

# СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ ОБЪЕМА ЗЕРНА В ЗЕРНОХРАНИЛИЩАХ

В. ЛООЗЕ, А. ГАВРИЛОВ, С. БЕЛЕЦКИЙ, канд. техн. наук, ФГБУ НИИПХ Росрезерва

Существует несколько способов определения объема (натурной массы) хранящихся на предприятиях сыпучих материалов, в частности зерна. Например, в соответствии со стандартом Росрезерва «Порядок поставки, закладки, хранения и выпуска зерна государственного резерва» (СТО Росрезерва 00034482 005-2012) массу определяют методом перевешивания всего зерна, находящегося в силосах и бункерах. Этот способ длительный и энергозатратный, он снижает ресурс эксплуатируемого на элеваторах оборудования и увеличивает естественную убыль зерна. Также имеются методы измерения уровня насыпи зерна с последующим пересчетом в массу, обладающие большой погрешностью, так как не учитывают точную геометрию силосной емкости, угол естественного откоса, коэффициент слеживаемости и другие физические свойства зерна. По этой причине измерение только уровня уже не в полной мере удовлетворяет возросшим требованиям к учету количества сыпучих объектов хранения.

Применение современных методов измерений и соответствующего оборудования позволяет надежнее контролировать наличие зерна, проводя более точные замеры его объема и вычислив натурную массу. К таким методам относятся 3D-сканирование (акустическое, лазерное) и измерение объема при помощи емкостных датчиков. К устройствам для измерения объема сыпучих материалов предъявляются повышенные требования по точности показаний, так как контроль объема часто связан с управлением запасами, и в этом случае измерительные приборы напрямую подключаются к системам планирования ресурсов предприятия.

## 3D-СКАНИРОВАНИЕ

3D-сканером выполняется детальное исследование поверхности физических объектов, после чего воссоздаются их точные модели в цифровом формате. Современные 3D-сканеры могут быть стационарными или мобильными. Различают два метода объемного сканирования — контактный и бесконтактный.

**Контактный** 3D-сканер работает «на ощупь». Прибором обводят предмет, при этом специальным щупом исследуют каждую грань. Раньше на исследуемый объект наносили точки-маркеры, формирующие систему координат. На участках с большим изгибом расстояние между точками делалось минимальным, на ровных поверхностях — максимальным. Сканер снимал координаты точек и из них формировал 3D-модель. Надо отметить, что современные приборы обходятся без нанесения физической сетки и результат сканирования не зависит от условий освещения. Контактные 3D-сканеры не различают текстуру объекта, поэтому для обработки большого предмета придется достаточно потрудиться с прибором в руках.

**Бесконтактный** метод трехмерного сканирования делится на два подвида: пассивный и активный. *Пассивный* 3D-сканер — это цифровая видеокамера, которая снимает исследуемый предмет под разными углами, улавливая его силуэт (контур). Отснятый материал обрабатывается ПО и сводится в 3D-модель для печати на принтере или обработки в CAD-системах. Работает сканер только на высококонтрастном фоне и при хорошем освещении.

*Активный* 3D-сканер посылает на исследуемый объект ультразвук, направленный источник света, лазер или рентгеновские лучи, затем при-

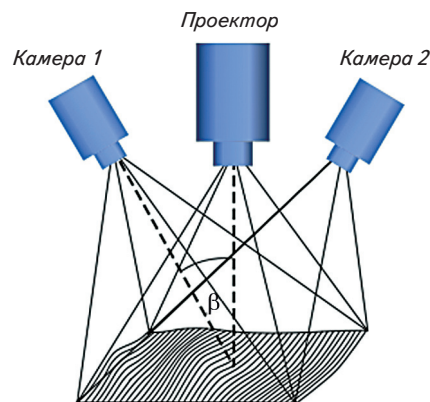


Рис. 1. Технология сканирования

нимает отраженный от поверхности сигнал и высчитывает время его возврата (рис. 1). Полученные данные сопоставляются, тщательно анализируются, и на экране отображается готовая цифровая трехмерная модель.

При измерении методами 3D-сканирования необходимо принимать во внимание некоторые особенности сыпучих материалов. Например, поверхность хранящегося в силосе зерна, как правило, неровная, на ней могут быть пики и впадины. Использование только одного устройства для измерения уровня часто приводит к низкой точности показаний и к оценочным значениям объема, поскольку данные получены с небольшого участка поверхности (рис. 2). В этом случае рекомендуется применять системы многозонных измерений — объединенные с помощью интерфейса RS-485 в систему сканеры и подключенные к системному контроллеру (рис. 3). Данные со всех сканеров синхронизируются системным контроллером и передаются в диспетчерскую.

