной поверхности морского льда X, плавающего на поверхности морской воды, представляет собой точку замерзания, на основе  
25 температуры верхней поверхности морского льда X, оцененной на основе результатов измерения, и температуры донной поверхности льда, в качестве которой принята точка замерзания, определяют температуру центральной области морского льда X в предположении, что градиент температуры по истинной толщине X2 льда является линейным, и с использованием истинной толщины X2 льда и температуры центральной  
30 области льда в качестве репрезентативных значений, вычисляют прочность морского льда X.

При этом, в случае, если снежный покров на морском льду X отсутствует или является крайне тонким, с использованием выходного цифрового значения ИК-измерителя 60 температуры в качестве температуры поверхности морского льда X оценивают  
35 температуру морского льда X и на основе оценочной температуры морского льда X осуществляет более достоверное вычисление прочности морского льда X.

Таким образом, благодаря применению аспекта настоящего изобретения, в котором осуществляют дистанционное измерение температуры морского льда X с помощью ИК-излучения и вычисляют прочность морского льда X с учетом также и результата  
40 измерения температуры, обеспечивается возможность более достоверного определения прочности морского льда X с учетом температуры.

На фиг. 4 показаны общий структурный чертеж устройства для дистанционного измерения прочности льда и блок-схема процесса измерения согласно еще одному варианту реализации настоящего изобретения; на фиг. 4(a) показан общий структурный  
45 чертеж устройства, а на фиг. 4(b) - блок-схема процесса измерения. Функциональные элементы, аналогичные содержащимся в вышеуказанных примерах практический реализации, имеют те же самые обозначения, и их отдельное пояснение не приводится.

Устройство 11 для дистанционного измерения прочности льда согласно данному

варианту практической реализации изобретения, измеряет прочность морского льда X из точки, находящейся сверху от морского льда X, являющегося объектом измерения. Устройство 11 для дистанционного измерения прочности морского льда содержит электромагнитный индукционный измерительный блок 20, портативный СВЧ-измеритель 30 для измерения толщины снежного покрова, первый вычислительный блок 40 для вычисления толщины льда, второй вычислительный блок 50 для вычисления прочности льда X и СВЧ-измеритель 31 солености, который осуществляет дистанционное измерение солености морского льда X. Здесь в качестве СВЧ-измерителя солености используется портативный СВЧ-измеритель (PMR) солености.

Электромагнитный индукционный датчик 21 измеряет расстояние L1 до донной поверхности морского льда X. Лазерный дальномер 22 измеряет расстояние L2 до верхней поверхности морского льда X. На основе разности измеренных вышеуказанным образом расстояния L1 до донной поверхности морского льда и расстояния L2 до верхней поверхности морского льда определяют с высокой точностью кажущуюся толщину X1 льда. При этом существует вероятность того, что кажущаяся толщина X1 льда будет включать в себя толщину (глубину) Y1 снежного покрова Y.

Портативный СВЧ-измеритель 30 температуры в качестве характеристики СВЧ-излучения частотного диапазона 18 ГГц, отраженного от верхней поверхности морского льда, измеряет яркостную температуру излучения и на основе этой яркостной температуры вычисляет толщину Y1 снежного покрова.

Вычислительный блок 40 осуществляет высокоточное вычисление истинной толщины X2 морского льда путем вычитания толщины Y1 снежного покрова из кажущейся толщины X1 льда.

Вычислительный блок 50 с использованием корреляционных данных, которые были предварительно записаны в запоминающее устройство и характеризуют корреляцию между толщиной льда и прочностью льда, осуществляет достоверное вычисление прочности морского льда X на основе истинной толщины X2 морского льда, вычисленной с помощью вычислительного блока 40.

Портативный СВЧ-измеритель 31 солености измеряет яркостную температуру в качестве параметра СВЧ-излучения частотного диапазона 7 ГГц, отраженного от верхней поверхности морского льда X. Благодаря тому, что соленость верхней поверхности морского льда X коррелирует с характеристикой СВЧ-излучения частотного диапазона 7 ГГц, отраженного от верхней поверхности морского льда X (излучательная способность (emissivity) СВЧ-волн изменяется в зависимости от солености), обеспечена возможность вычисления яркостной температуры с помощью портативного СВЧ-измерителя 31 солености для диапазона 7 ГГц. Однако может также использоваться и СВЧ-измеритель солености для диапазона 6 ГГц. Вычислительный блок 50 с целью исключения влияния снежного покрова Y корректирует соленость морской воды X, измеренную с помощью портативного СВЧ-измерителя 31 солености, на основе глубины Y1 снежного покрова, измеренной с помощью портативного измерителя 30 толщины снежного покрова, и осуществляет более достоверное вычисление прочности морского льда X с учетом скорректированной солености.

Например, в случае наличия снежного покрова Y на морском льду X, существует вероятность появления ошибки измерения, которая будет увеличиваться с увеличением толщины снежного покрова, однако, нивелируя это влияние снежного покрова путем умножения на коэффициент, соответствующий толщине снежного покрова Y, определяют истинную соленость морского льда X и на основе истинной толщины X2 морского льда X и истинной солености осуществляют более достоверное вычисление

прочности морского льда  $X$  с учетом солёности.

При этом в случае, если снежный покров  $Y$  на морском льду  $X$  отсутствует или является крайне тонким, осуществляют более достоверное вычисление прочности морского льда  $X$  с использованием солёности, измеренной с помощью портативного СВЧ-измерителя 31 солёности.

На фиг. 5 представлена диаграмма корреляции между толщиной льда и солёностью льда (Kovacs, A., Объемная солёность арктических и антарктических морских льдов в зависимости от толщины, Proc., OMAE/POAC Joint Convention, том IV, стр. 271-278, 1997). Как показано на фиг. 5, в широких пределах ледовитой акватории имеет место корреляция между толщиной и солёностью льда, поэтому желательно, чтобы солёность определялась с высокой степенью достоверности путем вычисления солёности на основе истинной толщины  $X_2$  морского льда, вычисленной с помощью вычислительного блока 40, и перекрестного сопоставления результата вычисления с солёностью, измеренной с помощью портативного СВЧ-измерителя 31 солёности.

Таким образом, благодаря дистанционному измерению солёности морского льда с помощью электромагнитных волн (СВЧ-волн) и вычислению прочности морского льда  $X$  с учетом также и этой солёности, обеспечивается возможность более достоверного определения прочности морского льда  $X$ .

На фиг. 6 показаны общий структурный чертеж устройства для дистанционного измерения прочности льда и блок-схема процесса измерения согласно еще одному варианту реализации настоящего изобретения; на фиг. 6(a) показан общий структурный чертеж устройства, а на фиг. 6(b) - блок-схема процесса измерения. Функциональные элементы, аналогичные содержащимся в вышеуказанных примерах практический реализации, имеют те же самые обозначения, и их отдельное пояснение не приводится.

Устройство 11 для дистанционного измерения прочности льда согласно данному варианту практической реализации изобретения, измеряет прочность морского льда  $X$  из точки, находящейся сверху над морским льдом  $X$ , являющимся объектом измерения. Устройство 11 для дистанционного измерения прочности морского льда содержит электромагнитный индукционный измерительный блок 20, портативный СВЧ-измеритель 30 для измерения толщины снежного покрова, первый вычислительный блок 40 для вычисления толщины льда, второй вычислительный блок 50 для вычисления прочности льда  $X$  и лазерный сканер 70, который осуществляет дистанционное измерение формы морского льда  $X$ .

Электромагнитный индукционный датчик 21 измеряет расстояние  $L_1$  до донной поверхности морского льда  $X$ . Лазерный дальномер 22 измеряет расстояние  $L_2$  до верхней поверхности морского льда  $X$ . На основе разности измеренных вышеуказанным образом расстояния  $L_1$  до донной поверхности морского льда и расстояния  $L_2$  до верхней поверхности морского льда определяют кажущуюся толщину  $X_1$  льда. При этом существует вероятность того, что кажущаяся толщина  $X_1$  льда будет включать в себя толщину (глубину)  $Y_1$  снежного покрова  $Y$ .

