



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
G01F 23/292 (2006.01); G01F 22/00 (2006.01)

(21)(22) Заявка: 2017117123, 16.05.2017

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
16.05.2017

Дата регистрации:
13.07.2018

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 16.05.2017

(45) Опубликовано: 13.07.2018 Бюл. № 20

Адрес для переписки:

634050, г. Томск, пр. Ленина, 40, ТУСУР,
патентно-информационный отдел

(72) Автор(ы):

Смирнов Геннадий Васильевич (RU),
Замятин Николай Владимирович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Томский государственный
университет систем управления и
радиоэлектроники" (ТУСУР) (RU)

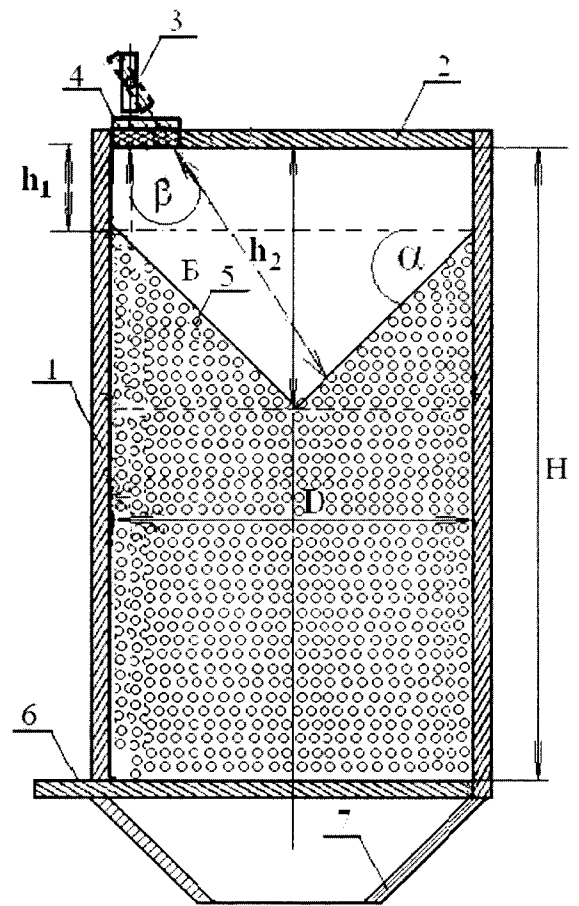
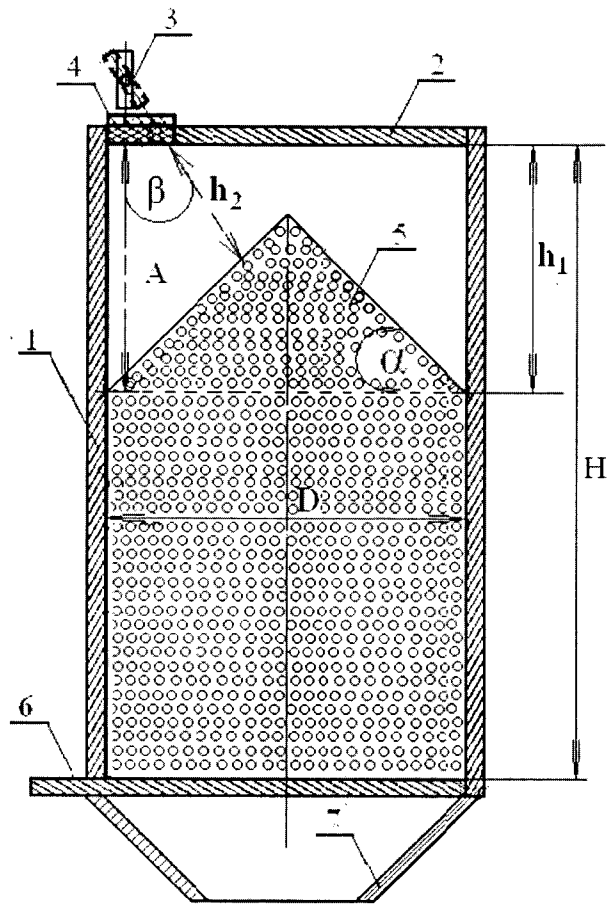
(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: US 6986294 B2, 17.01.2006. EA 20917
B1, 27.02.2015. SU 669202 A1, 25.06.1979. US
4110617 A1, 29.08.1978. CN 105674908 A,
15.06.2016. RU 156459 U1, 10.11.2015.