В качестве альтернативы можно установить несколько устройств и использовать усредненное значение их показаний в качестве значения измеренного объема.

Для большинства технологий измерения важную роль играет место установки сканирующего устройства относительно точки загрузки зерна в силос, поскольку это скажется на точности сканирования. Необходимо располагать устройства в соответствии с рекомендациями по их установке. На качество измерений также может существенно влиять пыль, образующаяся в процессе загрузки силоса. Акустические (ультразвуковые) устройства достаточно эффективно работают и при запыленном воздушном пространстве, сохраняя точность измерений. Устройства на основе других технологий, например лазерные, менее приспособлены для

таких условий эксплуатации. Толстый слой пыли на антенне может блокировать сигнал. В случае ультразвуковых трехмерных сканеров естественные вибрации, вызываемые акустическим сигналом, предотвращают накопление сухой пыли на поверхности. Если пыль липкая, могут потребоваться дополнительные меры, например использование антенн из материалов, не допускающих налипания. В верхней части силоса при хранении зерна образуется конденсат, поскольку это, как правило, самая холодная часть, и как раз там устанавливают устройства для измерения объема и натурной массы продукта. Конденсат вместе с пылью образует на поверхности деталей слой, осложняя работу этих устройств. Акустические трехмерные сканеры оснащены функцией самоочистки, которая снижает потребность в их обслуживании.

### Лазерный 3D-сканер

Технология лазерного 3D-сканирования позволяет детально, с шагом до единиц миллиметров, обмерить и отразить форму сыпучих материалов, например поверхности насыпи. Быстрая скорость работы сканера, составляющая десятки и сотни тысяч измерений в секунду, и современное программное обеспечение для обработки результатов лазерного сканирования позволяют в сжатые сроки провести обмеры и вычислить объем и натурную массу с погрешностью до 1%. Если устройство 3D-сканера основано на работе лазерного луча, то с его помощью измеряются расстояния в заданных точках. На основе этих сведений выводятся координаты.

Во многих портативных сканерах реализован метод триангуляции — в работе задействован треугольник функциональных элементов устройства: точка лазера на предмете, его излучатель и камера (рис. 4). Данная технология позволяет добиться более высокой точности. В большинстве случаев лазерные лучи при сканировании выстроены в виде полосы или пучка, проходящих по поверхности исследуемого предмета. Для отслеживания

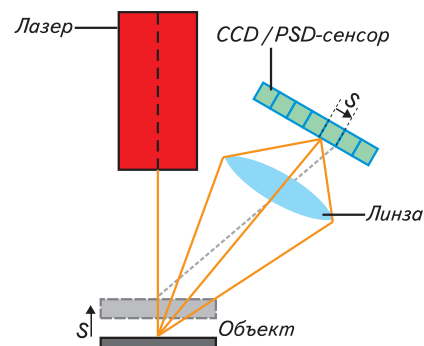


Рис. 4. Метод триангуляции (показаны две позиции объекта)

двумя предметами. Для отслеживания лазерных точек, попадающих на поверхность объекта, используются дополнительные камеры. Прибор проецирует лазерные лучи на объект, они падают на разные его части, при этом камера фиксирует лазерные точки на объекте и передает данные на компьютер с соответствующим программным обеспечением, которое формирует объект в цифровом виде.

В качестве примера лазерных измерителей можно привести программно-аппаратный комплекс измерения объема сыпучего материала (ПАК ИО) и прибор FARO Laser Scanner Focus M70.