Портативный СВЧ-измеритель 30 в качестве характеристики параметров СВЧ-излучения частотного диапазона 18 ГГц, отраженного от верхней поверхности морского льда, измеряет яркостную температуру излучения и на основе этой яркостной температуры вычисляет толщину  $Y_1$  снежного покрова.

Вычислительный блок 40 осуществляет высокоточное вычисление истинной толщины  $X_2$  морского льда путем вычитания толщины  $Y_1$  снежного покрова  $Y$  из кажущейся толщины  $X_1$  льда.

Вычислительный блок 50 с использованием корреляционных данных, которые были

предварительно записаны в запоминающее устройство и характеризуют корреляцию между толщиной льда и прочностью льда, осуществляет достоверное вычисление прочности морского льда  $X$  на основе истинной толщины  $X_2$  морского льда, вычисленной с помощью вычислительного блока 40.

- 5 Лазерный сканер 70 измеряет форму верхней поверхности морского льда, на которой образовался снежный покров  $Y$ . Здесь под термином «форма верхней поверхности морского льда» подразумевается шероховатость, рельеф и т.п. этой верхней поверхности. Эти параметры коррелируют со степенью деформации льда, возрастом льда и т.п. и являются ключом к оценке типа (вида) льда (например, плоский лед, деформированный лед, лед какой-либо необычной специфической формы и т.п.). В зависимости от формы
- 10 верхней поверхности или от типа льда, осуществляют выбор алгоритма вычисления характеристик льда, таких как толщина, прочность, температура и соленость льда, при этом возможна автоматическая оценка мест с высокой степенью деформации льда, например мест с торосистым льдом и т.п., которые требуют отдельного рассмотрения
- 15 с точки зрения прочности. Вычислительный блок 50 на основе измеренной с помощью лазерного сканера 70 формы верхней поверхности морского льда, на которой образовался снежный покров  $Y$ , с использованием толщины  $Y_1$  снежного покрова  $Y$  оценивает форму морского льда  $X$  и осуществляет более достоверное вычисление прочности морского льда  $X$  с учетом также и оценочной формы морского льда  $X$ .
- 20 Таким образом, благодаря дистанционному измерению формы морского льда  $X$  с помощью лазерного сканера и вычисления прочности морского льда  $X$  с учетом также и результата измерения формы, обеспечивается возможность более достоверного определения прочности морского льда  $X$ .

- Лазерный сканер 70 при измерении не нуждается в видимом свете и поэтому он может
- 25 применяться также и в ночное время. Кроме того, поскольку измерительные данные регистрируются в цифровой форме в виде информации о высоте рельефа, эти измерительные данные могут немедленно использоваться в качестве данных о форме верхней поверхности.

- На фиг. 7 показаны общий структурный чертеж устройства для дистанционного
- 30 измерения прочности льда и блок-схема процесса измерения согласно еще одному варианту реализации настоящего изобретения; на фиг. 7(a) показан общий структурный чертеж устройства, а на фиг. 7(b) - блок-схема процесса измерения. Функциональные элементы, аналогичные содержащимся в вышеуказанных примерах практический реализации, имеют те же самые обозначения, и их отдельное пояснение не приводится.

- 35 Устройство 11 для дистанционного измерения прочности льда согласно данному варианту практической реализации изобретения, измеряет прочность морского льда  $X$  из точки, находящейся сверху над морским льдом  $X$ , являющимся объектом измерения. Устройство 11 содержит электромагнитный измерительный блок 20, портативный СВЧ-измеритель 30 для измерения толщины снежного покрова, портативный СВЧ-измеритель
- 40 31 для измерения солености, первый вычислительный блок 40 для вычисления толщины льда, второй вычислительный блок 50 для вычисления прочности льда, ИК-измеритель 60 температуры и лазерный сканер 70.

- Электромагнитный индукционный датчик 21 измеряет расстояние  $L_1$  до донной поверхности морского льда  $X$ . Лазерный дальномер 22 измеряет расстояние  $L_2$  до
- 45 верхней поверхности морского льда  $X$ . На основе разности измеренных вышеуказанным образом расстояния  $L_1$  до донной поверхности морского льда и расстояния  $L_2$  до верхней поверхности морского льда определяют кажущуюся толщину  $X_1$  льда. При этом существует вероятность того, что кажущаяся толщина  $X_1$  льда будет включать



в себя толщину (глубину)  $Y_1$  снежного покрова  $Y$ .

Портативный СВЧ-измеритель 30 в качестве характеристики СВЧ-излучения частотного диапазона 18 ГГц, отраженного от верхней поверхности морского льда, измеряет яркостную температуру излучения и на основе этой яркостной температуры

ИК-измеритель 60 осуществляет измерение и непосредственную оцифровку температуры верхней поверхности снежного покрова  $Y$ .

Лазерный сканер 70 измеряет форму верхней поверхности морского льда с образовавшимся на ней снежным покровом  $Y$ .

Вычислительный блок 40 осуществляет высокоточное вычисление истинной толщины  $X_2$  морского льда  $X$  путем вычитания толщины  $Y_1$  снежного покрова  $Y$  из кажущейся толщины  $X_1$  льда.

Вычислительный блок 50, с целью исключения влияния снежного покрова на результат измерения, на основе измеренной глубины  $Y$  снежного покрова корректирует результат измерения, полученный с помощью ИК-измерителя 60 температуры и портативного СВЧ-измерителя 31 солености, и выдает скорректированные значения температуры верхней поверхности морского льда  $X$  и солености.

При этом в случае, если снежный покров на морском льду  $X$  отсутствует или глубина  $Y_1$  снежного покрова крайне мала, нет необходимости в коррекции результатов измерения, полученных с помощью ИК-измерителя 60 температуры, портативного СВЧ-измерителя 31 солености и лазерного сканера 70, на основе глубины  $Y_1$  снежного покрова.

На фиг. 8 представлена диаграмма, показывающая связь между температурой и соленостью льда с одной стороны и динамическим модулем упругости с другой. На фиг. 9 представлена диаграмма, показывающая связь между динамическим модулем упругости льда и пределом прочности при одноосном сжатии (Сахаку и др.: Методика оценки прочности морского льда путем измерения динамического модуля упругости; Сборник работ по прибрежной инженерии, том 37, стр. 689-693, 1990). На фиг. 8 по вертикальной оси отложен динамический модуль упругости  $E_D$  (кгс/см<sup>2</sup>), по горизонтальной оси - температура (°C), и через  $S$  (‰) обозначена соленость. На фиг. 9 по вертикальной оси отложен предел прочности  $\sigma_C$  при одноосном сжатии (кгс/см<sup>2</sup>), по горизонтальной оси - динамический модуль упругости  $E_D$  (кгс/см<sup>2</sup>), и через  $S$  (‰) обозначена соленость.

Вычислительный блок 50 определяет динамический модуль упругости  $E_D$  морского льда  $X$  на основе средней температуры  $T_i$  морского льда и солености  $S_i$  морского льда, скорректированных на основе глубины  $Y_1$  снежного покрова. При определении динамического модуля упругости  $E_D$ , для зависимости, показанной на фиг. 8, осуществляется автоматический выбор подходящего алгоритма с учетом формы верхней поверхности морского льда, измеренной с помощью лазерного сканера 70, и в соответствии с выбранным алгоритмом производится автоматическое вычисление динамического модуля упругости  $E_D$ .

Вычислительный блок 50 на основе вычисленного динамического модуля упругости  $E_D$  вычисляет предел прочности при одноосном сжатии  $\sigma_C$ .