(54) СПОСОБ КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ В РЕЗЕРВУАРАХ

(57) Реферат:

Изобретение может быть использовано для регистрации уровня сыпучих сред в резервуарах в различных отраслях промышленности: химической, фармацевтической, пищевой, строительной и т.д. В способе измерения параметров сыпучих материалов в резервуарах с помощью оптического устройства в качестве измерительного устройства используют лазер-дальномер, который закрепляют на поворотном шарнире над оптически прозрачным элементом, выполненным в периферийной области герметически отделенной от сыпучего материала крышке резервуара и покрытым прозрачной пылеотталкивающей пленкой, при этом в процессе измерения, не открывая герметической

крышки резервуара, включают лазер-дальномер и определяют кратчайшее расстояние h_1 от крышки до линии пересечения поверхности сыпучего материала с боковой стенкой резервуара, после чего поворачивают лазер-дальномер на угол β , лежащий в диапазоне $0 < \beta \leq \alpha$, где α - угол откоса сыпучего материала, и под указанным углом β измеряют расстояние до поверхности сыпучего материала, сравнивают величины h_1 и h_2 и общий объем сыпучего вещества V_c в резервуаре и рассчитывают по соответствующей формуле. Техническим результатом является упрощение способа и повышение точности контроля. 1 ил., 2 пр.



Фиг. 1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.
G01F 23/292 (2006.01)
G01F 22/00 (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC
G01F 23/292 (2006.01); *G01F 22/00* (2006.01)

(21)(22) Application: **2017117123, 16.05.2017**

(24) Effective date for property rights:
16.05.2017

Registration date:
13.07.2018

Priority:

(22) Date of filing: **16.05.2017**

(45) Date of publication: **13.07.2018** Bull. № 20

Mail address:

634050, g. Tomsk, pr. Lenina, 40, TUSUR, patentno-informatsionnyj otdel

(72) Inventor(s):

**Smirnov Gennadij Vasilevich (RU),
Zamyatin Nikolaj Vladimirovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

Federalnoe gosudarstvennoe byudzhetnoe obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya "Tomskij gosudarstvennyj universitet sistem upravleniya i radioelektroniki" (TUSUR) (RU)

(54) **METHOD OF LOOSE MATERIAL PARAMETERS MONITORING IN TANKS**

(57) Abstract:

FIELD: measurement technology.

SUBSTANCE: invention can be used to record the loose media level in tanks in various industries: chemical, pharmaceutical, food, construction, etc. In the bulk materials in tanks parameters measuring method using the optical device, as the measuring device laser rangefinder is used, which is secured on the pivot hinge over optically transparent element formed in the hermetically isolated from the bulk material and covered with the transparent dust-repellent film tank cover peripheral region, at that, in the measurement process, without the tank hermetic cover opening, switching on the laser range finder and

