

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **035343**(13) **B1**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента
2020.05.29

(21) Номер заявки
201700618

(22) Дата подачи заявки
2017.11.13

(51) Int. Cl. **G01F 22/00** (2006.01)
G01B 11/24 (2006.01)
G06T 7/00 (2017.01)

(54) СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЪЕМА ЗЕРНА В ЗЕРНОХРАНИЛИЩАХ НА ОСНОВЕ БЕСКОНТАКТНЫХ 3D-ИЗМЕРЕНИЙ

(31) **2017/0587.1**

(32) **2017.07.12**

(33) **KZ**

(43) **2019.01.31**

(96) **KZ2017/079 (KZ) 2017.11.13**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
**КОШЕКОВ КАЙРАТ
ТЕМИРБАЕВИЧ (KZ)**

(56) CN-A-106097318
CN-A-103307980
CN-A-105931238
US-A1-20130144565

(72) Изобретатель:
**Кошекoв Кайрат Темирбаевич,
Астапенко Наталья Владимировна,
Демьяненко Александр Валентинович
(KZ)**

(57) Изобретение относится к сельскому хозяйству, а именно к обеспечению количественно-качественной сохранности зерна. Задача, на решение которой направлено заявляемое изобретение, заключается в том, что оно позволяет осуществлять ежедневный контроль заполнения зернохранилища, проводить анализ полученных данных, выявить возможную недостачу зерна, осуществлять контроль качества зерна. Технический результат достигается за счет использования видеокамер и набора лазерных диодов, позволяющих сформировать массив 3D точек поверхности зерна на регулярной основе. Сущность изобретения заключается в осуществлении способа измерения объема зерна в зернохранилище на основе бесконтактных 3D-измерений и получении координат точек поверхности, образующейся в зернохранилище в результате его заполнения. В качестве основного параметра при выборе видеокамеры учитывается угол обзора. Используя геометрические правила для прямоугольных треугольников, можно определить отношение между углом обзора камеры, расстоянием до поверхности и шириной области, попадающей в обзор камеры при заданном расстоянии. Внедрение данного способа позволяет осуществлять непрерывное наблюдение за процессом работы автоматизированного зернохранилища и осуществлять контроль объема зерна, что обеспечит сохранность зерна от хищения.

B1**035343****035343****B1**

Изобретение относится к сельскому хозяйству, а именно к обеспечению количественно-качественной сохранности зерна. Для обеспечения количественно-качественной сохранности зерна традиционно проводится только визуальный осмотр мест хранения зерна. Однако практика показала, что традиционные формы организации работы зернохранилищ выявляют такие глобальные проблемы как хищение зерна и сохранение качества зерна.

При определении наполненности зернохранилища необходимо учитывать некоторые особенности работы с сыпучими продуктами, такие как наличие сложной формы поверхности продукта (наличие горки, воронки, кусковые слипнувшиеся комки).

Известны два способа измерения объемов неровных тел: вычисление объема тела при помощи емкости с водой и вычисление объема тела через разбиение его на правильные геометрические фигуры (<http://u-ztes.t.ru/abstracts/idabst-ract=216487> (просмотр 22.06.2017)). Недостаток этих способов расчета в том, что первый способ очень сложно организовать с габаритными объектами, реализация же второго представляет собой сложную задачу, т.к. нельзя явно выделить правильные геометрические фигуры.

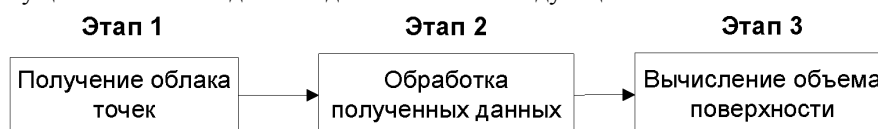
Известен способ хранения зерна (патент РК №31368. Оpubл. 2016, №8). В известном способе для контроля процесса хранения зерна в зернохранилище используют автоматизированную систему управления для определения температуры зерновой массы и при наличии местного перегрева производят изъятие его, не определяя при этом объема оставшегося качественного зерна. Недостаток известного способа в трудоемкости процесса и отсутствии показателя объема зерна после изъятия перегревшегося.

Задача, на решение которой направлено заявляемое изобретение, заключается в том, что оно позволяет осуществлять ежедневный контроль заполнения зернохранилища, проводить анализ полученных данных, выявляя возможную недостачу зерна, осуществлять контроль качества зерна.

Технический результат достигается за счет использования видеокамер и набора лазерных диодов, позволяющих сформировать массив 3D точек поверхности зерна на регулярной основе.

Сущность изобретения заключается в осуществлении способа измерения объема зерна в зернохранилище на основе бесконтактных 3D измерений и получения координат точек поверхности, образующейся в зернохранилище в результате его заполнения.

Способ осуществляется в виде последовательности следующих этапов:



В 1 этап входит аналого-цифровое преобразование данных: сканирование аналоговых оригиналов с последующей векторизацией, а также импорт готовых цифровых данных. Требуется получить данные о дальности для некоторого набора различных фрагментов, которые в совокупности содержат всю поверхность объекта. Далее происходит регистрация или совмещение карт глубин каждого фрагмента. Облако точек представляет собой набор точек поверхности, заданных тремя значениями координат x , y , z . Чем плотнее облако точек, тем точнее будет результат вычислений.