Таким образом, благодаря определению динамического модуля упругости  $E_D$  на основе истинной толщины  $X_2$  и температуры льда и вычисления, на основе этого

динамического модуля упругости  $E_D$ , предела упругости  $\sigma_C$  при одноосном сжатии в качестве показателя прочности, обеспечивается возможность достоверного определения предела упругости  $\sigma_C$  при одноосном сжатии, являющегося одним из показателей механической прочности морского льда  $X$ , на основе всех параметров, полученных в результате дистанционного измерения.

[0064] Кроме того, вычислительный блок 50 на основе средней температуры  $T_i$  и солёности  $S_i$  морского льда  $X$ , по приведенной ниже формуле (1) вычисляет объемную долю соленой воды (brine volume) (Frankenstein, G.E., Уравнения для определения объемной доли соленой воды в морском льду при температуре от -0,5 до -22,0°C, Журнал гляциологии, том 6, №48, стр. 943-944, 1967).

$$v_B = \frac{S_i}{100} \left( \frac{49.185}{|T_i|} + 0.532 \right) \quad \dots (1)$$

Далее, на основе вычисленной объемной доли  $v_B$  соленой воды, по приведенной ниже формуле (2) вычисляется предел прочности  $\sigma_F$  при изгибе (Timco, G.W. и S. O'Brien: Уравнение для определения предела прочности при изгибе для морского льда; Науки и технологии для холодных регионов, том 22, стр. 285-298, 1994).

$$\sigma_F = 1.76 \exp(-5.88 \sqrt{v_B}) \quad \dots (2)$$

При определении объемной доли  $v_B$  соленой воды, осуществляется автоматический выбор алгоритма для формулы (1) с учетом формы верхней поверхности морского льда, измеренной с помощью лазерного сканера 70, и в соответствии с этим алгоритмом осуществляется автоматическое вычисление объемной доли  $v_B$  соленой воды.

Таким образом, путем вычисления объемной доли  $v_B$  соленой воды на основе истинной толщины  $X_2$ , температуры, солёности и формы морского льда и вычисления, на основе этой объемной доли  $v_B$  соленой воды, предела прочности  $\sigma_F$  при изгибе в качестве характеристики прочности, обеспечивают возможность достоверного определения предела прочности  $\sigma_F$  при изгибе, являющегося одной из характеристик механической прочности морского льда  $X$ , на основе всех параметров, полученных в результате дистанционного измерения.

На фиг. 10 показаны общий структурный чертеж дистанционного измерительного модуля и блок-схема процесса измерения согласно еще одному варианту реализации настоящего изобретения; на фиг. 10(a) показан общий структурный чертеж, а на фиг. 10(b) - блок-схема. Функциональные элементы, аналогичные содержащимся в вышеуказанных примерах практической реализации, имеют те же самые обозначения, и их отдельное пояснение не приводится.

Дистанционный измерительный модуль 110 согласно данному варианту реализации настоящего изобретения содержит модульный корпус 111, который выполнен с возможностью подвешивания на подвижном объекте, например на летательном аппарате, таком как вертолет 120. Внутри модульного корпуса 111 установлены электромагнитный индукционный измерительный блок 20 (электромагнитный индукционный датчик 21 и лазерный дальномер 22), портативный СВЧ-измеритель 30 толщины снежного покрова, портативный СВЧ-измеритель 31 солёности, ИК-измеритель 60 температуры, лазерный сканер 70, навигатор 80 GPS, а также компьютер 100 с первым вычислительным блоком 40 для вычисления толщины льда, вторым вычислительным блоком 50 для вычисления прочности льда и запоминающим устройством 90 для сохранения результатов измерения.

Модульный корпус 111 подвешивается подвижном объекте, таком как на вертолет 120, посредством подвески 112, такой как трос. С точки зрения измерения желательно такое подвешивание, чтобы расстояние между модульным корпусом 111 и морским льдом X, являющимся объектом измерения, составляло порядка 15 метров.

5 С точки зрения аэродинамики желательно, чтобы модульный корпус 111 имел форму длинного тонкого цилиндра круглого сечения, заостряющегося к переднему концу подобно ракете, чтобы обеспечить стабильность вертолета 112 в полете, однако возможны и другие формы корпуса.

С целью размещения обоих СВЧ-измерителей 30, 31, рупорообразный канал передачи  
10 миниатюризирован путем его выполнения в виде изогнутого канала.

На чувствительность электромагнитного индукционного датчика 21 сильно влияют металлы и т.п. Поэтому, с целью минимизации влияния внешних факторов на датчик 21, модульный корпус 111 и крепежные элементы, по мере возможности, должны быть изготовлены из пластмассы.

15 Модульный корпус 111 содержит также встроенный сетевой концентратор, и путем построения внутри модульного корпуса 111 локальной сети LAN (Local Area Network) с использованием интерфейса стандарта RS-232C и соединительной аппаратуры стандарта USB обеспечивают возможность облегчения сигнальных кабелей и устройств управления датчиками, а также снижения производственных затрат.

20 Электромагнитный индукционный датчик 21 измеряет расстояние L1 до донной поверхности морского льда X. Лазерный дальномер 22 измеряет расстояние L2 до верхней поверхности морского льда X. На основе разности измеренных вышеуказанным образом расстояния L1 до донной поверхности морского льда и расстояния L2 до верхней поверхности морского льда определяют кажущуюся толщину X1 льда. При  
25 этом существует вероятность того, что кажущаяся толщина X1 льда будет включать в себя толщину (глубину) Y1 снежного покрова Y.

Портативный СВЧ-измеритель 30 толщины льда измеряет, в качестве характеристики СВЧ-излучения частотного диапазона 18 ГГц, отраженного от верхней поверхности морского льда, яркостную температуру излучения и на основе этой яркостной  
30 температуры вычисляет толщину Y1 снежного покрова Y.

Портативный измеритель 31 солености измеряет, в качестве характеристики СВЧ-излучения частотного диапазона 7 ГГц, отраженного от верхней поверхности морского льда, яркостную температуру излучения и на основе этой яркостной температуры вычисляет соленость морского льда X.

35 ИК-измеритель 60 осуществляет измерение температуры верхней поверхности снежного покрова Y и оцифровывает результат измерения непосредственно или с коррекцией на основе глубины Y снежного покрова.

Лазерный сканер 70 измеряет форму верхней поверхности морского льда X и оцифровывает результат измерения непосредственно или с коррекцией на основе  
40 глубины Y1 снежного покрова.

Компьютер 100 содержит первый вычислительный блок 40 для вычисления толщины льда; второй вычислительный блок 50 для вычисления прочности льда. На основе всех измеренных параметров компьютер 100 осуществляет вычисление истинной толщины X2 льда, коррекцию температуры и солености морского льда, вычисление предела  
45 прочности  $\sigma_C$  при одноосевом сжатии и вычисление предела прочности  $\sigma_F$  при изгибе.

Кроме того, компьютер 100 содержит запоминающее устройство 90, например магнитный диск, флэш-память и т.п. В запоминающее устройство 90, вместе с результатами измерения от каждого из датчиков, пределом прочности  $\sigma_C$  при

одноосевом сжатии и пределом прочности  $\sigma_F$  при изгибе, записывается навигационная информация, поступающая от навигатора 80 GPS.

Дополнительно, в центре управления, находящемся на судне или на плавучей конструкции, установлен внешний компьютер 130. Внешний компьютер 130 имеет возможность приема различных данных, хранящихся в запоминающем устройстве 90, и при необходимости может мгновенно передавать команды управления из центра управления на каждый из управляемых объектов в соответствии с этими данными.

Таким образом, при осуществлении измерения толщины и прочности морского льда X, путем дистанционного измерения с помощью вертолета 120 обеспечивают возможность измерения параметров льда в широких пределах, с динамической сменой точек местности, и благодаря этому обеспечивают возможность сбора большого количества данных, относящихся к толщине и/или прочности морского льда X. Кроме того, благодаря цифровой обработке данных обеспечивают возможность мгновенного автоматического вычисления.