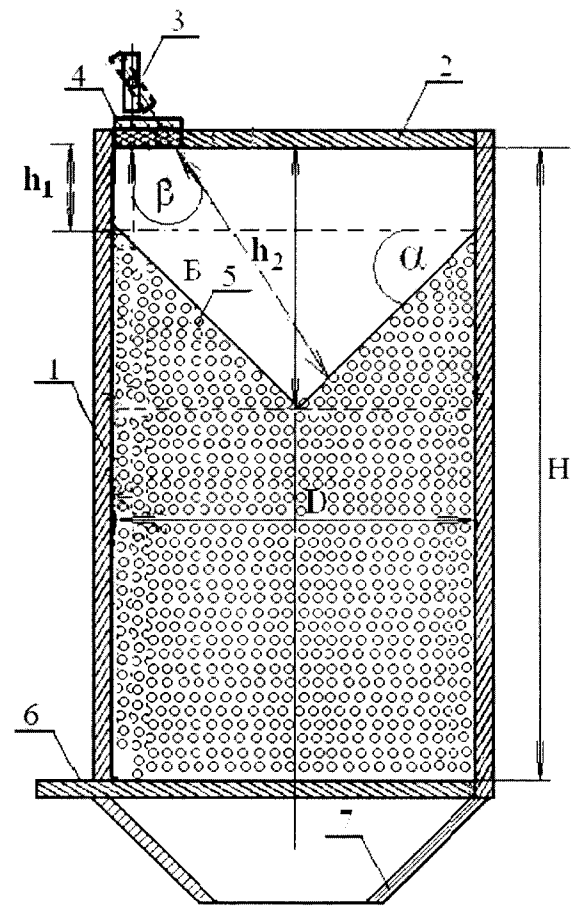
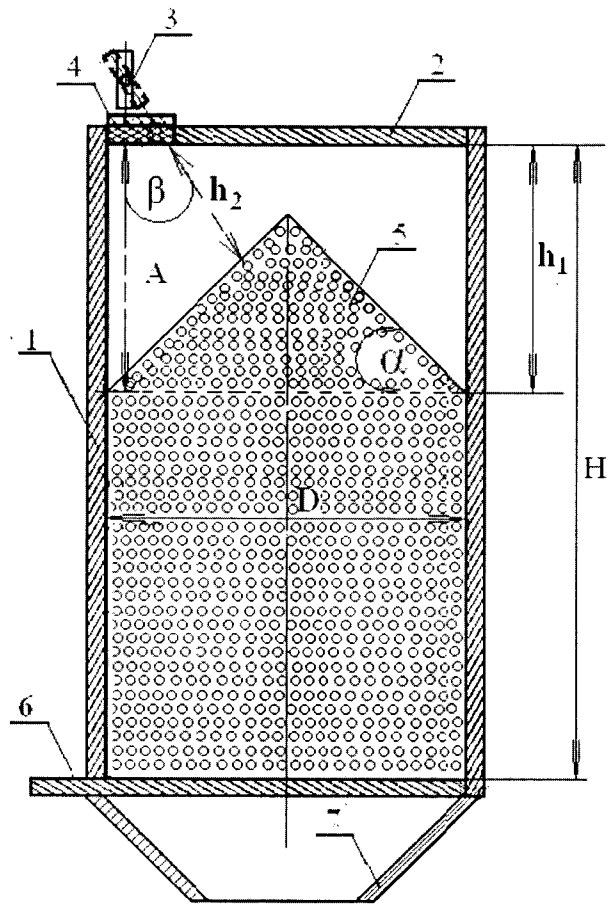
determining the shortest distance h_1 from the cover to the bulk material surface with the tank side wall intersection line, after which turning the laser rangefinder for an angle of β , lying in the range $0 < \beta \leq \alpha$, where α is the bulk material slope angle, and at the specified angle of β measuring the distance to the loose surface distance, comparing the h_1 and h_2 values and the bulk substance V_c in the tank total volume, and calculating according to the corresponding formula.

EFFECT: method simplification and increased control accuracy.

1 cl, 1 dwg, 2 ex

RU
2 661 314 C1

RU
2 661 314 C1



Фиг. 1

Изобретение относится к контрольно-измерительной технике, а именно к области электрических измерений неэлектрических величин, и может быть использовано для регистрации уровня сыпучих сред в резервуарах в различных отраслях промышленности: химической, фармацевтической, пищевой, строительной и т.д.

5 Известно большое разнообразие способов контроля параметров сыпучих материалов в резервуарах, которые, в частности, сводятся к тому, что в контролируемом резервуаре создают акустическое поле, и уровень среды оценивают по результатам обработки информации о характеристиках поля, получаемой с помощью одного или нескольких датчиков - электроакустических приемников [1÷5].

10 Недостатком этих способов являются высокие погрешности контроля из-за влияния акустических неоднородностей среды (температуры, плотности и скорости звука), а также формы и материала стенок резервуара.

Известен радиолокационный способ измерения уровня сыпучих материалов [6], включающий измерение времени распространения радиоволн, излученных в направлении
15 на поверхность среды и отраженных от нее, и вычисление по измеренному времени распространения радиоволн дальности до поверхности среды. Указанный способ не позволяет измерять уровень с достаточной точностью при наличии мешающих отражений, вызванных конструктивными особенностями резервуара с жидким материалом, так как мешающие отражения искажают форму сигнала и тем самым
20 приводят к большой ошибке в измерении времени задержки.

