



УДК: 629.331

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ ПРИ ОЦЕНКЕ ОБЪЕМОВ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

А.А. Ватагин, А.Е. Лебедев, А.Б. Капранова, И.С. Гуданов

Александр Александрович Ватагин

E-mail: Vatagerr@bk.ru

Антон Евгеньевич Лебедев

E-mail: lae4444@mail.ru

Илья Сергеевич Гуданов

E-mail: goudanov@yandex.ru

Анна Борисовна Капранова

E-mail: kapranovaab@ystu.ru

*Кафедра технологических машин и оборудования, Ярославский
государственный технический университет, Московский пр., 88,
Ярославль, Российская Федерация, 150023*

*Кафедра теоретической механики и сопротивления материалов,
Ярославский государственный технический университет,
Московский пр., 88, Ярославль, Российская Федерация, 150023*



В статье рассматривается применение технологии лазерного сканирования для оценки объема, массы сыпучих материалов, а также построение на основе полученных данных 3D моделей. Разработанное устройство имеет практическое применение в строительной сфере. Сыпучее сырьё составляет большую часть расходов предприятий, и для эффективного его распределения необходимо контролировать объём. Нужная точность определения объемов зависит от стоимости единицы объема сыпучего материала и может варьироваться в широких пределах. Проблема замера заключается в том, что часто грузоперевозчики и компании, занимающиеся грузоперевозками, фальсифицируют данные об объеме/массе груза. Поэтому с целью решения данной актуальной проблемы необходимо разработать комплекс методов и специальных устройств для экспресс-оценки объема сыпучих материалов, перевозимых в кузове автомобиля до его выгрузки. Установлено, что заказчики сыпучих материалов, таких как гравий, щебень, песок, в среднем теряют от 16% груза. Такая величина является существенной, так как нужная точность определения объемов зависит от стоимости единицы объема сыпучего материала и может варьироваться в широких пределах. Предложенный способ поможет снизить эту величину в 7 раз, т.е. до 2,2%.

Ключевые слова: сыпучие материалы, строительство, перевозка, лазер, сканирование

Для цитирования:

Ватагин А.А., Лебедев А.Е., Капранова А.Б., Гуданов И.С. Применение технологии лазерного сканирования при оценке объемов сыпучих материалов. Умные композиты в строительстве. 2021. Т. 2. Вып. 1. С. 20-28 URL: http://comincon.ru/index.php/tor/V2N1_2021

DOI: 10.52957/27821919_2021_1_20



UDC: 629.331

LASER SCANNING TECHNOLOGY IN ASSESSING THE VOLUME OF BULK MATERIALS WHEN EVALUATING THE VOLUMES OF BULK MATERIALS

A.A. Vatagin, A.E. Lebedev, A.B. Kapranova, I.S. Gudanov

Alexander A. Vatagin

E-mail: Vatagerr@bk.ru

Anton E. Lebedev

E-mail: lae4444@mail.ru

Ilya S. Gudanov

E-mail: gudanov@yandex.ru

Anna B. Kapranova

E-mail: kapranovaab@ystu.ru

*Department of Technological Machines and Equipment, Yaroslavl State
Technical University, Moskovsky ave., 88, Yaroslavl, Russian Federation,
150023*

*Department of Theoretical Mechanics and Strength of Materials,
Yaroslavl State Technical University, Moskovsky ave., 88, Yaroslavl,
Russian Federation, 150023*



The article discusses the application of laser scanning technology to assess the volume and mass of bulk materials, as well as the construction of the 3D models on the basis of data obtained. The developed device has practical application in construction. Bulk raw materials is a significant part of the costs of the enterprises and it is necessary to control its volume for the efficient distribution. The required accuracy of volume determination depends on the cost per unit volume of bulk material and can vary widely. The problem with measurement is that the volume/mass of cargo is often falsified by freight forwarders and shipping companies. In order to solve this problem it is necessary to develop a set of methods and special devices for rapid assessment of the volume of bulk materials carried in the car body before its unloading. It was found that customers of bulk materials such as gravel, crushed stone, sand lose at least 16% of the cargo on average. This value is essential, since the required accuracy of determining the volume depends on the cost per unit volume of bulk material and can vary widely. The proposed method will help to make it 85% lower, i.e. down to 2.2%