Следует иметь в виду, что, хотя в варианте практической реализации настоящего изобретения в качестве примера подвижного объекта приведен вертолет, могут использоваться и подвижные объекты других типов, такие как самолеты, беспилотные летательные аппараты, суда, наземные транспортные средства, такие как снегоходы и вездеходы, и т.п.

При этом в случае, если в качестве подвижного объекта используется, например, судно или наземное транспортное средство, результаты измерения толщины и/или прочности льда могут использоваться в самом этом подвижном объекте для управления им.

Режимы применения результатов измерения толщины и/или прочности морского льда X включают в себя режим в реальном времени, режим пакетной обработки (batch processing) и режим, сочетающий в себе оба этих режима.

Благодаря тому, что в модульном корпусе 111 дистанционного измерительного модуля 110 установлен навигатор 80 GPS, обеспечена возможность достоверного определения измерительных точек местности. Благодаря тому, что в модульном корпусе 111 дистанционного измерительного модуля 110 установлено запоминающее устройство 90, обеспечена возможность сохранения данных о толщине и/или прочности морского льда X после завершения измерения, с их привязкой к произвольным моментам времени и координатам по маршруту движения.

Кроме того, обеспечена возможность определения изменения, с течением времени, толщины и/или прочности льда в одних и тех же измерительных точках местности путем многократного измерения.

Благодаря применению измеренных значений толщины и/или прочности морского льда X для эксплуатации и проектирования плавучих морских конструкций, таких как нефтедобывающее оборудование и газодобывающее оборудование, и судов, таких как буровые суда, рабочие суда и ледоколы, предназначенных для эксплуатации в ледовитой акватории, обеспечена возможность повышения безопасности указанных конструкций и судов и эффективной оценки их экономичности.

#### Промышленная применимость

Применение настоящего изобретения позволяет бесконтактным способом определять истинную толщину льда, из которой исключена толщина (глубина) снежного покрова, образовавшегося на льду, и прочность льда в произвольных точках местности на морях, озерах, реках и других водоемах; с этой целью в настоящем изобретении предложены: способ дистанционного измерения толщины льда, способ дистанционного измерения

прочности льда, способа дистанционного измерения, устройство для дистанционного измерения толщины льда, устройство для дистанционного измерения прочности льда и дистанционный измерительный модуль. При этом, благодаря измерению с помощью подвижного объекта, такого как вертолет, судно, снегоход и т.п., обеспечена возможность значительного расширения пределов измерения и, как следствие, возможность сбора большего объема данных, относящихся к толщине и/или прочности льда, в этих расширенных пределах.

Таким образом обеспечена возможность оперативной поддержки эксплуатации плавучих конструкций, таких как нефтедобывающее и газодобывающее оборудование, и судов, таких как буровые суда, рабочие суда и ледоколы, при их эксплуатации в ледовитых акваториях, таких как Северный Ледовитый океан и Охотское море, а также возможность системной поддержки проектирования этих объектов. Под оперативной поддержкой эксплуатации имеется в виду оперативная численная оценка степени опасности ледовой нагрузки в случае, если руководитель объекта, например капитан, должен принять решение, направленное на обеспечение безопасности объекта. Под системной поддержкой проектирования имеется в виду накопление проектировочных данных путем долговременного мониторинга ледовых условий в конкретной морской или иной ледовитой акватории и численная оценка ледостойкости на основе собранных данных при проектировании указанных объектов.

Обозначения на чертежах

- 10 - Устройство для дистанционного измерения толщины льда
- 11 - Устройство для дистанционного измерения прочности льда
- 20 - Электромагнитный индукционный измерительный блок
- 21 - Электромагнитный индукционный датчик
- 22 - Лазерный дальномер
- 30 - СВЧ-измеритель толщины снежного покрова
- 31 - СВЧ-измеритель солености
- 40 - Блок вычисления толщины льда
- 50 - Блок вычисления прочности льда
- 60 - ИК-измеритель температуры
- 70 - Лазерный сканер
- 80 - Навигатор GPS
- 90 - Запоминающее устройство
- 120 - Подвижный объект

#### (57) Формула изобретения

1. Способ дистанционного измерения толщины льда, отличающийся тем, что с помощью электромагнитного индукционного датчика осуществляют дистанционное измерение кажущейся толщины льда, включающей в себя толщину снежного покрова на поверхности льда; с помощью электромагнитных волн осуществляют дистанционное измерение толщины указанного снежного покрова; и на основе указанной кажущейся толщины льда и указанной толщины снежного покрова определяют истинную толщину льда.

2. Способ дистанционного измерения прочности льда с использованием подвижного объекта, отличающийся тем, что включает модульный корпус, который имеет возможность подвешивания на подвижном объекте, причем модульный корпус сконфигурирован таким образом, чтобы минимизировать влияние электромагнитной индукции, причем с помощью электромагнитного индукционного датчика осуществляют

дистанционное измерение кажущейся толщины льда, включающей в себя толщину снежного покрова на поверхности льда; с помощью СВЧ-измерителя, расположенного внутри модульного корпуса, осуществляют дистанционное измерение толщины указанного снежного покрова; на основе указанной кажущейся толщины льда и 5 указанной толщины снежного покрова определяют истинную толщину льда; и на основе указанной истинной толщины льда с помощью блока вычисления прочности льда вычисляют прочность льда.

3. Способ дистанционного измерения прочности льда по п. 2, отличающийся тем, что с помощью инфракрасного излучения осуществляют дистанционное измерение 10 температуры льда; и с учетом результата измерения температуры льда вычисляют прочность льда.

4. Способ дистанционного измерения прочности льда по п. 2, отличающийся тем, что с помощью электромагнитных волн осуществляют дистанционное измерение солености льда; и с учетом результата измерения солености льда вычисляют прочность 15 льда.

5. Способ дистанционного измерения прочности льда по п. 2, отличающийся тем, что с помощью лазерного сканера осуществляют дистанционное измерение формы льда; и с учетом результата измерения формы льда вычисляют прочность льда.

6. Способ дистанционного измерения прочности льда по п. 5, отличающийся тем, 20 что на основе указанной истинной толщины льда, указанной температуры льда, указанной солености льда и указанной формы льда вычисляют динамический модуль упругости; и на основе этого динамического модуля упругости вычисляют в качестве прочности льда предел прочности при одноосном сжатии.

7. Способ дистанционного измерения прочности льда по п. 5, отличающийся тем, 25 что на основе указанной истинной толщины льда, указанной температуры льда, указанной солености льда и указанной формы льда вычисляют объемную долю соленой воды; и на основе этой объемной доли соленой воды вычисляют в качестве прочности льда предел прочности при изгибе.

8. Способ дистанционного измерения прочности льда по любому из пп. 2-7, 30 отличающийся тем, что дистанционное измерение осуществляют с помощью подвижного средства.

9. Способ дистанционного измерения толщины льда по п. 1 или способ дистанционного измерения прочности льда по п. 2, отличающийся тем, что результат измерения применяют для эксплуатации или проектирования плавучих конструкций, 35 таких как нефтедобывающие платформы или газодобывающие платформы, или судов, таких как буровые суда, рабочие суда или ледоколы, предназначенных для эксплуатации в ледовитых акваториях.

10. Устройство для дистанционного измерения толщины льда, с использованием подвижного объекта, отличающееся тем, что включает модульный корпус, который 40 имеет возможность подвешивания на подвижном объекте, причем модульный корпус сконфигурирован таким образом, чтобы минимизировать влияние электромагнитной индукции, причем устройство содержит электромагнитный индукционный измерительный блок, расположенный внутри модульного корпуса, причем электромагнитный индукционный измерительный блок используется для дистанционного 45 измерения кажущейся толщины льда, включающей в себя толщину снежного покрова на поверхности льда; СВЧ-измеритель толщины льда, расположенный внутри модульного корпуса, причем с помощью СВЧ-излучения осуществляет дистанционное измерение толщины снежного покрова на поверхности льда; и вычислительный блок,

который на основе кажущейся толщины льда, измеренной с помощью указанного электромагнитного индукционного измерительного блока, и толщины снежного покрова, измеренной с помощью указанного СВЧ-измерителя, вычисляет истинную толщину льда.