Известен способ измерения уровня сыпучих материалов в резервуаре, реализованный в устройстве [7], заключающийся в том, что излучают частотно-модулированный сигнал в направлении содержимого резервуара, принимают, спустя время распространения, отраженный сигнал и смешивают его с частью излучаемого сигнала для получения
25 сигнала разностной частоты (СРЧ). Фазу этого сигнала используют для измерения расстояния до поверхности контролируемой среды, при условии поддержания постоянной самой разностной частоты, путем управления периодом модуляции. При этом фаза сигнала разностной частоты при измерении расстояния будет непрерывно меняться в пределах $2\pi N + \phi$ пропорционально изменению расстояния. Здесь N - целое
30 число периодов СРЧ, содержащееся в периоде модуляции, ϕ - число, соответствующее оставшейся части периода, то есть начальная фаза СРЧ.

Таким образом, определение расстояния сводится к подсчету числа N , измерению фазы ϕ и вычислению расстояния.

Недостатком способа также является невозможность измерения уровня с заданной
35 точностью при наличии мешающих отражений, вызванных элементами конструкции резервуара, так как наличие помех сильно изменяет фазу сигнала и приводит к большой ошибке.

Наиболее близким к заявляемому изобретению является способ и устройство измерения параметров жидких и сыпучих материала в резервуарах [8]

40 Сущность способа - прототипа заключается в том, параметры жидких и сыпучих материалов в резервуаре определяют путем преобразования изображения мерного элемента в электрический сигнал с последующей его цифровой обработкой и определением уровня, при этом с помощью телекамеры получают изображение линии пересечения поверхности материала с мерным элементом в виде мерной шкалы,
45 преобразуют его в видеосигнал, после чего получают файл данных в виде матрицы пикселей, затем в нем с помощью заранее обученной нейронной сети производят поиск и распознавание ближайшего значения N отсчета первичной мерной шкалы и условной линии поверхности жидкости или сыпучего материала, подсчитывают количество

пикселей n в изображении между найденным ближайшим значением N отсчета первичной мерной шкалы и условной линией поверхности жидкости или сыпучего материала, а вычисление уровня материала H производят по формуле $H=N-k \times n$, где k - коэффициент пропорциональности.

5 Недостатком способа - прототипа является то, что он применим, в основном, для измерения уровня жидких сред. Для определения уровня сыпучих материалов, например уровня цемента, применение указанного способа затруднено из-за того, что мерная шкала, нанесенная на боковой стороне резервуара, из-за запыленности будет трудно различимой, что приводит к большим погрешностям. Кроме того, реализация способа
10 - прототипа относительно сложна из-за необходимости применения цифровой видеокамеры, нанесения на стенке резервуара цифровой шкалы, из-за необходимости создания архитектуры нейронной сети, применения в ней множества разнообразных нейронов и из-за необходимости ее обучения.

15 Технической задачей, на которую направлено изобретение, является упрощения способа и повышения точности контроля.

Поставленная техническая задача решается тем, что в способе измерения параметров сыпучих материалов в резервуарах с помощью оптического устройства, закрепленного над поверхностью измеряемого материала и герметически отделенной от него оптически прозрачным элементом, в качестве измерительного устройства используют лазер-
20 дальномер, который закрепляют на поворотном шарнире над оптически прозрачным элементом, выполненным в периферийной области герметически отделенной от сыпучего материала крышке резервуара, и покрытым прозрачной пылеотталкивающей пленкой, при этом в процессе измерения, не открывая герметической крышки резервуара, включают лазер-дальномер, и при помощи него определяют кратчайшее расстояние
25 h_1 от крышки до линии пересечения поверхностью сыпучего материала с боковой стенкой резервуара, после чего поворачивают лазер-дальномер на угол β лежащий в диапазоне $0 < \beta \leq \alpha$, где α - угол откоса сыпучего материала, и под указанным углом β измеряют расстояние h_2 до поверхности сыпучего материала, сравнивают величины
30 h_1 и h_2 , и общий объем сыпучего вещества в резервуаре и рассчитывают по приведенной ниже формуле объем сыпучего материала V_c , в которой второй член имеет знак «плюс» при выполнении $h_1 > h_2$, и знак «минус», при $h_1 < h_2$.

$$35 \quad V_c = \frac{\pi \times D^2}{4} [(H-h_1) \pm \frac{D}{6} \operatorname{tg} \alpha]$$

где H - высота резервуара, D - диаметр резервуара; α - угол откоса сыпучего материала.

На фиг. 1 изображен сыпучий материал в резервуаре, после засыпки в него порции сыпучего материала (А) и отсыпки из него порции сыпучего материала (Б).