На этапе получения данных предполагается использование видеокамеры и набора лазерных диодов, позволяющих в дальнейшем получить облако точек поверхности зерна в зернохранилище. Важным условием на данном этапе является принятие решения о требованиях к видеокамере, количестве и расположении лазерных диодов.

1. Расположение видеокамеры и ее параметры (фиг. 1).

В качестве основного параметра при выборе видеокамеры учитывается угол обзора. Используя геометрические правила для прямоугольных треугольников можно определить отношение между углом обзора камеры ($УО$), расстоянием до поверхности (D) и шириной области (W), попадающей в обзор камеры при заданном расстоянии.

$$УО = 2 \cdot \arctg\left(\frac{W}{2D}\right), \text{ в радианах, или } УО = 2 \cdot \arctg\left(\frac{W}{2D}\right) \cdot \frac{180^\circ}{\pi}, \text{ в градусах.}$$

Полученное отношение позволяет принять решение о выборе и расположении камеры/камер для зернохранилища. Рассмотрим данный процесс на примере прототипа зернохранилища инновационного типа, вместимостью 200 т (фиг. 2,3).

Случай 1. Качество распознавания поверхности зерна требует попадания всей ширины зернохранилища на расстоянии минимум метра от камеры. Архитектура зернохранилища не позволяет поместить камеру в центре секции, так как там расположена загрузочная щель. Таким образом, на расстоянии $D=1$ м в обзор камеры должно попадать $W=4,5$ м, то есть $УО$ должен быть более 132° .

Использование одной широкоугольной камеры в секции наиболее простой и экономичный вариант решения, однако при полном заполнении зернохранилища образуется "слепая зона", которая в случае многократного перемешивания зерна может быть плохо прогнозируемой (фиг. 4).

Случай 2. Наилучший случай - это расположение двух камер по обе стороны от загрузочной щели (фиг. 5). Такое расположение предполагает, что на расстоянии $D=1$ м в обзор камеры должно попадать

$W=2,25$ м, то есть УО должен быть более 97° . В формате 4:3 вертикальный обзор на том же расстоянии составит немногим более метра.

В этом случае образуется слепая зона в границах ширины загрузочной щели в дальности менее метра. Данные в этой области можно восстановить, используя методы интерполяции данных.

Рассмотрим реализацию способа на примере сборно-разборного зернохранилища инновационного типа. Ранее мы определили, что необходимо зеркальное расположение двух камер относительно линии верхнего транспортера. Для полного сканирования зернохранилища требуется размещение камер с углом обзора $92,8^\circ$ на каждом метре по длине зернохранилища или на каждые два метра камеры с углом обзора 120° .

Луч лазерного диода в виде точки проектируется на поверхность зерна, расположенную в области видения камеры (фиг. 6). Луч лазерного диода параллелен оптической оси камеры. Простой алгоритм ищет на изображении яркие пиксели, так как освещенная точка является яркой на фоне более темной обстановки в силосе. Расчет расстояния до поверхности основывается на том, что чем ближе лазерная точка к центру изображения, тем дальше находится поверхность.

Как мы видим из фиг. 6, расстояние (D) может быть рассчитано по формуле:

$$D = \frac{h}{\operatorname{tg} \lambda}.$$

То есть необходимо точно знать h - фиксированное расстояние между лазерным диодом и камерой. Знаменатель рассчитывается так:

$$\lambda = \operatorname{pfc} \cdot \operatorname{rpc} + \operatorname{ro}$$

где pfc - номер светлого пикселя от центра изображения, rpc - радиан на пиксель, ro - компенсация.

$$\text{Таким образом: } D = \frac{h}{\operatorname{tg}(\operatorname{pfc} \cdot \operatorname{rpc} + \operatorname{ro})}$$

Количество пикселей от центра изображения до центра яркой точки может быть просто рассчитано с картинки. Для получения других параметров необходимо выполнить калибровку. Для калибровки системы собираем серию измерений, где нам известна дальность до цели, а также количество пикселей центра изображения до точки, освещенной лучем лазерного диода.

Видеокамера крепится к потолку зернохранилища таким образом, чтобы линия обзора была направлена перпендикулярно поверхности крепления. Направление лазерных диодов - параллельно линии обзора видеокамеры. Расстояния между диодами устанавливаются так, что точки их лучей будут представлять собой узлы регулярной сетки. Условная схема размещения блока лазерных диодов относительно одной видеокамеры представлена на фиг. 7.

Рекомендуемое нами расстояние между лазерными диодами - 0,2 м. Количество лазеров определяется в соответствии с шириной обзора камеры на расстоянии метра. Итак, получаем M точек по вертикали и N точек по горизонтали. Расстояния от каждого лазерного диода до камеры статичны, их храним в двумерном массиве H .

Алгоритм получения координат точек поверхности для одной камеры.

Шаг 1. Определяем количество точек на изображении $M' \times N'$.