5 11. Устройство для дистанционного измерения прочности льда, отличающееся тем, что оно содержит электромагнитный индукционный измерительный блок, используемый для дистанционного измерения кажущейся толщины льда, включающей в себя толщину снежного покрова на верхней поверхности льда; СВЧ-измеритель толщины льда для  
10 дистанционного измерения толщины снежного покрова; первый вычислительный блок, который на основе кажущейся толщины льда, измеренной с помощью электромагнитного индукционного датчика, и толщины снежного покрова, измеренной с помощью СВЧ-измерителя, вычисляет истинную толщину льда; второй вычислительный блок, который на основе истинной толщины льда вычисляет прочность льда.

15 12. Устройство для дистанционного измерения прочности льда по п. 11, отличающееся тем, что оно содержит ИК-измеритель температуры, который осуществляет дистанционное измерение температуры льда; и вычислительный блок, который вычисляет прочность льда с учетом температуры льда, измеренной с помощью ИК-измерителя температуры.

20 13. Устройство для дистанционного измерения прочности льда по п. 11, отличающееся тем, что оно содержит СВЧ-измеритель солености, который осуществляет дистанционное измерение солености льда, при этом указанный второй вычислительный блок вычисляет прочность льда с учетом солености, измеренной с помощью СВЧ-измерителя солености.

25 14. Устройство для дистанционного измерения прочности льда по п. 11, отличающееся тем, что содержит лазерный сканер, осуществляющий дистанционное измерение формы льда, при этом указанный второй вычислительный блок вычисляет прочность льда с учетом формы льда, измеренной с помощью лазерного сканера.

30 15. Устройство для дистанционного измерения прочности льда по п. 14, отличающееся тем, что указанный второй вычислительный блок на основе истинной толщины льда, температуры льда, солености льда и формы льда вычисляет динамический модуль упругости и на основе этого динамического модуля упругости вычисляет в качестве прочности льда предел прочности при одноосном сжатии.

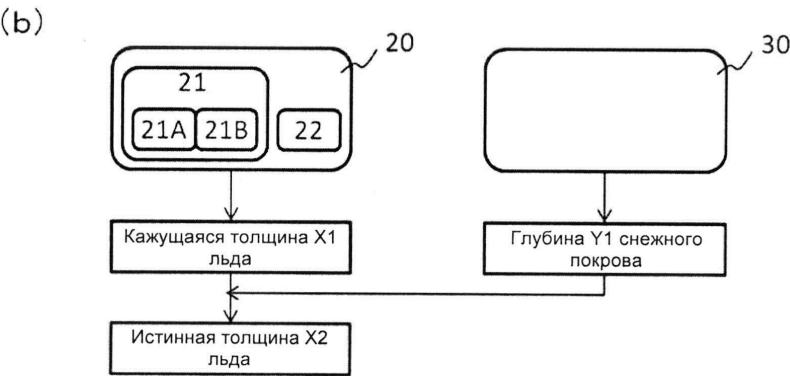
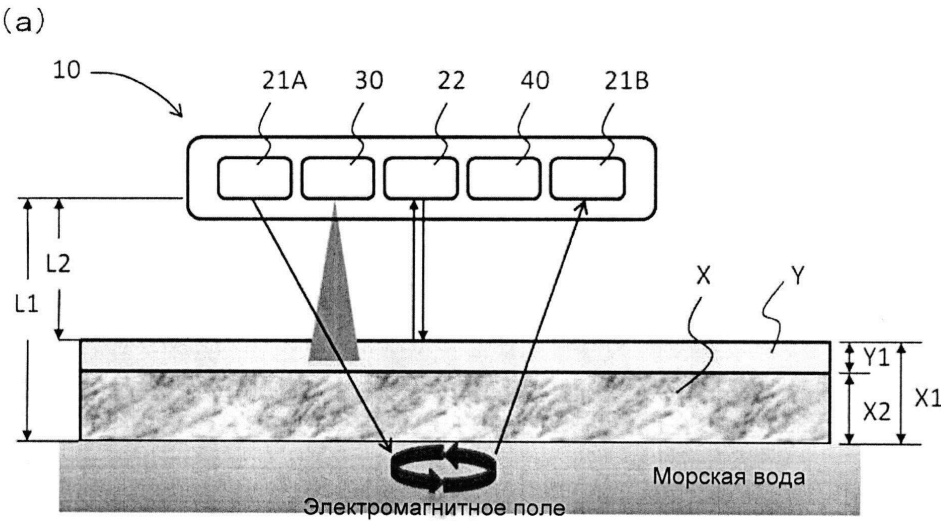
35 16. Устройство для дистанционного измерения прочности льда по п. 14, отличающееся тем, что указанный второй вычислительный блок на основе истинной толщины льда, температуры льда, солености льда и формы льда вычисляет объемную долю соленой воды и на основе этой объемной доли соленой воды вычисляет в качестве прочности льда предел прочности при изгибе.

40 17. Дистанционный измерительный модуль, отличающийся тем, что устройство для дистанционного измерения прочности льда по любому из пп. 11-16 установлено внутри модульного корпуса, и этот модульный корпус имеет возможность подвешивания на подвижном объекте.

18. Дистанционный измерительный модуль по п. 17, отличающийся тем, что внутри модульного корпуса установлены навигатор GPS и запоминающее устройство, в которое записываются результаты измерения.

45

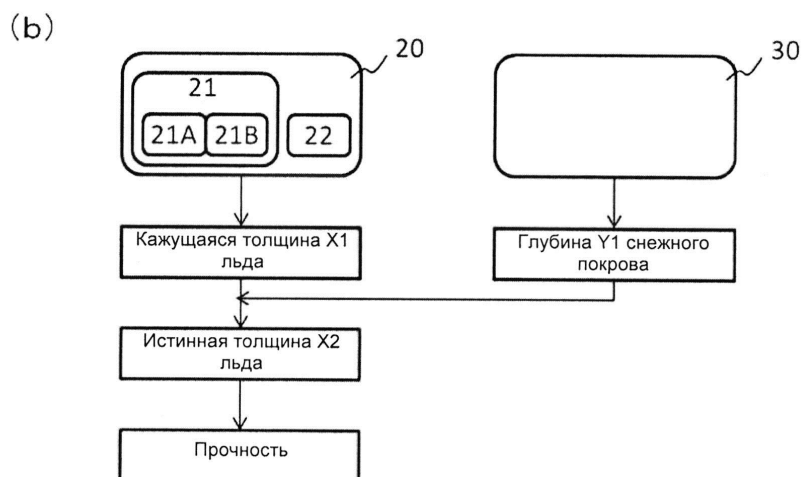
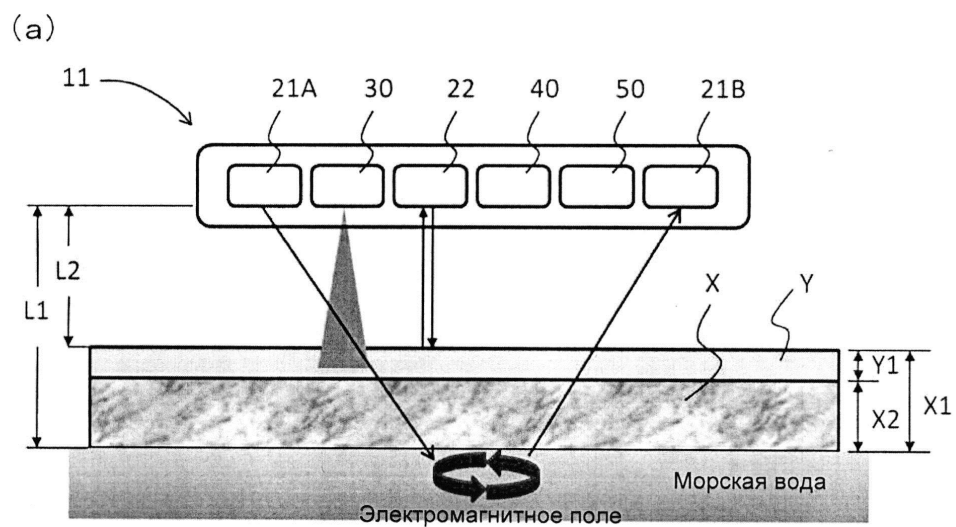
1