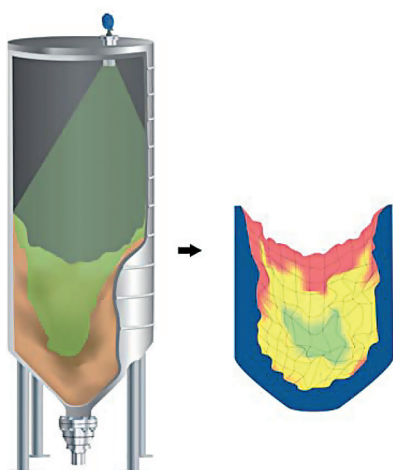


Рис. 2. Неточности сканирования сыпучих материалов акустическим 3D-сканером

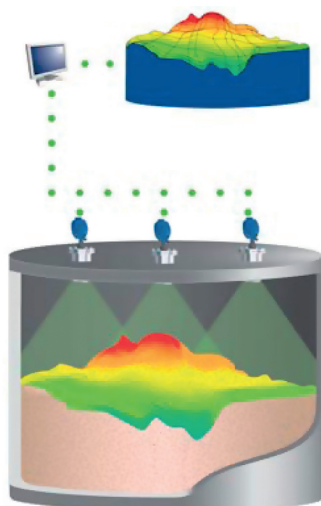


Рис. 3. Система сканеров, подключенных к контроллеру

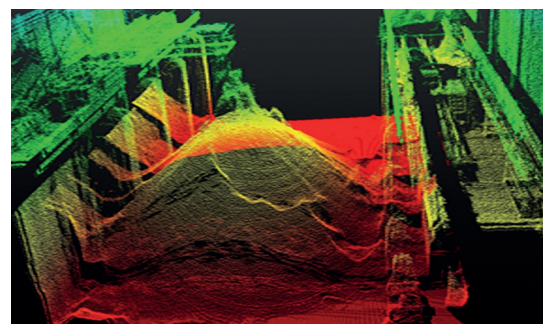


Рис. 5. Реальное и 3D-изображение, полученное ПАК ИО

ПАК ИО используется для быстрого и точного определения объема сыпучих материалов (рис. 5). Дальность измерения расстояния лазерами ПАК ИО достигает 150 м; разрешающая способность прибора до 10 мм; погрешность измерения — менее 2% от измеряемого объема; диапазон рабочей температуры — от  $-30^{\circ}\text{C}$  до  $+60^{\circ}\text{C}$ ; класс лазера — 1; степень защиты от пыли и воды — IP65.

FARO Laser Scanner Focus M70 сканирует объекты на расстоянии до 70 м с точностью  $\pm 3$  мм. Улучшенная встроенная камера позволяет получать качественные фотоизображения диапазона HDR, обеспечивая естественную цветопередачу даже в условиях со сложным освещением (рис. 6).

Сканер поставляется с программным обеспечением FARO Scene, включающим все необходимое для обработки данных лазерного сканирования. Отражающая способность прибора — 90% (белый), 10% (темно-серый) и 2% (черный); разрешение камеры — до 165 Мп в цвете; поле зрения (вертикальное / горизонтальное) —  $300^{\circ}/360^{\circ}$ ; класс лазера — 1; диапазон рабочей температуры — от  $+5^{\circ}\text{C}$  до  $+40^{\circ}\text{C}$ ; степень защиты от пыли и воды — IP54.

### Ультразвуковой 3D-сканер

Сенсор ультразвукового сканера (дальномера) излучает кратковременный ультразвуковой сигнал, который отражается от объекта. Сенсор получает эхо сигнала и выдает дистанцию до исследуемого предмета, которая

кодируется длительностью электрического сигнала на выходе датчика. Следующий импульс может быть излучен только после исчезновения эха от предыдущего импульса.

Ультразвуковой метод позволяет сканировать черно-белые или прозрачные объекты, что невозможно для лазерных 3D-сканеров. На показания ультразвукового дальномера не влияют солнечные засветки или цвет объекта, а также запыленность воздуха, но могут возникнуть трудности с определением дистанции до пористых, мягких или очень тонких предметов.

Следует отметить, что ультразвуковые сканеры крайне чувствительны к шумам различного рода. Так, они могут реагировать на погодные явления и звуковые волны, создаваемые другим оборудованием, кондиционерами или светодиодными лампами.

Примером ультразвукового 3D-сканера может служить 3DLevelScanner II (рис. 7), который измеряет объем, а также минимальный и максимальный уровни различных сыпучих материалов, хранящихся в силосах, больших бункерах и в складах. Данный измеритель оснащен тремя антеннами, которые излучают низкочастотные импульсы и принимают их отражение от хранящихся материалов. Взаимодействие с ERP-системой и высокая точность получаемой информации позволяют улучшить управление производством и повысить эффективность работы предприятия.