Key words: *bulk materials, construction, transportation, laser, scanning.*

For citation:

Vatagin A.A., Lebedev A.E., Kapranova A.B., Gudanov I.S. Laser scanning technology in assessing the volume of bulk materials. Smart Composite in Construction. 2021. V. 2. No 1. P. 20-28 URL: http://comin-con.ru/index.php/tor/V2N1_2021

DOI: 10.52957/27821919_2021_1_20



ВВЕДЕНИЕ

Сыпучие материалы широко используются во всех отраслях промышленности: строительстве, сельском хозяйстве и т.д. и являются одними из наиболее «сложных» в плане использования. Процессы переработки сыпучих сред, такие как смешение, измельчение, дозирование, уплотнение являются трудоемкими и энергозатратными. Оборудование для этих целей включает множество узлов и агрегатов, которые используют в своей работе различные принципы, в том числе, ударные процессы, центробежное распыление и т.д. Однако сложности при работе с сыпучими средами возникают не только при осуществлении процессов их переработки, но и при оценке их количества, особенно при нахождении в нестандартных емкостях, котлованах, гудах. Действительно, практически отсутствуют инструменты для определения количества (массы или объема) сыпучего груза, находящегося в кузове самосвала, имеющего увеличенные борты и насыпанного с «горкой», или при оценке объемов грунта, вынутого из котлована. Проблема усугубляется наличием недобросовестных перевозчиков, вводящих в заблуждение о количестве материала в кузове или вагоне. Очень часто загрузка осуществляется в тоннах, а отгрузка в кубометрах, поэтому осуществить сопоставление или оценку очень проблематично. Погрешности в оценке могут приносить огромные убытки как производителям, так и потребителям сыпучих материалов. Все это свидетельствует о том, что проблема экспресс-оценки количества сыпучих сред, в том числе строительного назначения, является актуальной и востребованной.

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ СПОСОБОВ ЭКСПРЕСС-ОЦЕНКИ КОЛИЧЕСТВ СЫПУЧИХ СРЕД

Точные замеры объемов сыпучих материалов – это важная и необходимая часть работы горнодобывающих, нефтеперерабатывающих заводов, химических производств, различных транспортных компаний и агропромышленных предприятий.

Это связано с тем, что сыпучие материалы трудно поддаются подсчету. Сыпучее сырьё составляет большую часть расходов предприятий, и для эффективного его распределения необходимо контролировать объём. Нужная точность определения объемов зависит от стоимости единицы

объема сыпучего материала и может варьироваться в широких пределах. Чем дороже материал, тем необходимо более точное вычисление объема. Высокие требования к точному подсчету земляных работ предъявляют в настоящее время и строители.

На рис. 1 рассмотрим существующие на сегодняшний день способы оценки количества сыпучих сред одним из простых инструментов для определения сыпучих материалов, является геодезическая съемка с помощью электронного тахеометра. Геодезическая съемка позволяет определить объёмы материалов с малой точностью. Ограничителем при применении тахеометров является низкая скорость измерений и физическая невозможность детальной съёмки больших объёмов материалов [1, 2].

На практике, помимо геодезической съемки, применяют наземное лазерное сканирование – бесконтактная технология измерения 3D поверхностей с использованием специальных приборов, лазерных сканеров. По отношению к традиционным оптическим и спутниковым геодезическим методам характеризуется высокой детальностью, скоростью и точностью измерений. Основные параметры лазерного сканера – дальность, точность, скорость, угол обзора [3, 4].

Помимо наземного лазерного сканирования, который имеет ряд недостатков на практике, все большее применение при строительстве, а также для создания 3D моделей ландшафтов, применяют воздушное лазерное сканирование.

Воздушное лазерное сканирование позволяет выполнить съемку районов, наземная съемка которых либо очень обременительна, либо практически невозможна. Что справедливо для труднодоступных районов: обширных заснеженных, лесных и заболоченных территорий, тундр, пустынь, а также отдаленных высокогорных районов. Принцип действия изображен на рис. 2.