Шаг 2. Если количество точек на изображении равно $M \times N$, то устанавливаем координаты для каждой точки, начиная с левого верхнего угла:

$$\begin{aligned} &X_{11} (0;0), X_{12} (0;0,2), X_{13} (0;0,4), \dots, X_{1N} (0; N \times 0,2-1) \\ &X_{21} (0,2;0), X_{22} (0,2;0,2), X_{23} (0,2;0,4), \dots, X_{2N} (0,2; N \times 0,2-1) \\ &X_{31} (0,4;0), X_{32} (0,4;0,2), X_{33} (0,4;0,4), \dots, X_{3N} (0,4; N \times 0,2-1) \\ &\dots\dots\dots \\ &X_{M1} (M \times 0,2-1;0), X_{M2} (M \times 0,2-1;0,2), X_{M3} (M \times 0,2-1;0,4), \dots, X_{MN} (M \times 0,2-1; N \times 0,2-1) \end{aligned}$$

Иначе, если точек меньше $M \times N$, то устанавливаем координаты для каждой точки, начиная с левого верхнего угла:

$$\begin{aligned} &X_{11} ([M-M'] \times 0,2-1; [N-N'] \times 0,2-1), X_{12} ([M-M'] \times 0,2-1; [N-N'] \times 0,2-1+0,2), X_{13} ([M-M'] \\ &\times 0,2-1; [N-N'] \times 0,2-1+0,4), \dots, X_{1N'} ([M-M'] \times 0,2-1; [N-N'] \times 0,2-1+N' \times 0,2-1) \\ &X_{21} ([M-M'] \times 0,2-1+0,2; [N-N'] \times 0,2-1), X_{22} ([M-M'] \times 0,2-1+0,2; [N-N'] \times 0,2-1+0,2), X_{23} \\ &([M-M'] \times 0,2-1+0,2; [N-N'] \times 0,2-1+0,4), \dots, X_{2N'} ([M-M'] \times 0,2-1+0,2; [N-N'] \times 0,2-1+N' \times 0,2-1) \\ &X_{31} ([M-M'] \times 0,2-1+0,4; [N-N'] \times 0,2-1), X_{32} ([M-M'] \times 0,2-1+0,4; [N-N'] \times 0,2-1+0,2), X_{33} \\ &([M-M'] \times 0,2-1+0,4; [N-N'] \times 0,2-1+0,4), \dots, X_{3N'} ([M-M'] \times 0,2-1+0,4; [N-N'] \times 0,2-1+N' \times 0,2-1) \\ &\dots\dots\dots \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &X_{M'1} ([M-M'] \times 0,2-1+ M' \times 0,2-1; [N-N'] \times 0,2-1), X_{M'2} ([M-M'] \times 0,2-1+M' \times 0,2-1; [N-N'] \\ &\times 0,2-1+0,2), X_{M'3} ([M-M'] \times 0,2-1+ M' \times 0,2-1; [N-N'] \times 0,2-1+0,4), \dots, X_{M'N'} ([M-M'] \times 0,2-1+ \\ &M' \times 0,2-1; [N-N'] \times 0,2-1+N' \times 0,2-1) \end{aligned}$$

Шаг 3. Для каждой точки определяем расстояние

$$D = \frac{h_{ij}}{\operatorname{tg}(pfc \cdot r_{pc} + r_o)}$$

по методу, описанному выше, h_{ij} - расстояние между лазерным диодом и камерой из массива Н.

Предложенный алгоритм позволяет сформировать массив 3D точек поверхности зерна на регулярной сетке.

2. Способ получения 3D измерений полной поверхности зерна, образованной при заполнении зернохранилища.

Для получения 3D измерений полной поверхности зерна в зернохранилище размещают набор видеокамер с комплектом лазерных диодов для каждой на одном реле. Количество диодов для камеры и общее количество таких комплектов с камерой зависит от технических характеристик конкретной выбранной модели.

Например, для зернохранилища инновационного типа (фиг. 2, 3) в соответствии с расчетами, предложенными выше, требуется 18 комплектов "камера+набор лазерных диодов", где камера с горизонтальным углом обзора 120° и вертикальным 90° , количество лазерных диодов в комплекте составляет 10 по горизонтали и 10 по вертикали.

Расположение и индексация комплектов "камера+набор лазерных диодов", прикрепленных к потолку опытного зернохранилища, представлены на фиг. 8. Ориентация всех камер одинакова и выставлена таким образом, что левый нижний угол фиг. 8 является верхним левым углом для камеры 11.

Получение изображений выполняется последовательно. Активируется комплект лазерных диодов и фиксируется изображение с камеры комплекта, далее активируется комплект и фиксируется изображение с его камеры и так далее. При формировании 3d измерений необходимо только будет учитывать фиксированный сдвиг по вертикали и горизонтали для каждого комплекта. Для точек, полученных от лучей лазерных диодов, закрепленных на потолочных скатах, рассчитывая расстояние до поверхности необходимо вычесть компенсацию по сдвигу лазерного диода относительно поверхности закрепления камеры.

В результате выполнения описанной процедуры получаем упорядоченное облако точек с тремя координатами (X, Y, Z), где X - координата по горизонтали относительно верхнего левого угла комплекта₁₁, Y - координата по вертикали относительно верхнего левого угла комплекта₁₁, Z - расстояние до поверхности зерна.

Далее происходит регистрация или совмещение карт глубин каждого фрагмента. Если облако точек не упорядочено, необходимо привести его к упорядоченности. В зависимости от метода сбора исходные данные представляются либо в виде модели DEN, либо в виде модели TIN.