40 На фиг. 1 введены следующие обозначения:

1 - резервуар высотой H и диаметром D ; 2 - крышка; 3 - лазер-дальномер; 4 - оптически прозрачное окно; 5 - сыпучий материал; 6 - заслонка; 7 - высыпная воронка.

Сущность изобретения заключается в следующем.

45 К сыпучим материалам можно отнести: цемент, муку, опилки, зерно, сахар, соль, крупу и т.д. Эти материалы широко используются в различных отраслях промышленности. При учете прихода и расхода сыпучего материала основным параметром является его объем. Рассмотренные же выше аналоги не позволяют определить с достаточной точностью указанный параметр. Кроме того, все они обладают сложностью при их реализации.

В предлагаемом решении определение объема сыпучего материала, можно реализовать следующим образом.

Известно, что все сыпучие материалы при их высыпании в любой резервуар в верхней части образуют некоторую нелинейную поверхность, наиболее приближенную к поверхности конуса. Эта характерная особенность сыпучих материалов явилась 5 основанием, для введения в качестве одной из основных характеристик сыпучих материалов так называемого «угла естественного откоса α » (см. фиг. 1А). Угол естественного откоса (иногда также угол внутреннего трения, угол ската) - угол, образованный свободной поверхностью сыпучего материала с горизонтальной 10 плоскостью. Иногда может быть использован термин «угол внешнего трения». Частицы материала, находящиеся на свободной поверхности насыпи, испытывают состояние критического (предельного) равновесия. Угол естественного откоса связан с коэффициентом трения и зависит от шероховатости зерен, степени их увлажнения, гранулометрического состава и формы, а также от удельного веса материала.

Обычно для измерения объема вещества в резервуаре, частью объема, находящегося под нелинейной поверхностью пренебрегают, а объема вещества рассчитывают, как 15 объем цилиндра, если резервуар цилиндрический. Так как объем сыпучего материала под нелинейной поверхностью обычно не измеряется, то это приводит к погрешности до 5-10 процентов и более в зависимости от уровня вещества в резервуаре. Поэтому 20 необходимо предложить способ для более точного измерения объема вещества, например цемента, при его дозировании для производства строительных изделий. Рассмотрим, как это можно реализовать.

Наиболее часто для загрузки сыпучего материала используют резервуар 1, выполненный в виде цилиндра (см. фиг. 1).

Резервуар 1 обычно закрывается герметичной крышкой 2, для того чтобы 25 предотвратить попадания в сыпучий материал влаги, пыли или иных инородных включений. Если в центральной части на крышке 1, разместить лазер-дальномер 3 над герметичным оптически прозрачным окном 4, на шарнире то при помощи лазера дальномера можно определить расстояние h_1 от крышки до поверхности сыпучего 30 материала и повернув лазер дальномер на угол β , лежащий в диапазоне $0 < \beta < \alpha$, где α - угол откоса сыпучего материала, и под указанным углом β измерить расстояние h_2 до поверхности сыпучего расстояния, сравнить величины h_1 и h_2 то общий объем V_c сыпучего вещества в резервуаре можно рассчитать по приведенной ниже формуле, в 35 которой второй член имеет знак «плюс» при выполнении $h_2 < h_1$, и знак «минус», при $h_1 < h_2$.

$$V_c = \frac{\pi \times D^2}{4} \left[(H - h_1) \pm \frac{D}{6} \operatorname{tg} \alpha \right]$$

где H - высота резервуара, D - диаметр резервуара; α - угол откоса сыпучего материала 40 При помощи же лазера - дальномера 3, расположенного над герметичным оптически прозрачным окном 4, определяют расстояния h_1 до точки, лежащей в месте пересечения поверхности резервуара с поверхностью сыпучего материала 5. Затем поворачивают лазер-дальномер, закрепленный на шарнире, на некоторый угол β лежащий в диапазоне 45 $0 < \beta < \alpha$, и измеряют под этим углом расстояние h_2 от крышки 1 до точки, лежащей на конической поверхности сыпучего материала.

В процессе работы с сыпучим материалом могут быть реализованы два варианта.

Первый вариант возникает при засыпке сыпучего материала в резервуар. При этом

в верхней части сыпучего материала образуется горка, в форме круглого конуса, вершина которого направлена вверх (фиг. 1А). Второй вариант реализуется при высыпании некоторого объема сыпучего материала 5 из резервуара 1. При этом на поверхности сыпучего материала образуется коническая воронка, с вершиной направленной в низ (фиг. 1Б).