Под сыпучими материалами в измерении уровня понимают не только материалы, состоящие из множества твердых микроскопических частиц, например, мука или цемент, но и твердые материалы с более крупными гранулами, обладающие условной текучестью, например, щебень, измельченная руда и т.д. В большинстве случаев, для задач измерения уровня сыпучих материалов не важно, является вещество одной природы, либо это смесь различных сыпучих веществ [5].

Приведем в таблице 1 сравнение существующих методов по основным критериям, которые были изложены выше. Выставляем в баллах по 10-балльной системе.



Рис. 1. Способы оценки сыпучих сред
Fig. 1. Methods for evaluating bulk media

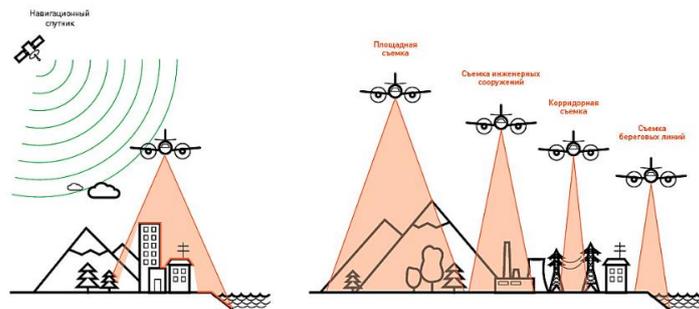


Рис. 2. Принцип действия воздушного сканирования
Fig. 2. The principle of operation of air scanning

Таблица 1. Сравнение существующих методов измерения объема сыпучих материалов
Table 1. Comparison of existing methods for measuring the volume of bulk materials

	Геодезическая съемка	Наземное лазерное сканирование	Воздушное лазерное сканирование	Датчики уровня сыпучих материалов
Периодичность	5	5	4	6
Точность	7	10	10	8
Оперативность	8	7	7	6
Трудозатратность	8	9	6	3
Стоимость	7	10	9	10

Таким образом, подводя итоги, можно сказать, что каждый способ по-своему удобен. Проанализировав существующие методы определения объемов сыпучих материалов, нельзя определённо сказать, что какой-либо из методов уступает другим, т.к. выбор метода в каждом конкретном случае зависит от многих факторов: точности измерения, необходимой скорости получения результата, периодичности, стоимости, трудозатрат и т.д.

В связи с этим, выбор метода определения объемов сыпучих материалов необходимо осуществлять, основываясь на приоритетных производственных факторах. При выборе наиболее рациональной схемы устройства, необходимо руководствоваться критериями, указанными в таблице 1, и другими, например: простота конструкции, возможность применять на любых объектах.

Выбранные критерии позволяют отсеивать странные и специфические идеи, такие как применение для сканирования радиоактивных веществ. Таким образом, наиболее популярными и реальными вариантами исполнения проектируемого устройства следующие: применение ультразвуковых волн, фотографирование с различных точек для дальнейшей «склейки» в объемную картину, применение лазерных технологий. В таблице 2 по 10-балльной шкале присваиваем

баллы по выбранным критериям для анализа прототипа устройства.

Таблица 2. Варианты реализации схем
Table 2. Scheme implementation options

	Ультразвук	Фотография	3D лазер
Периодичность	6	8	9
Точность	9	6	10
Стоимость	10	5	8
Трудозатратность	7	7	10
Простота конструкции	4	9	8
Возможность применения на любых объектах	3	5	9
Итого:	39	40	54

ОПИСАНИЕ РАЗРАБОТАННОГО СПОСОБА И КОНСТРУКЦИИ УСТРОЙСТВА

Перевозка сыпучих веществ является одной из распространённых задач в различных отраслях промышленности. Это связано с тем, что сыпучие материалы трудно поддаются подсчету. Сыпучее сырьё составляет большую часть расходов предприятий и для эффективного его распределения необходимо контролировать объём. Нужная точность определения объемов зависит от стоимости единицы объема сыпучего материала и может варьироваться в широких пределах. Чем дороже материал, тем должна быть больше точность вычисления объема.