Модель DEM (Digital Elevation Model) (фиг. 9) более популярна и удобна для практического использования, так как представлена на регулярной сетке со сторонами, параллельными координатным осям X и Y системы местности. Это наиболее простой случай, значения точек поверхности могут располагаться в узлах регулярной сетки. Пример показан на фиг. 9 - представлен фрагмент объекта размером метр на метр, расстояние между узлами регулярной сетки 1дм.

Модель TIN (Triangulated Irregular Network), или модель по триангуляционной нерегулярной сетке, или свободная модель (фиг. 10). Построение цифровой модели рельефа с использованием модели данных TIN сводится к созданию оптимальной сети треугольников, элементы которой стремятся быть как можно ближе к равносторонним. При этом любая точка двумерного пространства обладает только одной высотой координатой.

Предлагаемый в данной работе способ получения облака точек позволяет построить модель, близкую к DEM, но тем не менее предлагаем алгоритм расчета объемов, независимый от вида полученной модели.

Традиционно при вычислении объема поверхности суммируют объемы прямых призм с треугольным основанием и высотой, соответствующей среднему арифметическому высот вершин призмы. В разрабатываемой подсистеме мониторинга важна точность вычислений, поэтому мы предлагаем рассчитать объем зерновой массы как сумму объемов прямых косоусеченных призм с треугольным основанием, вершины которых принадлежат исходному облаку точек, образующих поверхность зерна. Данное решение позволит повысить точность вычислений.

Общий процесс функционирования подсистемы мониторинга объема зерна в силосе реализован в соответствии с фиг. 11.

Исходные данные хранятся в текстовых файлах в виде значений точек в трехмерной системе координат. В том случае, когда исходное облако точек является нерегулярным, осуществляется их упорядочивание в соответствии с заданной координатной сеткой с помощью существующих методов триангуляции. В поставленной задаче точность расчетов играет немаловажную роль, поэтому вычисление объема поверхности осуществляется самым ресурсозатратным способом, путем суммирования объемов косоусеченных призм. Для уменьшения погрешности вычисления в случае разреженности облака исходных точек могут использоваться методы интерполяции.

Метод расчета объема прямой косоусеченной призмы - элементарного элемента, составляющего поверхность

Рассмотрим механизм нахождения точного объема прямой косоусеченной призмы с треугольным основанием, заданной тремя точками в трехмерном пространстве. Пусть косоусеченная призма задана точками $A(a_1, a_2, a_3)$, $B(b_1, b_2, b_3)$ и $C(c_1, c_2, c_3)$ (см. фиг. 12a). Точки $A'(a_1, a_2, 0)$, $B'(b_1, b_2, 0)$ и $C'(c_1, c_2, 0)$ являются проекциями точек A , B и C соответственно на плоскость XOY .

Рассматриваемая фигура может быть представлена как совокупность трех фигур: прямая призма с треугольным основанием и две пирамиды.

Описание метода расчета объема прямой косоусеченной призмы

Шаг 1. Сначала упорядочиваем точки таким образом, чтобы точкой A обозначалась точка с наименьшим значением координаты по оси OZ , а C обозначало точку с наибольшей координатой по оси OZ .

Шаг 2. Разбиваем исходную фигуру на прямую призму ($AB''C''A'B'C'$) и две пирамиды ($BAB''C''$ и $CAB''C''$) в соответствии с фиг. 12b.

Шаг 3. Находим объем прямой призмы $AB''C''A'B'C'$. Объем представленной прямой призмы равен площади основания, умноженной на высоту. Высота рассматриваемой прямой призмы равна a_3 . Вычисление площади основания для общего случая наиболее удобно представить с помощью векторов:

$$S_{A'B'C'} = \frac{1}{2} |\overrightarrow{A'B'} \times \overrightarrow{A'C'}| \quad (1)$$

Определяем координаты векторов:

$$\overrightarrow{A'B'}(b_1 - a_1; b_2 - a_2; 0)$$

и

$$\overrightarrow{A'C'}(c_1 - a_1; c_2 - a_2; 0)$$

Векторное произведение двух векторов:

$$\vec{a} = \{a_x; a_y; a_z\}$$

и

$$\vec{b} = \{b_x; b_y; b_z\}$$

в декартовой системе координат - это вектор, значение которого можно вычислить, используя следующие формулы (2):

i	j	k
a_x	a_y	a_z
b_x	b_y	b_z

$$\vec{a} \times \vec{b} = \begin{vmatrix} i & j & k \\ a_x & a_y & a_z \\ b_x & b_y & b_z \end{vmatrix} = i(a_y b_z - a_z b_y) - j(a_x b_z - a_z b_x) + k(a_x b_y - a_y b_x)$$

$$\vec{a} \times \vec{b} = \{a_y b_z - a_z b_y; a_z b_x - a_x b_z; a_x b_y - a_y b_x\} \quad (2)$$

Таким образом, по формуле (2) получаем:

$$\overrightarrow{A'B'} \times \overrightarrow{A'C'} = \{0; 0; (b_1 - a_1)(c_2 - a_2) - (b_2 - a_2)(c_1 - a_1)\}$$

Соответственно площадь треугольника и объем прямой призмы составят:

$$S_{A'B'C'} = \frac{1}{2} | \sqrt{((b_1 - a_1)(c_2 - a_2) - (b_2 - a_2)(c_1 - a_1))^2} | \quad (3)$$

$$V_{A'B'C'} = \frac{1}{2} \cdot a_3 \cdot | \sqrt{((b_1 - a_1)(c_2 - a_2) - (b_2 - a_2)(c_1 - a_1))^2} | \quad (4)$$