Рассмотрим как по результатам измерения h_1 и h_2 при знании внутренних габаритов цилиндрического резервуара (его высоты H и диаметра D) можно определить объем сыпучего материала в резервуаре.

Сыпучий материал 5 обычно отделяется от насыпной воронки 7 при помощи заслонки 6.

Объем сыпучего материала V_1 , заключенный между дном (заслонкой 6) резервуара 1 и линией пересечения поверхности сыпучего материала 5 с поверхностью резервуара 1 имеет цилиндрическую форму и его можно определить по формуле

$$V_1 = (H - h_1) \times \frac{\pi \times D^2}{4} \quad (1)$$

Объем V_2 сыпучего материала, находящейся в конической части сыпучего материала равен

$$V_2 = \pm \frac{D}{6} \operatorname{tg} \alpha \frac{\pi \times D^2}{4} \quad (2).$$

Объем сыпучего материала в резервуаре V_c равен

$$V_c = V_1 \pm V_2 \quad (3)$$

В выражении (3) перед объемом V_2 знак (+) ставится в случае, если реализован первый вариант $h_1 > h_2$ (фиг. 1А). Знак (-) ставится, когда реализован второй вариант $h_1 < h_2$ (фиг. 1Б).

Подставим в выражение (3) выражения (1) и (2), получим

$$V_c = \frac{\pi \times D^2}{4} \left[(H - h_1) \pm \frac{D}{6} \operatorname{tg} \alpha \right] \quad (4)$$

Выбор диапазона изменения угла β обусловлен следующими обстоятельствами.

Если лазер дальномер повернуть на угол α , то при попадании луча на коническую поверхность сыпучего материала, угол между лучом лазера и поверхностью сыпучего материала будет составлять 90° . При этом, если конус имеет выпуклую поверхность (фиг. 1А) расстояние h_1 в образованном треугольнике будет являться гипотенузой, а расстояние h_2 - катетом. При этом если угол поворота лазера-дальномера устанавливать меньшим, чем угол α , то в случае выпуклой поверхности (фиг. 1А) расстояние h_1 всегда будет больше h_2 , т.е. всегда будет выполняться неравенство $h_1 > h_2$. При равенстве угла $\beta = 0$ выполняется равенство $h_1 = h_2$, и сделать какое-либо заключение о поверхности сыпучего материала (имеет ли она форму выпуклого или вдавленного конуса) не представляется возможным. Поэтому угол β всегда должен быть больше 0. Увеличивать угол наклона β за величину α , т.е. наклонять лазер-дальномер на угол $\beta > \alpha$ не имеет смысла, так как луч лазера в том случае может выйти за поверхность сыпучего материала и возникнет неопределенность в определении знака второго члена уравнения (4). Если поверхность сыпучего материала имеет форму конической впадины (фиг. 1Б), то при изменении угла β в диапазоне $0 < \beta \leq \alpha$, всегда будет выполняться неравенство

$h_1 > h_2$.

Таким образом, объем сыпучего материала в резервуаре можно определить по формуле (4)

Формула (4) учитывает оба варианта. В случае первого варианта (фиг. 1А) выполняется неравенство $h_1 > h_2$, и V_2 имеет знак «+». В случае второго варианта (фиг. 1Б) выполняется неравенство $h_1 < h_2$, и V_2 имеет знак «-».

Пример конкретного выполнения 1.

В цилиндрический бункер 1 высотой $H=4$ метра и диаметром $D=1,8$ метра был засыпан цемент с заранее измеренным объемом, равным $8,9 \text{ м}^3$ (см. фиг. 1А). Естественный угол откоса цемента α лежит в диапазоне $(40-50)^\circ$. Средняя величина угла откоса цемента α равна 45°

В периферийной части крышки имелось герметичное оптическое окно 4, выполненные из кварцевого оптического стекла, толщиной 10 мм. С внутренней стороны оптическое окно 4 было покрыто прозрачной пылеотталкивающей лаковой пленкой из POLISTAR P 8670 [9].

С наружной стороны окна 4 был установлен на шарнире лазерный - дальномер 3 фирмы SICK марки DT50.

