

# ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР  
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ  
СОБСТВЕННОСТИ

(19) ВУ (11) 6790

(13) С1

(51)<sup>7</sup> G 01V 7/02

(54)

## МАЯТНИКОВЫЙ ГРАВИМЕТР

(21) Номер заявки: а 20010465

(22) 2001.05.23

(46) 2005.03.30

(71) Заявитель: Белорусский национальный технический университет (ВУ)

(72) Автор: Джилавдари Игорь Захарович (ВУ)

(73) Патентообладатель: Белорусский национальный технический университет (ВУ)

(57)

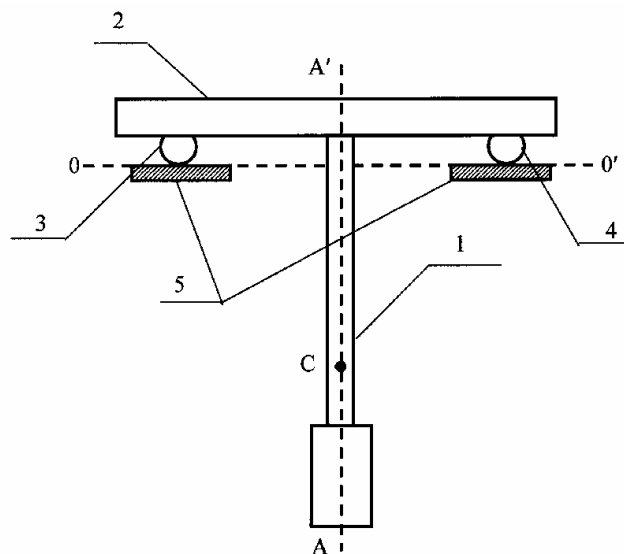
Маятниковый гравиметр, содержащий физический маятник с опорой качения, содержащей подвижную часть в виде поверхности качения и неподвижную часть в виде опорной площадки, измерители периода и амплитуды колебаний физического маятника, **отличающийся** тем, что поверхность качения выполнена в виде двух сфер, расположенных симметрично относительно прямой, проходящей через центр тяжести физического маятника и перпендикулярной мгновенной оси вращения последнего, причем мгновенная ось вращения физического маятника проходит через точки контактов сфер с опорной площадкой.

(56)

Юзефович А.П. и др. Гравиметрия. - М.: Недра, 1980. - С. 85.

US 3769840 А, 1973.

RU 2096813 С1, 1997.



Фиг. 1

ВУ 6790 С1

# ВУ 6790 С1

Изобретение относится к области измерительной техники и может быть использовано для абсолютного и относительного измерения ускорения свободного падения.

Известен маятниковый гравиметр, содержащий физический маятник, выполненный в виде груза правильной формы, подвешенного на нити [1, стр. 33; 2, стр. 144-147]. Измерение ускорения свободного падения  $g$  с помощью этого гравиметра сводится к измерению периода свободных колебаний на основании известной формулы:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}},$$

где  $l$  - приведенная длина маятника.

Этот гравиметр имеет большую погрешность вследствие деформаций длины и формы нити, возникающих в процессе колебаний, а также вследствие больших трудностей точного измерения приведенной длины. Поэтому в настоящее время этот гравиметр не используется.

Наиболее близким к предлагаемому является маятниковый гравиметр [1, гл. 2-3], содержащий физический маятник (в дальнейшем - маятник), а также системы измерения времени и амплитуды качаний маятника. В этом гравиметре нить заменена жестким стержнем, а подвес маятника осуществляется с помощью опоры качения. Эта опора содержит призму, изготовленную из очень твердого металла или минерала, чаще всего из агата [1, стр. 85, 90-91], которая опирается своим ребром (иногда ребро называют лезвием) на плоскую полированную площадку из аналогичных материалов. Угол схождения граней, образующих ребро, равен, примерно,  $60^\circ$ .

В одних конструкциях призма жестко прикреплена к маятнику (к стремени маятника), и тогда маятник опирается подвижным острым ребром призмы на неподвижную плоскую опорную площадку. В других конструкциях к маятнику (к стремени маятника) прикреплена плоская площадка, и маятник опирается этой площадкой на неподвижное острое ребро призмы. Опоры, содержащие призмы, применяются практически во всех конструкциях маятниковых гравиметров с середины XVIII века [2, стр. 145]. В идеальной опоре контакт ребра с опорной площадкой должен представлять собой геометрически идеальную прямую линию.

Основной недостаток этого маятникового гравиметра связан с конструкцией опоры. Этот недостаток состоит в следующем. Для обеспечения идеального контакта ребра призмы с опорной площадкой ребро должно быть идеально прямым, идеально острым и недеформируемым, а площадка, на которую опирается это ребро, должна быть идеально плоской и также недеформируемой. Однако этого практически невозможно добиться, поскольку эти параметры должны выдерживаться с погрешностью не более  $0,1$  мкм [1, стр.72], и всякое отклонение контакта ребра от идеального контакта оказывает непредсказуемое и неконтролируемое влияние на период колебаний маятника.