Шаг 4. Нахождение объема пирамиды $BAB''C''$ реализуем также с помощью векторов:

$$\overrightarrow{BB''}(0; 0; a_3 - b_3), \overrightarrow{BA}(a_1 - b_1; a_2 - b_2; a_3 - b_3), \overrightarrow{BC''}(c_1 - b_1; c_2 - b_2; a_3 - b_3)$$

Объем пирамиды по трем векторам определяется формулой (5):

$$V_{BAB''C''} = \frac{1}{6} | \overrightarrow{BB''} \times \overrightarrow{BA} \times \overrightarrow{BC''} | \quad (5)$$

Таким образом:

$$\begin{aligned} V_{BAB''C''} &= \frac{1}{6} | 0 + 0 + (a_3 - b_3)(a_1 - b_1)(c_2 - b_2) - (a_3 - b_3)(a_2 - b_2)(c_1 - b_1) - 0 - 0 | = \\ &= \frac{1}{6} | (a_3 - b_3)[(a_1 - b_1)(c_2 - b_2) - (a_2 - b_2)(c_1 - b_1)] | \end{aligned}$$

Шаг 5. Аналогично по формуле (5) вычислим объем пирамиды $CAB''C''$ с помощью векторов:

$$\overline{CC'}\{0;0; a_3-c_3\}, \overline{CA}\{a_1-c_1; a_2-c_2; a_3-c_3\}, \overline{CB}\{b_1-c_1; b_2-c_2; (b_3-a_3)-(c_3-a_3)\}.$$

$$V_{CABC'} = \frac{1}{6} |0 + 0 + (a_3 - c_3)(a_1 - c_1)(b_2 - c_2) - (a_3 - c_3)(b_1 - c_1)(a_2 - c_2) - 0 - 0| =$$

$$= \frac{1}{6} |(a_3 - c_3)[(a_1 - b_1)(b_2 - c_2) - (b_1 - c_1)(a_2 - c_2)]|$$

Шаг 6. Объединяем результаты, полученные на шагах 3-4. Суммируем объемы прямой призмы и двух пирамид и получаем общий объем заданной прямой косоусеченной призмы:

$$V = \frac{1}{2} \cdot a_3 \cdot \sqrt{((b_1 - a_1)(c_2 - a_2) - (b_2 - a_2)(c_1 - a_1))^2} +$$

$$+ \frac{1}{6} |(a_3 - b_3)[(a_1 - b_1)(c_2 - b_2) - (a_2 - b_2)(c_1 - b_1)]| +$$

$$+ \frac{1}{6} |(a_3 - c_3)[(a_1 - b_1)(b_2 - c_2) - (b_1 - c_1)(a_2 - c_2)]| \quad (6)$$

Полученная формула несколько "тяжеловесна", однако дает точное значение объема рассматриваемой фигуры.

Алгоритм вычисления объема по результатам 3D измерения поверхности

Объем всей зерновой массы в процессе мониторинга можно получить, обходя последовательно все исходные точки поверхности и суммируя объемы прямых косоусеченных призм, прилегающих к точке. В результате мы получим объем пустот зернохранилища, ограниченных поверхностью зерна. Алгоритм вычисления объема сырья в зернохранилище по точкам поверхности реализован следующим образом.

Шаг 1. Получение облака точек с поверхности размером $N \times M$. Обозначим количество точек как Num.

Шаг 2. Поиск min_length - минимального расстояния между точками в заданном облаке точек поверхности [14].

Шаг 3. Создание динамического двумерного массива, который является виртуальной проекцией изучаемой поверхности. Количество элементов в столбце таблицы определяется как целая часть от деления длины поверхности на минимальное расстояние между точками - $\text{int}(N/\text{min_length})$. Количество элементов в строке таблицы определяется как целая часть от деления ширины поверхности на минимальное расстояние между точками - $\text{int}(M/\text{min_length})$. Таким образом, мы эмулируем регулярную сетку с размером ячейки, соответствующей минимальному расстоянию между заданными точками.

Шаг 4. Помещаем исходные точки в ячейки, полученные на шаге 3 "регулярной сетки". Благодаря тому, что размер ячеек соответствует минимальному расстоянию между заданными точками, каждой точке единственным образом соответствует элемент массива.

Шаг 5. Незаполненные на шаге 4 элементы массива заполняем с помощью линейной интерполяции.

Шаг 6. Обходим последовательно все элементы массива, за исключением элементов последнего столбца и последней строки. Для каждого элемента массива $A[i][j]$ (где $i=[0; \text{int}(N/\text{min_length})]$ и $j=[0; \text{int}(M/\text{min_length})]$) по формуле 6 рассчитываем объем прямой косоусеченной призмы, определенный по точкам

$$A[i][j], A[i][j+1], A[i+1][j+1],$$

а также объем прямой косоусеченной призмы, определенных по точкам

$$A[i][j], A[i+1][j], A[i+1][j+1].$$

В результате получаем объем пустот, ограниченных поверхностью.

Шаг 7. Объем зерновой массы определяем как разницу объемов зернохранилища и объема пустот, рассчитанного на шаге 6.