Корректно прибор работает при температуре от  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $+85^{\circ}\text{C}$  и от-

носительной влажности окружающей среды 20–85%. Он устойчив к механическим вибрациям (до 200 Гц) и имеет степень защиты от пыли и воды IP67. Ширина луча составляет  $70^{\circ}$ .

### ЕМКОСТНЫЕ ДАТЧИКИ УРОВНЯ

Емкостные уровнемеры — указатели уровня, принцип действия которых основывается на зависимости электрической емкости измерительного преобразователя от степени его погружения в среду (рис. 8). Высокая чувствительность конденсатора позволяет емкостному датчику уровня работать с сыпучими веществами, имеющими различный уровень диэлектрической проницаемости, а также с веществами-диэлектриками. Емкостные датчики могут применяться для непрерывного измерения уровня.

Измерительный преобразователь емкостного устройства представляет собой конденсатор, образованный несколькими электродами. Электроды могут быть стержневыми, цилиндрическими и пластинчатыми. Принцип его работы строится на фиксации изменений емкости встроенного конденсатора. Стандартно конденсатор настроен на диэлектрическую проницаемость воздуха. При попадании контролируемого вещества в чувствительную зону датчика емкость конденсатора изменяется, происходит срабатывание датчика и фиксация уровня в данной точке.

Емкостные уровнемеры получили широкое распространение особенно в качестве сигнализаторов из-за своей дешевизны и простоты в обслуживании, удобства монтажа первичного преобразователя, отсутствия подвижных элементов. Большим достоинством таких приборов является нечувствительность к сильным магнитным полям, возможность использования в широком интервале температур (от криогенных до  $500^{\circ}\text{C}$ ) и давлений.

Автоматизированная система контроля температуры и уровня АСКТ-01 — один из таких измерителей. Она включает в себя две основные час-



Рис. 6. Лазерный сканер FARO



Рис. 7. 3DLevelScanner II



ти — термоподвеску ТУР-01 и блок контроля и управления БУК-01 (рисунки 9 и 10). Термоподвеска состоит из локального контроллера и чувствительного элемента, механически и электрически объединенных между собой. Чувствительный элемент одновременно является емкостным датчиком уровня. Схематическое рас-



Рис. 9. Термоподвеска ТУР-01



Рис. 10. Блок БУК-01

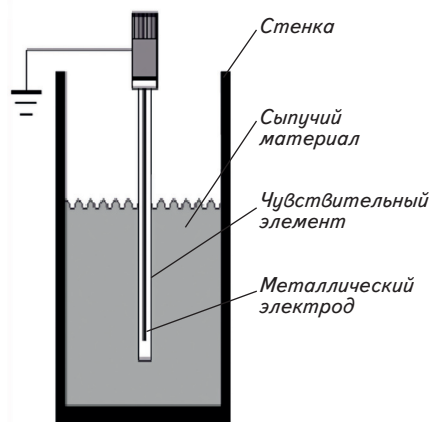


Рис. 8. Схема размещения емкостного датчика уровня

положение силосов отображается на мнемосхеме. При наведении курсора мыши на изображение силоса активируется всплывающее окно, в котором отображается информация об уровне и распределении температуры в силосе.

### ВЫВОДЫ

Для контроля наличия зерна в силосах элеваторов используют как уровнемеры (термоподвески-уровнемеры), так и 3D-сканеры, доказавшие на практике свою эффективность. Тем не менее, методы, реализованные в этих приборах, не принимают во внимание

изменения объема зерновой массы при длительном ее хранении (например, слеживаемость). Соответственно, необходима доработка программного обеспечения, которое сможет учитывать временные факторы. Исходя из технических характеристик представленного в статье оборудования, наибольший интерес вызывает лазерный сканер FARO Laser Scanner Focus M70, соответственно, с разработкой специализированной оснастки и доработкой программного обеспечения. ■

*Список литературы предоставляется по запросу.*

- выезд опытных инженеров и on-line поддержка
- поставка оборудования и запчастей
- продажа запчастей со склада в Москве
- ревизия оборудования производства фирмы Бюлер и других фирм
- восстановление измельчающих валцов (шлифование, рифление и матирование)
- ремонт матриц пресс-грануляторов
- ремонт прессующих роликов

**BUHLER**

**ООО „Бюлер Сервис“**  
**Ваш надёжный партнер**

Тел./Факс: +7 (495) 786-87-63  
service.russia@buhlergroup.com  
www.buhlerservice.ru  
www.buhlergroup.com

Innovations for a **better world.**