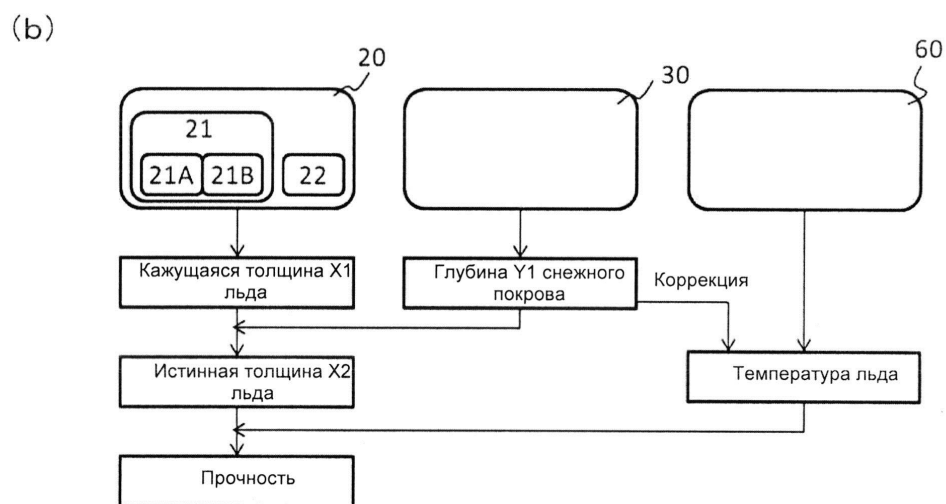
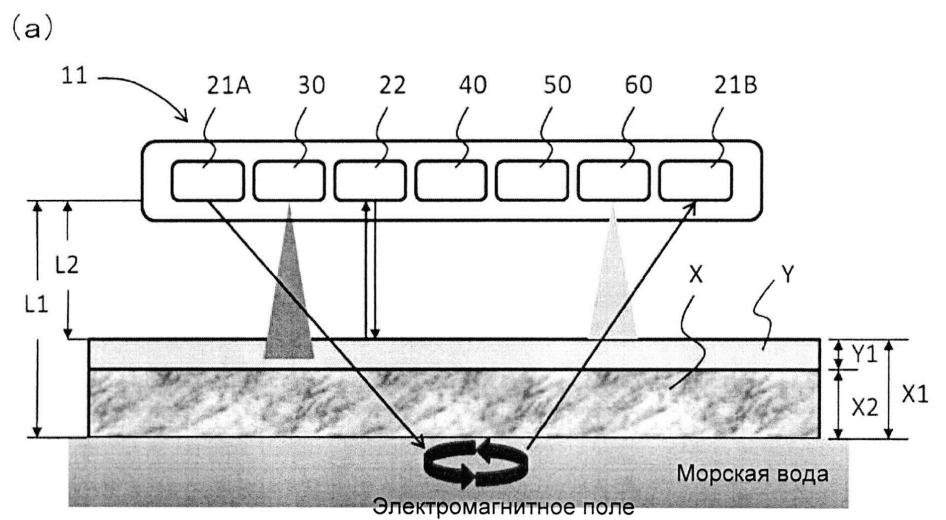
Фиг. 1

2

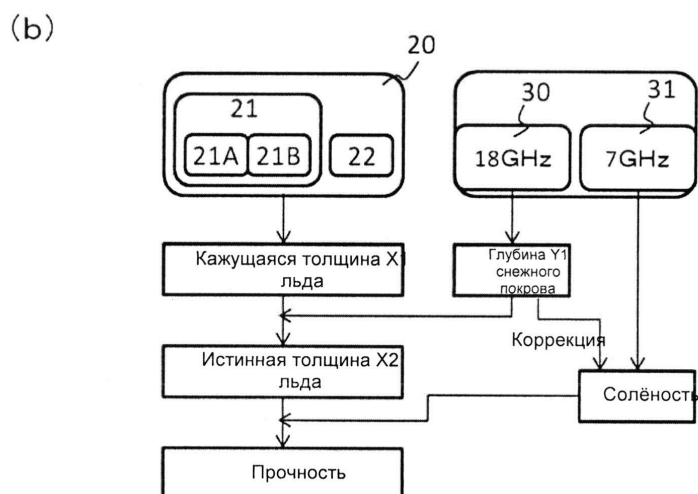
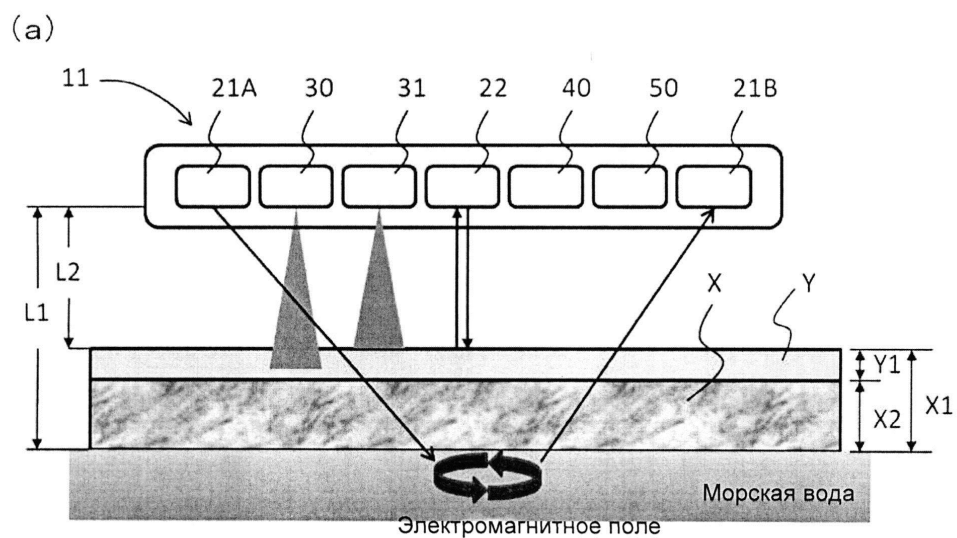