Таким, образом, в результате работы алгоритма получаем объем сырья в зернохранилище. Описанный алгоритм реализован в экспериментальном приложении, разработанном в среде программирования Visual Studio.NET 2010.

В результате проведенных исследований был получен алгоритм расчета объема зерновой массы в зернохранилище по точкам поверхности, который не зависит от регулярности полученных точек. В процессе реализации алгоритм был оптимизирован следующим образом.

Для исключения избыточных вычислений в случае $\text{min_length} > 0$, ее значение устанавливается в 1. В этом случае в ячейке виртуальной "регулярной сетки" сохраняется только одно из значений облака, соответствующих координатам ячейки. Точность алгоритма при этом не страдает, так как разница между значениями в пределах 1 см^2 незначительна.

В алгоритме предусмотрена возможность задать размер ячейки сетки, соответствующий необходимой точности. Таким образом, исключается шаг 2 рассмотренного алгоритма, и сложность в целом уменьшается на $O(\text{Num})$.

Получение промежуточных значений можно выполнить с помощью линейной интерполяции, ин-

терполяцией полиномами Лагранжа или интерполяцией сплайнами на выбор.

После разработки приложения на базе описанного алгоритма были проведены эксперименты для расчета объема по данным пятнадцати поверхностей. Анализ результатов экспериментов показал, что отклонение значения, полученного в результате работы алгоритма, от фактического значения составляет в среднем 0,07%.

Вычисление объема и массы зерна в зернохранилище выполняется достаточно просто по остаточному принципу. На 2 этапе мы получили объем пустот в зернохранилище, таким образом, объем зерна составит разница между общим объемом зернохранилища и объемом образовавшихся пустот. Масса зерна определяется как отношение общего объема зерна к насыпной плотности соответствующего вида зерна.

По полученным в результате проведенного эксперимента данным можно сделать вывод о том, что точность вычислений тем выше, чем больше точек задействовано в вычислениях.

В целом проведенный эксперимент показал, что с помощью данного алгоритма можно рассчитать объем зерна, хранимого на зернохранилище.

Эффективное функционирование современных хранилищ различного типа предполагает решение ряда задач для обеспечения надежной сохранности сырья и оптимального использования складских площадей. Таким образом, актуальной является задача мониторинга хранящегося сырья. Некоторые трудности мониторинга возникают при хранении сыпучих габаритных объектов с неровной поверхностью.

Внедрение данного способа позволит осуществить непрерывное наблюдение за процессом работы автоматизированного зернохранилища и осуществлять контроль объема зерна, таким образом можно будет обеспечивать сохранность зерна от хищения и неправильного хранения, а результаты измерений будут способствовать формированию рекомендаций по управлению технологическими процессами.

Результаты исследования найдут применение при создании беспроводных программно-технических комплексов для других приложений, где необходимо обеспечение непрерывного контроля сложных поверхностей.

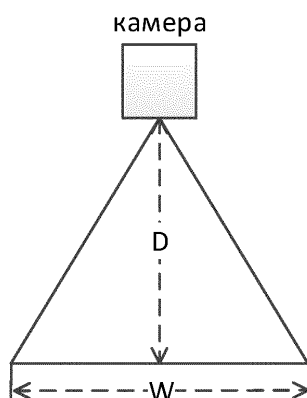
ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ определения объема зерна в зернохранилище на основе бесконтактных 3D-измерений, включающий получение облака точек, обработку полученных данных, вычисление объема зерновой массы, отличающийся тем, что для получения облака точек используют видеокамеры, прикрепленные к потолку и направленные точно вниз, и комплекты лазерных диодов, закрепленных на фиксированном расстоянии от соответствующей камеры и направленных параллельно оптической оси камеры, причем предварительно определяют количество и расположение камер и лазерных диодов для получения облака точек необходимой плотности в зернохранилище так, чтобы точки их лучей формировали на поверхности зерна узлы регулярной сетки.

2. Способ по п.1, отличающийся тем, что включение лазерных диодов и получение изображения с каждой камеры выполняют автоматически и последовательно, исключая необходимость дополнительного упорядочивания значений и экономя вычислительные ресурсы.

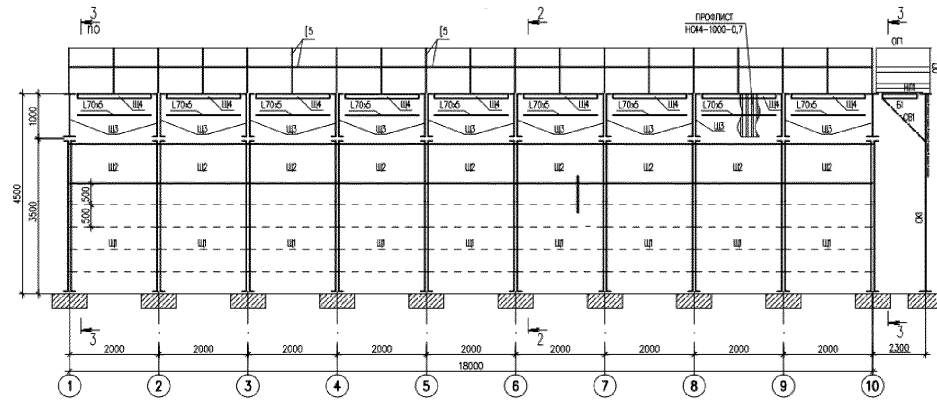
3. Способ по п.1, отличающийся тем, что для расчета объема 3D точек используется суммирование косоугольных призм с треугольным основанием.