Однако, при транспортировке сыпучих грузов трудно оценить объем материалов, чем часто пользуются недобросовестные фирмы. Имеет место: недосып сыпучих материалов, смачивание водой, уменьшение объема кузова и многое другое. Данную проблему решить сложно, а существующие способы оценки трудоемки и дорогостоящие.

В связи с этим было предложено спроектировать специальное устройство для экспресс-замера объема сыпучих материалов, находящееся в кузове грузового автомобиля. Устройство предполагает содержать в себе:



- 3D лазерный сканер – для создания 3D-модели сыпучего материала;

- ультразвук и рентген – для нахождения характеристик смеси.

Собранные устройством данные будут передаваться на компьютер в специальную программу, которая, в свою очередь, произведет необходимые вычисления и выдаст результат анализа. По данным таблицы 2 можно сделать вывод, что наиболее приемлемым вариантом является технология 3D лазера. Для повышения точности разработанное устройство включает в себя: автомобильные весы, 3D лазерный сканер и подвижную стойку.

При выборе лазерного сканера необходимо руководствоваться следующими техническими требованиями:

- 1) точность измерений, которая может варьироваться в больших пределах;
- 2) разрешение сканера – оказывает влияние на качество получаемой 3D-модели;
- 3) максимальная дальность сканирования;
- 4) скорость измерения;
- 5) возможность совмещения с другими приборами.

Приведем в таблице 3 классификацию сканеров по типу измерения и точности с указанием фирм-производителей.

Таблица 3. Классификация лазерных сканеров
Table 3. Classification of laser scanners

Вид измерения	Измеряемое расстояние, м	Точность определения расстояния (погрешность), мм	Фирмы-производители
Импульсный	50–300 (до 1000)	10–20	Callidus, Leica, Trimble
Фазовый	до 100	до 10	IQSun, Leica, Z+F
Оптическая триангуляция	до 5	до 1	Trimble, Minolta

Таким образом, рассмотрев лазерные сканеры различных типов, для данной работы наиболее подходящими будут являться сканеры на основе фазового метода измерения и на основе метода оптической триангуляции, так как они имеют большую точность измерения при удовлетворяющем расстоянии.

Сканирование груза основано на технологиях лазерного сканирования, ультразвука или рентгена. Технология лазерного сканирования используется для получения очень детальных 3D-моделей объектов, в нашем случае кузова грузового автомобиля с насыпным грузом. Лазерный сканер позволяет отсканировать объекты размером до 0,5–2 см с точностью до 0,5–5 мм, т.е. имеется возможность узнать, имеются ли недопустимые примеси (мусор) в насыпном грузе, такие как бутылки, банки и т.п. Лазерное сканирование возможно проводить в любое время суток, что является большим достоинством.

Принцип действия устройства следующий: груженный автомобиль заезжает на автомобильные весы, где предварительно установлена требуемая высота электромеханических стоек. Лазерный сканер с насадкой в виде проецирующей сетки устанавливается в центральное положение кузова и производит сканирование верхней части насыпи. Автомобильные весы с помощью тензодатчиков измеряют полный вес груженого автомобиля. После чего собранные данные, а именно объем верхней части насыпи, полная масса груженого автомобиля, снаряженная масса, объем кузова, состав материала (плотность, влажность и т.п.) обрабатываются в специальной программе, которая выдаст конечный результат о грузе.

Если результат программы и накладные о грузе совпадают с учетом погрешности при перевозке, то выносится решение о приемке груза, в противном случае – отказ.

Полученные результаты сравниваются с накладными, и выносится решение о выгрузке или отправке груза отправителю. На рис. 3 изображен принцип действия, на рис. 4 изображен общий вид устройства.



Рис. 3. Принцип действия устройства

Fig. 3. The principle of the device

При проведении анализа спроса и предложения, будем сравнивать существующие способы с разрабатываемым методом по наиболее значимым критериям в настоящее время: «стоимость» и «точность», так как от этих параметров будет зависеть рентабельность, а также спрос и предложение.