Ребро "всегда затуплено и имеет совершенно неправильную форму" [2, стр. 148], "поверхность лезвия содержит множество микронеровностей и царапин. ... По мере работы с маятником форма лезвия с течением времени претерпевает изменения, происходит разрушение, сглаживание отдельных микровыступов лезвия, наблюдаются медленные и скачкообразные изменения периода колебаний" [1, стр. 70]. "...очень трудно учесть погрешность приведенной длины маятника, вносимую сложной формой лезвия..., взаимодействием лезвия с опорой, которое приводит к деформациям как лезвия, так и площадки под действием веса маятника, их износом и силами трения. По этой причине результаты измерений не дают полной уверенности в отсутствии систематических погрешностей" [1, стр. 33].

По этим же причинам оказывается, что влияние формы ребра опорной призмы на погрешность гравиметра является индивидуальным для каждого маятника и достигает несколько милигалл [1, стр. 65]. Отметим, что погрешность маятниковых гравиметров должна быть меньше  $0,1$  мГал.

# ВУ 6790 С1

Кроме того, при данной конструкции опоры каждое опускание маятника на опору приводит к появлению дополнительной погрешности порядка одного милигалла, называемой "ошибкой арретирования" и обусловленной различным взаимодействием лезвия и площадки, [1, стр. 72].

В конечном счете, несмотря на все принимаемые меры, погрешность, вносимая системой "лезвие - площадка", существенно превышает погрешность регистрации периода колебаний.

Изготовление опоры в виде призмы, ребро которой имеет вид идеальной цилиндрической поверхности малого радиуса, представляет собой очень трудную технологическую задачу. Эта проблема осложняется тем, что длина линии контакта ребра с опорной площадкой (база опоры) должна быть достаточно большой (60÷80 мм) для того, чтобы уменьшить возможность соскальзывания призмы с опорной площадки. В наиболее точных современных маятниковых гравиметрах типа "Агат" база ограничена величиной всего 23 мм. Еще одна технологическая проблема - это обеспечение максимально возможной жесткости крепления опорной призмы или площадки к маятнику. Все это приводит к тому, например, что в тех же гравиметрах типа "Агат" "...маятники нетехнологичны в изготовлении и не ремонтоспособны вследствие неразборной (сварной) конструкции. Стремя маятника изготавливается из остродефицитного материала (агат)" [3, стр. 28].

Задачей изобретения является увеличение точности маятникового гравиметра и упрощение конструкции опоры.

Решение этой задачи обеспечивается тем, что в маятниковом гравиметре, содержащем физический маятник с опорой качения, содержащей подвижную часть в виде поверхности качения и неподвижную часть в виде опорной площадки, измерители периода и амплитуды колебаний физического маятника, поверхность качения выполнена в виде двух сфер, расположенных симметрично относительно прямой, проходящей через центр тяжести физического маятника и перпендикулярной мгновенной оси вращения последнего, причем мгновенная ось вращения физического маятника проходит через точки контактов сфер с опорной площадкой.

На фиг. 1 схематически представлен пример конструкции маятникового гравиметра с опорой, содержащей два шарика, в которой шарики жестко связаны с маятником. Измерители амплитуды и периода колебаний физического маятника не показаны.

На фиг. 2 представлен график зависимости радиуса пятна контакта от радиуса стального шарика в случае контакта шарика с плоской стальной поверхностью (все размеры даны в мм) при нагрузке, равной 2,45 Н (что соответствует массе маятника 500 г), обусловленного взаимными деформациями шарика и плоской поверхности.

На фиг. 3 представлен график зависимости сближения стального шарика и стальной плоской опорной поверхности от радиуса шарика (все размеры даны в мм) для случая, когда нагрузка равна 2,45 Н, обусловленного взаимными деформациями шарика и плоской поверхности.

Маятниковый гравиметр на фиг. 1 содержит физический маятник 1, опора которого выполнена в виде подвижной части 2, жестко скрепленной с физическим маятником 1, и двух шариков 3 и 4, жестко связанных с подвижной частью 2. Шарик 3 и 4 опираются на плоскую полированную неподвижную площадку 5 - неподвижную часть опоры. Ось  $00'$  - ось колебаний физического маятника. Шарик 3 и 4 расположены симметрично относительно перпендикуляра  $AA'$  к этой оси и проходящего через центр тяжести физического маятника  $C$ .

Физический маятник колеблется в плоскости, перпендикулярной плоскости рисунка вокруг оси  $00'$ . Процесс колебаний физического маятника с данной конструкцией опоры очевиден и не требует пояснений.