Ширина обзора камеры при заданном расстоянии от объекта



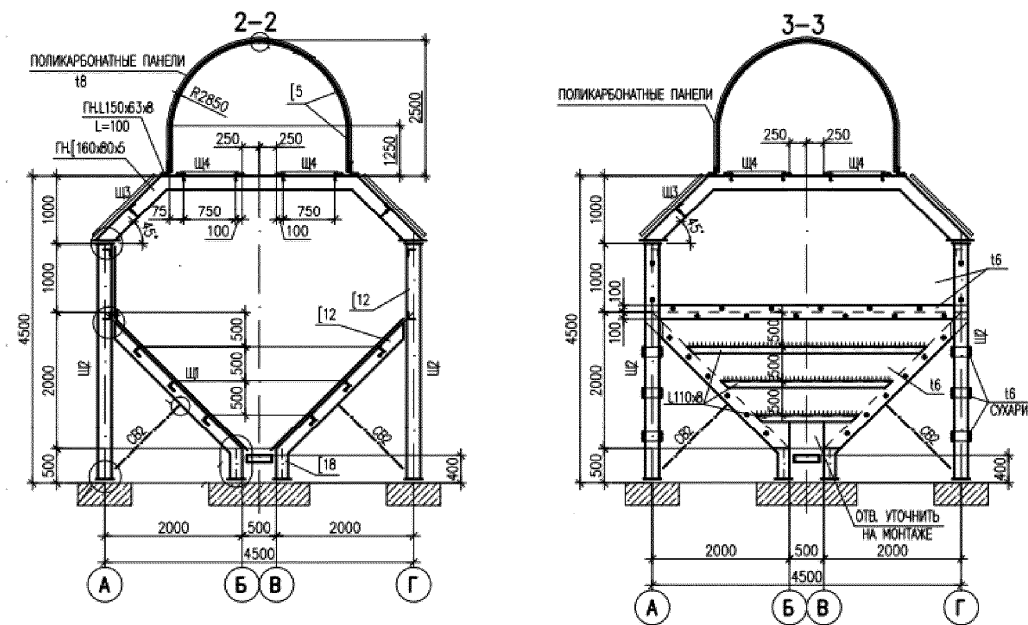
Фиг. 1

Опытное переносное зернохранилище до 200 т (главный вид)



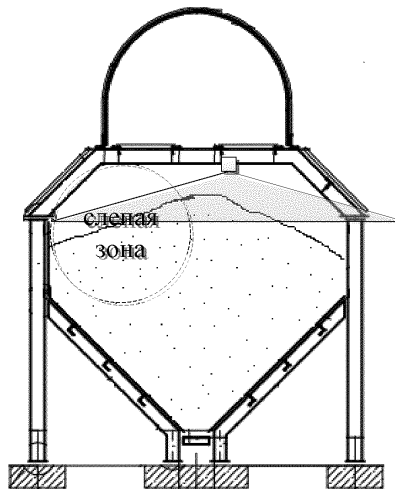
Фиг. 2

Опытное переносное зернохранилище до 200 т (сечения)