Из существующих факторов, оказывающих влияние на формирование спроса и предложения, наиболее

интересными (для решения проблемы выдвигания на рынок разрабатываемой продукции) являются следующие:

- наличие товаров-заменителей и дополняющих;
- размеры рынка;
- уровень доходов;
- уровень технологий.



Рис. 4. Общий вид устройства – трехмерная модель
Fig. 4. General view of the device - three-dimensional model

Таким образом, цена и спрос на разрабатываемое устройство будет, в большей степени, зависеть от этих факторов. К ним добавляются критерии оценки, указанные в таблице 4. Произведем подробный анализ спроса и предложения на рынке. Представим, что разработанное устройство поступило в продажу с ценой ниже или примерно такой же, как и у существующих устройств. Занесем данные по спросу и предложению в таблицу 4.

Как видно из таблицы 4, что наибольшее число компаний готовы купить произведенный товар по цене 750000 рублей за штуку, что не приемлемо для производителя, т.к. последний будет в убытке. Для нахождения наилучшего показателя цены построим график спроса и предложения (рис. 5).

Таким образом, наилучшая цена для производителя и потребителя находится в пределах {1,5–1,75} млн рублей.

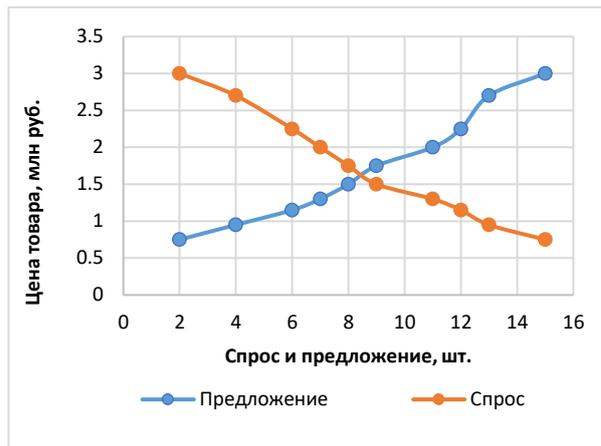


Рис. 5. Кривая спроса и предложения
Fig. 5. Supply and demand curve

ВЫВОДЫ

В данной статье описан один из способов решения проблемы оценки объемов сыпучих материалов, а именно применение 3D лазерного сканирования. Предложено в качестве сканирующего элемента применять лазерную сетку на объекты. Такая сетка помогает определить высоты и впадины, тем самым способствует определению объема верхней части насыпи. Нижняя часть насыпи представляет собой объем кузова грузового автомобиля. При суммировании объемов верхней и нижней части насыпи в итоге получаем полный объем сыпучего материала.

Средняя ошибка относительных показателей составляет 5%, погрешность сканирующего оборудования составляет 2%. Применение в проектируемом устройстве нескольких элементов, таких как лазерный сканер и автомобильные весы, способствует повышению точности определения.

Таблица 4. Данные по спросу и предложению на выпускаемую продукцию
Table 4. Data on supply and demand for manufactured products

Цена товара, млн руб.	0,75	0,95	1,15	1,3	1,5	1,75	2	2,25	2,7	3
Предложение	2	4	6	7	8	9	11	12	13	15
Цена товара, млн руб.	3	2,7	2,25	2	1,75	1,5	1,3	1,15	0,95	0,75
Спрос	2	4	6	7	8	9	11	12	13	15