После засыпки в резервуар 1 цемента 5, закрывали крышку 1 и включали лазер-дальномер 3. При помощи лазера - дальномера 3 определяли величину h_1 . Она оказалась равной $h_1=0,8$ м. С помощью лазера-дальномера 3 измеряли величину h_2 , она оказалась равна $h_2=0,5$ м. Объем сыпучего материала в резервуаре определяли по формуле (4). Так как $h_1 > h_2$, то второй член вы выражении (4) нужно было взять со знаком «+». По результатам измерения был вычислен объем по формуле (4)

$$V_c = \frac{\pi \times D^2}{4} [(H-h_1) \pm \frac{D}{6} \text{tg}\alpha] = 3,14 \times (1,8^2/4)[(4-0,8)+0,3] = 2,5434(3,2+0,3) = 8,9019 \text{ м}^3$$

По способу-прототипу при указанных выше параметрах резервуара измеренная величина объема насыпного материала была бы равна $V_c=8,1389 \text{ м}^3$.

Относительная погрешность измерения объема цемента по заявляемому способу составила

$$\delta = \left(\frac{8,900 - 8,9019}{8,900} \right) \times 100\% = -0,021 \%$$

Относительная погрешность по способу - прототипу была бы равна

$$\delta = \left(\frac{8,900 - 8,1389}{8,900} \right) \times 100\% = 8,6 \%$$

Таким образом, погрешность измерения объема сыпучего материала по способу -прототипу имеет чем в 407 раз большую погрешность, чем по заявляемому способу. Пример конкретного выполнения 2.

Из цилиндрического бункера 1 высотой $H=4$ метра и диаметром $D=1,6$ метра, в котором был засыпан цемент с измеренным объемом, равным $9,5 \text{ м}^3$, высыпали $2,1 \text{ м}^3$.

В результате чего в резервуаре должно было остаться $7,4 \text{ м}^3$ цемента (см. фиг. 1Б).

После высыпания из резервуара 1 цемента 5 аналогичным образом, как и в примере 1 измерялись h_1 и h_2 . Они оказались равны $h_1=0,8$ м и $h_2=1,2$ м.

Так как $h_2 > h_1$, то второй член вы выражении (4) нужно было взять со знаком «-».

По результатам измерения был вычислен объем по формуле (4). По результатам измерения был вычислен объем сыпучего материала в резервуаре 1.

По способу-прототипу при указанных выше параметрах резервуара измеренная величина объема насыпного материала была бы равна $V_c=8,1389 \text{ м}^3$.

По заявляемому способу объем V_c был рассчитан по формуле (4)

$$V_c = \frac{\pi \times D^2}{4} [(H-h_1) \pm \frac{D}{6} \text{tg}\alpha] = 3,14 \times (1,8^2/4) [(4-0,8)-0,3] = 2,5434(3,2-0,3) = 7,3759 \text{ м}^3.$$

Таким образом, относительная погрешность измерения объема цемента по заявляемому способу была равна

$$\delta = \left(\frac{7,4 - 7,3759}{7,4} \right) \times 100\% = 0,33 \%$$

По способу прототипу она была равна

$$\delta = \left(\frac{7,4 - 8,1389}{7,4} \right) \times 100\% = -9,89 \%$$

Таким образом, погрешность измерения по заявляемому способу составляет не выше $(0,02 \div 0,4)\%$, тогда как измерения по способу - прототипу, по ориентировочным оценкам, она составляет не менее $(8 \div 10)\%$, что на несколько порядков хуже.

Кроме того, по сравнению со способом - прототипом заявляемый способ существенно упрощен, так как для своей реализации он не требует использования цифровой камеры, измерительной линейки и построения сложной архитектуры нейронной сети, ее обучения и множества датчиков (синапсов).

Источники информации

1. Бергман А. Ультразвук и его применение в науке и технике. ИЛ. М., 1957, с. 406.
2. Патент США N 3922914, МПК G01F 23/28. Каталог переводов описаний изобретений, М, 1988, N 5, с. 88.
3. Патент РФ N 2037144, МПК G01F 23/28. 1995. БИ №6.
4. Патент РФ N 2047844, МПК G01F 23/28, 1995. БИ №26.
5. Патент Франции N 2436372, МПК G01F 23/28.
6. Марфин В.П., Кузнецов Ф.В. СВЧ уровнемер. // Приборы и системы управления. 1979, №11. С. 28-29.
7. Патент РФ №2234717, G01S 13/34, 04.03.2003.
8. Патент РФ №2279642. Способ измерения уровня сыпучих и/или жидких материалов и устройство для его осуществления/Якимович Е.А., Замятин Н.В. – Оpubл. 10.07.2006, Бюл. №19 - (Прототип).
9. <http://vsedlvapолоv.ru/materialy/polimery-dlya-polov/smoly-nalivnye/mpm-smoly/polistar-p-8670.html>.