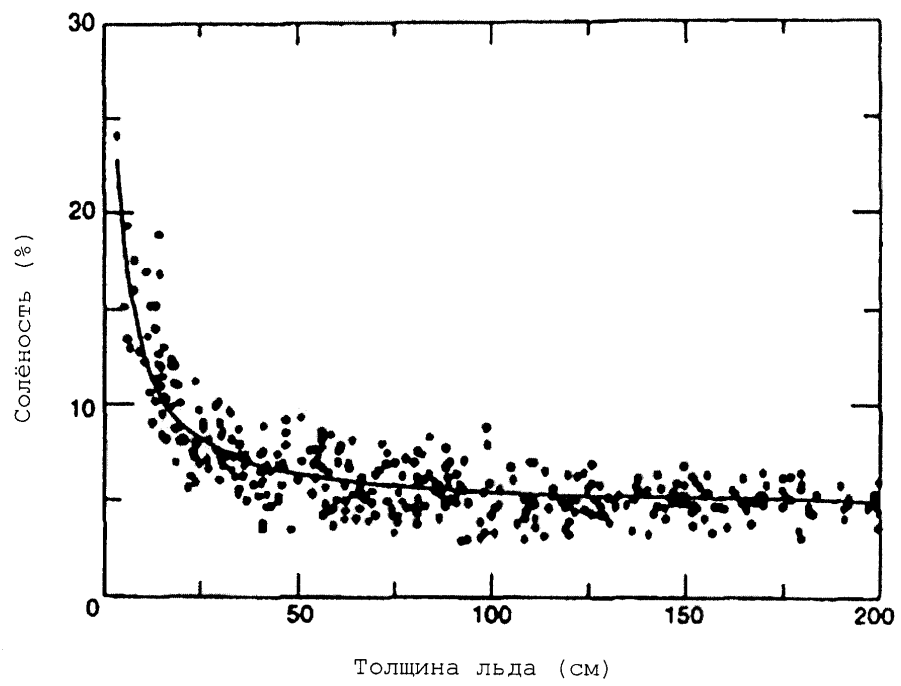
Фиг. 2



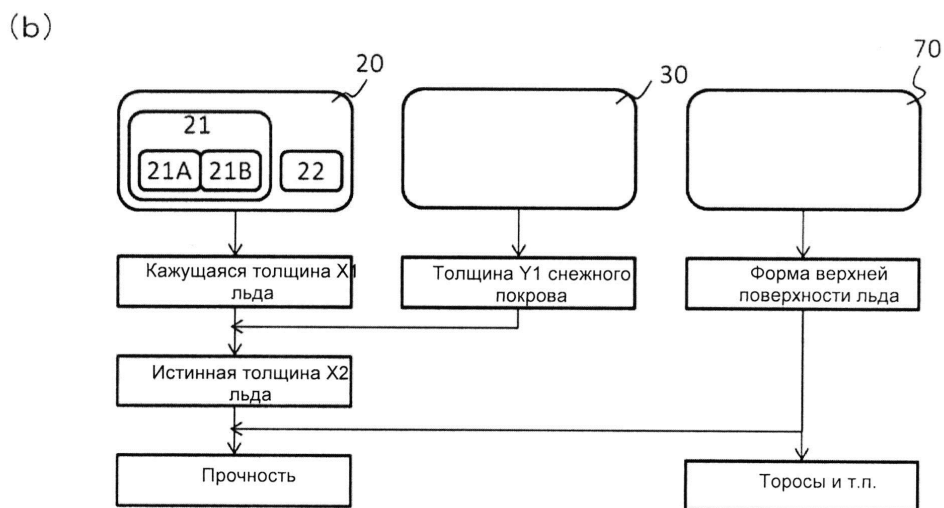
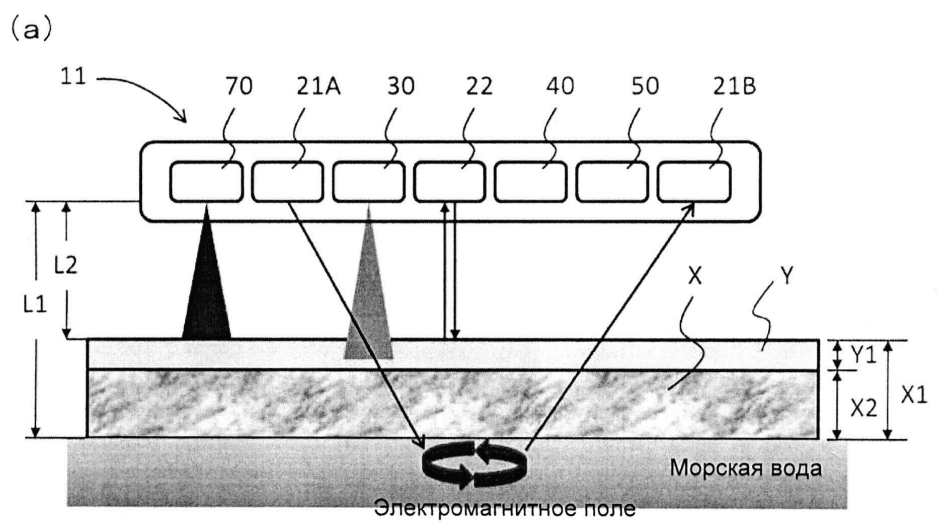
Фиг. 3



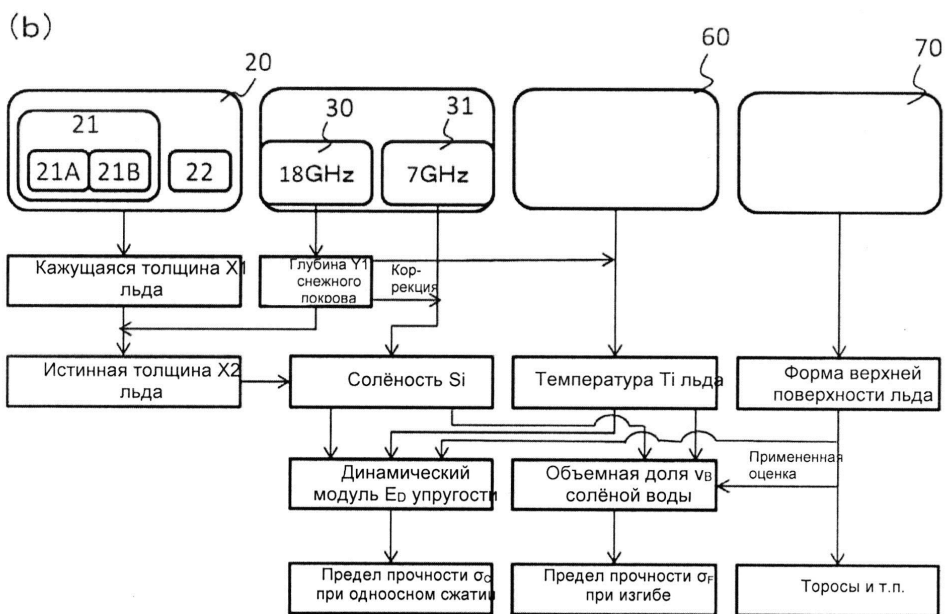
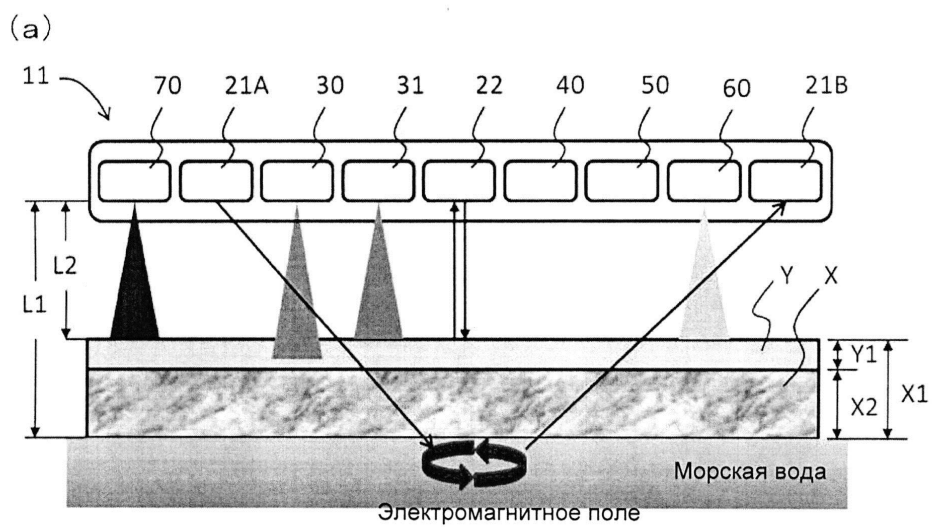
Фиг. 4