ЛИТЕРАТУРА

1. Тахеометры. URL: http://www.nngasu.ru/geodesy/classification/chastnyye-klassifikatsii/17_Taxeometri.php.
2. Измерение объемов сыпучих материалов. URL: http://www.ngce.ru/izmerenie_obemov_syuchih_materialov.html.
3. Наземное лазерное сканирование. URL: <http://trime-tari.com/ru/stati/nazemnoe-3d-lazernoe-skanirovanie>.
4. Середович В.А., Комиссаров А.В., Комиссаров Д.В., Широкова Т.А. Наземное лазерное сканирование. Новосибирск: СГТА, 2009. 261 с.
5. Датчик уровня сыпучих материалов. URL: http://rusautotomation.ru/datchiki_urovnya/datchiki-urovnya-sipuchih-materialov.
6. Лебедев А.Е., Ватагин А.А. Экспресс-метод оценки объемов сыпучих материалов. Автомобильная промышленность. 2019. № 12. С. 27-29.
7. Капустин А.А., Яцевич Г.Б., Наумов А.П., Разумовский В.Н., Северов Л.А., Ермолаева М.Ю. Патент РФ № 1840747. 2009.
8. Миценко И.В., Южик И.Б., Ильиных С.П. Патент РФ № 2288449. 2006.
9. Влияние перегруза на узлы и агрегаты. URL: <https://os1.ru/article/7873-kak-vliyaet-peregruz-na-uzly-gruzovyh-avtomobileygruzim-s-shapkoj>.



10. **Фролов А.** Виды лазерных сканеров. Принципы измерения. URL: http://www.ngce.ru/pg_publications/11.html.
11. Проецирующая лазерная сетка. URL: <http://www.qwrt.ru/news/112>.
12. **Землянский В.Н., Загер И.Ю., Яшинкина А.А.** Инженерная геология. Определение угла естественного откоса песчаных грунтов: метод. указания. Ухта: УГТУ, 2011. 6 с.
13. Ультразвук. URL: <http://engineering-solutions.ru/ultrasound/theory/>.
14. **Лебедев, А.Е., Зайцев А.И., Петров А.А.** Метод оценки коэффициента неоднородности смесей сыпучих сред. Инженерный вестник Дона. 2014. № 4. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n3y2014/2556.19.

Received 16.11.2020

Accepted 15.02.2021

Поступила в редакцию 16.11.2020

Принята к опубликованию 15.02.2021

REFERENCES

1. Tacheometers. URL: http://www.nngasu.ru/geodesy/classification/chastnye-klassifikatsii/17_Taxeometri.php (in Russian).
2. Measuring the volume of bulk materials. URL: http://www.ngce.ru/izmerenie_obemov_sy_puchih_materialov.html (in Russian).
3. Terrestrial laser scanning. URL: <http://trime-tari.com/ru/stati/nazemnoe-3d-lazernoe-skanirovanie> (in Russian).
4. **Seredovich V.A., Komissarov A.V., Komissarov D.V., Shirokova T.A.** Ground laser scanning. Novosibirsk: SGGA. 2009. 261 p. (in Russian).
5. Bulk material level sensor. URL: http://rusautomation.ru/datchiki_urovnya/datchiki-urovnya-sipuchih-materialov (in Russian).
6. **Lebedev A.E., Vatagin A.A.** Express method for assessing the volume of loose materials. Automotive Industry. 2019. N 12. P. 27-29. (in Russian).
7. **Kapustin A.A., Yatsevich G.B., Naumov A.P., Razumovsky V.N., Severov L.A., Ermolaeva M.Yu.** Patent RU N 1840747. 2009. (in Russian).
8. **Mitsenko I.V., Yuzhik I.B., Pilykh S.P.** Patent RU N 2288449. 2006. (in Russian).
9. Types of laser scanners. URL: http://www.ngce.ru/pg_publications/11.html (in Russian).
10. **Frolov A.** Projection laser grid. URL: <http://www.qwrt.ru/news/112> (in Russian).
11. Projecting a laser grid. URL: <http://www.qwrt.ru/news/112> (in Russian).
12. **Zemlyansky V.N., Zager I.Yu., Yashinkina A.A.** Engineering geology. Determination of the angle of repose of sandy soils: method. instructions. Ukhta: USTU. 2011. 6 p. (in Russian).
13. Ultrasound. URL: solutions.ru/ultrasound/theory/ (in Russian).
14. **Lebedev, A.E., Zaitsev A.I., Petrov A.A.** Method for assessing the coefficient of heterogeneity of mixtures of free-flowing media. Engineering Bulletin of the Don. 2014. N 3. URL: <http://ivdon.ru/magazine/archive/n3y2014/2556.19> (in Russian).