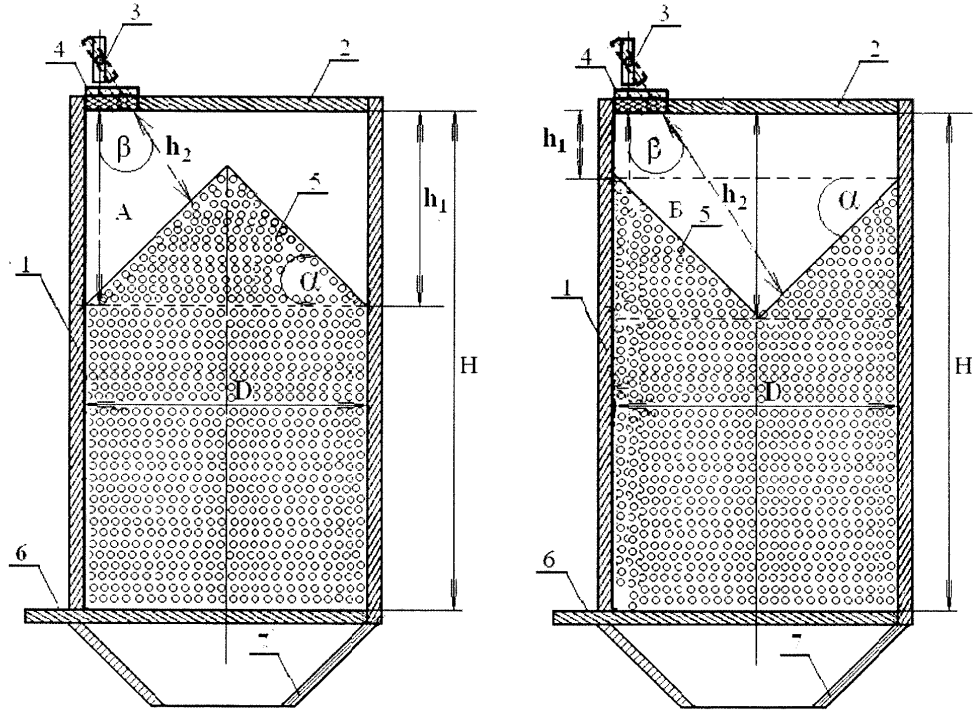
(57) Формула изобретения

Способ измерения объема сыпучих материалов в резервуарах с помощью оптического устройства, закрепленного над поверхностью измеряемого материала и герметически отделенного от него оптически прозрачным элементом, расположенным над поверхностью измеряемого материала, определения расстояния до точек поверхности измеряемого материала и использования результатов измерений для вычисления объема контролируемого материала, отличающийся тем, что в качестве оптического устройства используют лазер-дальномер, который закрепляют на поворотном шарнире над оптически прозрачным элементом, выполненным в периферийной области герметически

отделенной от сыпучего материала крышке резервуара и покрытым прозрачной пылеотталкивающей пленкой, при этом в процессе измерения, не открывая герметической крышки резервуара, включают лазер-дальномер и при помощи него определяют кратчайшее расстояние h_1 от крышки до линии пересечения поверхности сыпучего материала с боковой стенкой резервуара, после чего поворачивают лазер-дальномер на угол β , лежащий в диапазоне $0 < \beta \leq \alpha$, где α - угол откоса сыпучего материала, и под указанным углом β измеряют расстояние h_2 до поверхности сыпучего материала, сравнивают величины h_1 и h_2 и рассчитывают по приведенной ниже формуле объем сыпучего материала V_c , в которой второй член имеет знак «плюс» при выполнении $h_2 < h_1$ и знак «минус» при $h_1 > h_2$.

$$V_c = \frac{\pi \times D^2}{4} \left[(H - h_1) \pm \frac{D}{6} \operatorname{tg} \alpha \right],$$

где H - высота резервуара, D - диаметр резервуара; α - угол откоса сыпучего материала.



Фиг. 1

Авторы: Смирнов Г.В.
Замятин Н.В.