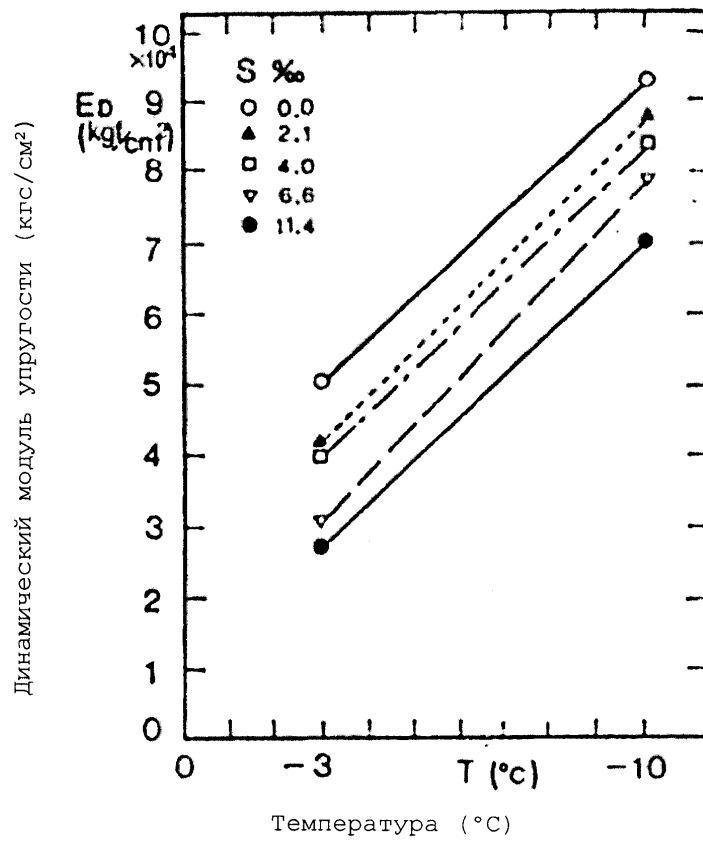
Фиг. 5



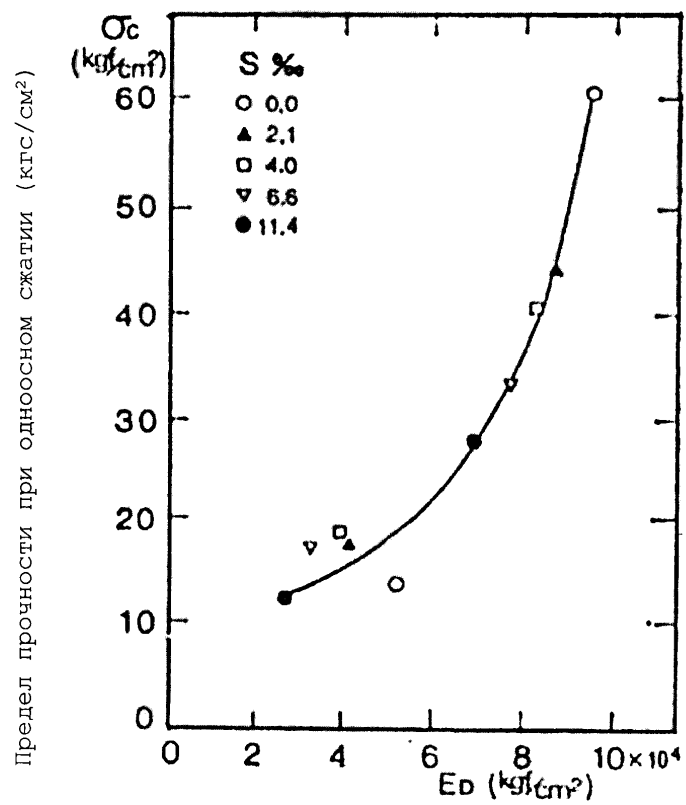
Фиг. 6



ФИГ. 7



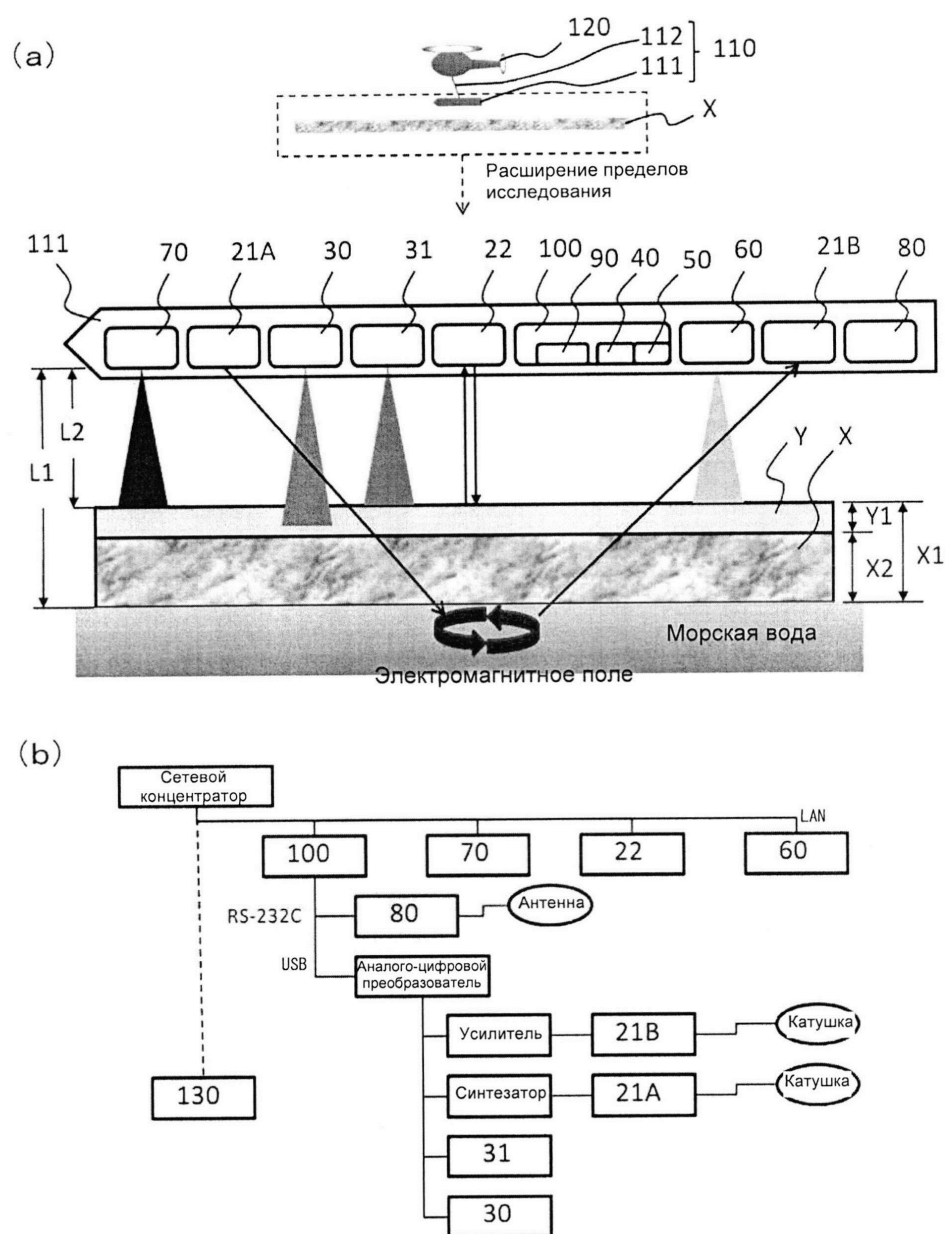
Фиг. 8



Предел прочности при одноосном сжатии  
(кгс/см<sup>2</sup>)

Фиг. 9





Фиг. 10