Замена ребра призмы (т.е. неправильной цилиндрической поверхности) двумя сферами позволяет:

# ВУ 6790 С1

существенно упростить конструкцию опоры. Известно, что изготовить с заданной погрешностью поверхность сферической формы гораздо легче, чем изготовить с той же погрешностью поверхность цилиндрической формы. Сферичность поверхности качения могут обеспечить простые шарики. Современная технология позволяет изготавливать шарики самых различных размеров с весьма высокой точностью формы и чистотой полировки из различных материалов, в том числе из стали и корунда. Шарики могут быть достаточно малыми. Например, диаметр стальных шариков в пишущих узлах некоторых шариковых ручек равен 0,5 мм. Это в свою очередь позволяет достигнуть минимально возможного трения в опоре;

осуществить максимально жесткое крепление поверхности качения к маятнику, поскольку шарики могут быть закреплены непосредственно на маятнике простым защемлением;

обеспечить идеальный контакт поверхности качения с плоской опорной площадкой, так как контакт сферической поверхности с плоскостью этот является практически точечным; при этом требование к геометрии опорной площадки оказывается минимальным;

реализовать опорную базу маятника практически любой длины простым выбором расстояния между сферами (шариками), чего невозможно достигнуть в прототипе, и тем самым увеличить устойчивость маятника (фиг. 1);

реализовать практически идеальную ось качаний маятника, поскольку через две точки контакта сфер с опорными площадками всегда проходит идеально прямая линия (ось  $OO'$  на фиг. 1), чего также невозможно достигнуть в прототипе. Это позволяет устранить влияние индивидуальных неконтролируемых особенностей опоры-прототипа на колебания маятника;

получить возможность рассчитать деформацию опоры под действием веса маятника, в том числе в процессе колебаний маятника, и учесть влияние этой деформации на период колебаний маятника, поскольку задача деформации сферы под действием внешней силы - это одна из задач теории упругости, которая решается строго аналитически (контактная задача Герца [4]). В качестве примера на фиг. 2 и фиг. 3 представлены результаты расчетов взаимных деформаций шарика и опорной площадки, выполненных из легированной стали. Нагрузка на шарик соответствует массе маятника, равной 500 г (250 г силы на один шарик). Провести подобные расчеты для опоры-прототипа не удастся, ввиду сложности задачи [1, стр. 70]. Это позволяет определить систематические погрешности гравиметра, обусловленные этими деформациями, и их устранить.

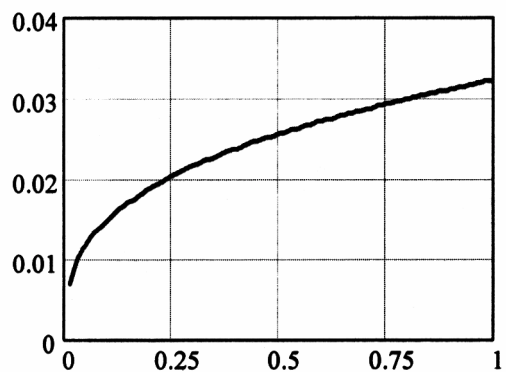
Симметричное расположение сфер относительно центра масс маятника позволяет реализовать равномерное распределение веса маятника на обе сферы.

В совокупности все перечисленные особенности предлагаемой конструкции опоры позволяют устранить указанные выше недостатки опоры-прототипа и решить поставленную задачу.

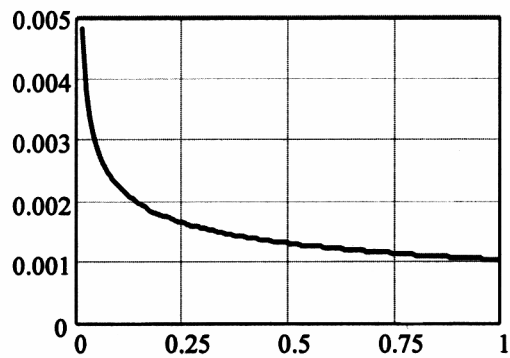
## Источники информации:

1. Юзефович А.П., Огородова Л.В. Гравиметрия. - М.: Недра, 1980.
2. Геодезия. Справочное руководство / Под общей ред. М.Д. Бонч-Бруевича. Т.1. Физическая геодезия / Под ред. И.А. Казанского. - Л.-М.: ИМКХ, 1949.
3. Разработка маятникового прибора для выполнения гравиметрических работ на шельфе и в мировом океане (заключительный отчет по НИР, гос. рег. № 79040055). - М.: ЦНИИГАиК, 1979.
4. Работнов Ю.Н. Механика деформируемого твердого тела. - М.: Наука, 1988.

# ВУ 6790 С1



Фиг. 2



Фиг. 3