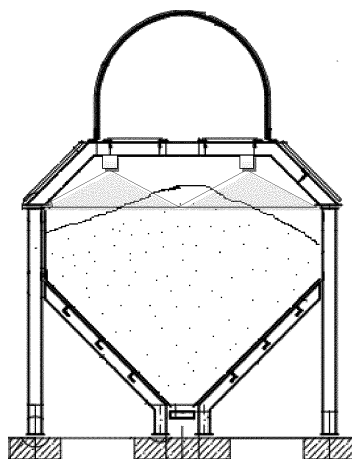
Фиг. 3

Обзор секции зернохранилища одной камерой при полном заполнении



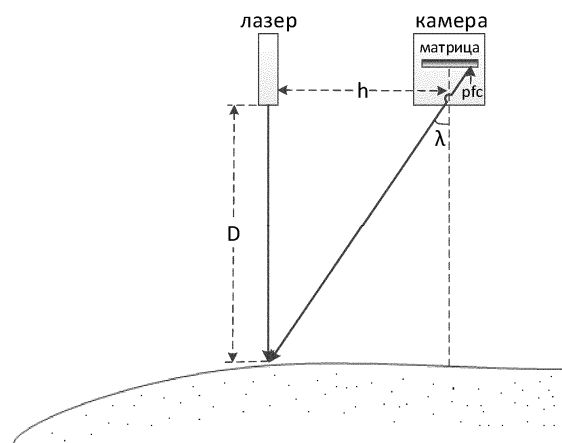
Фиг. 4

Обзор секции зернохранилища двумя камерами



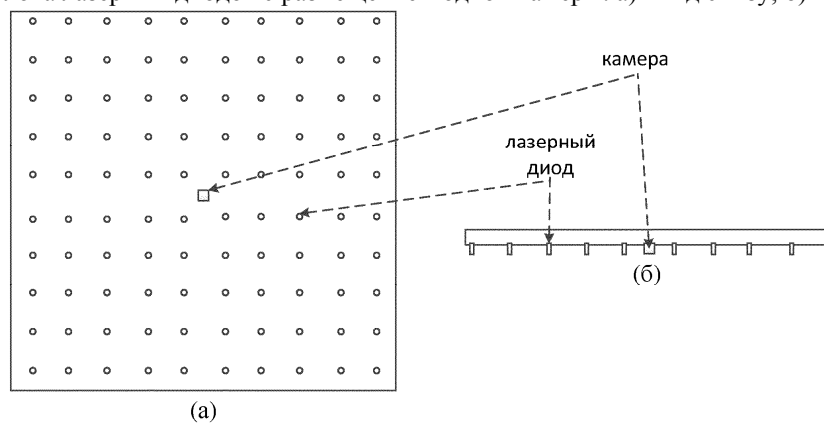
Фиг. 5

Определение расстояния от лазера до поверхности с помощью изображения на камере



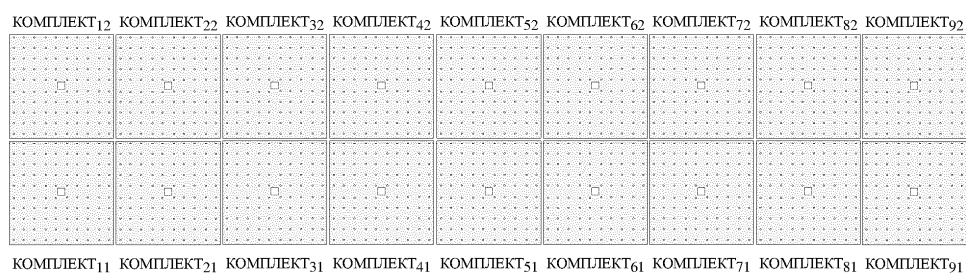
Фиг. 6

Схема блока лазерных диодов с размещением одной камеры: а) - вид снизу; б) - вид сбоку



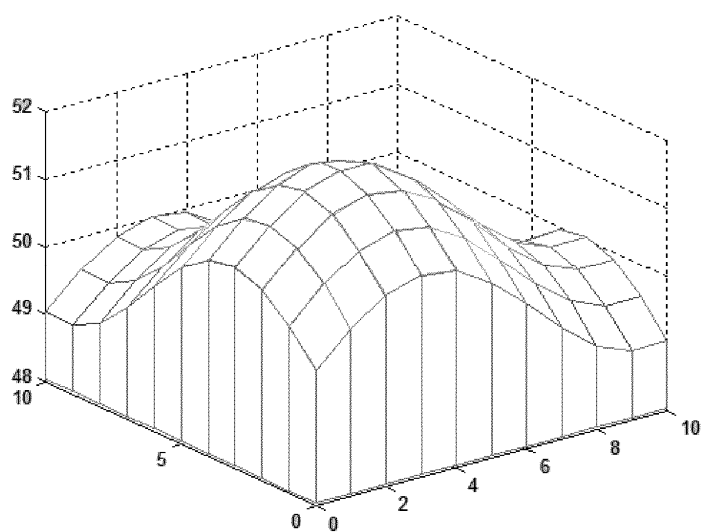
Фиг. 7

Расположение и индексация комплектов "камера+набор лазерных диодов"
в опытном образце зернохранилища



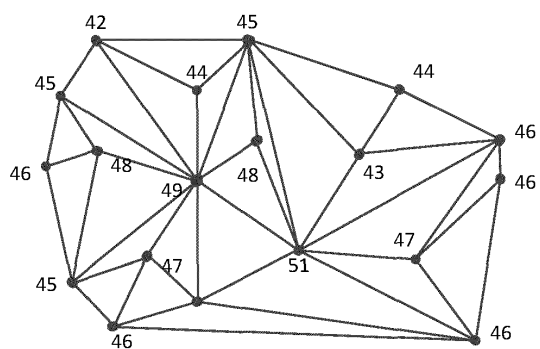
Фиг. 8

Визуализация модели DEN



Фиг. 9

Модель TIN в виде сети



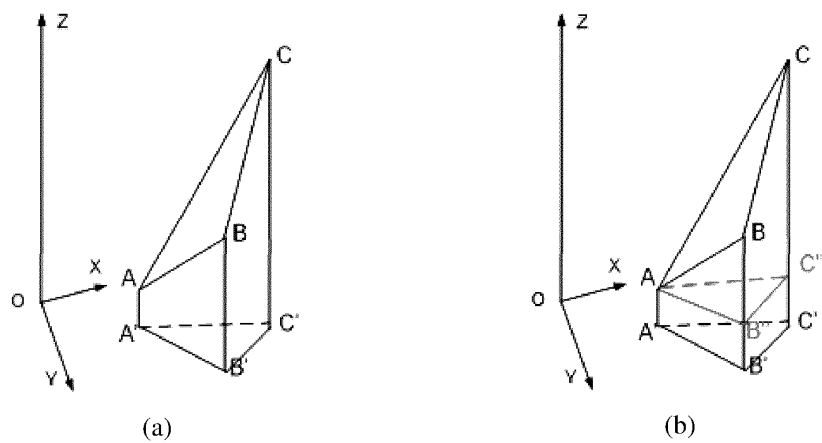
Фиг. 10

Общий алгоритм функционирования подсистемы мониторинга объема зерна в силосе



Фиг. 11

Заданная косоусеченная призма



Фиг. 12

