

УДК 622

DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-3-31-40

Методика автоматизированной съемки и подсчета объемов сыпучих материалов на складах

А. А. Токин^{1✉}, А. А. Шоломицкий²

¹Центр маркшейдерско-геодезических инноваций, Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Российская Федерация

²Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация

e-mail: alexandrtokin@gmail.com

Аннотация. В условиях современного экономического развития России отмечается значительный рост объема товарооборота и развитие логистических процессов. Среди всех компонентов логистической цепи склад играет ключевую роль в организации поставок и распределении товаров. Точность и своевременность учета материальных ценностей являются фундаментом для бесперебойного функционирования логистической цепи, обеспечивая непрерывное производство и удовлетворение потребностей клиентов. Поэтому внимание к процессу учета и контроля складских запасов будет увеличиваться, так как умение эффективно управлять объемами материалов на складе не только повышает уровень комфорта, но и является ключом к успешному развитию. Статья посвящена вопросам автоматизации процесса подсчета объемов сыпучих материалов на складах. Использование специализированных технологий и программного обеспечения помогает значительно упростить и ускорить процесс инвентаризации и учета запасов на складе. В статье рассматривается новый подход к выполнению фотограмметрической съемки складов на основе движущихся погрузочных механизмов. Авторам удалось полностью автоматизировать процесс фотограмметрической съемки и ее обработки, что в свою очередь уменьшило нагрузку на маркшейдерско-геодезическую службу, позволило значительно сократить время как полевых работ, так и камеральной обработки. Автоматизация подсчета объемов сыпучих материалов на складах является важным шагом к оптимизации логистических процессов и повышению эффективности складского хозяйства.

Ключевые слова: логистика, IP-камера, фотограмметрия, лазерное сканирование, подсчет объемов, складское хранение, автоматизация

Для цитирования:

Токин А. А., Шоломицкий А. А. Методика автоматизированной съемки и подсчета объемов сыпучих материалов на складах // Вестник СГУГиТ. – 2025. – Т. 30, № 3. – С. 31–40. – DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-3-31-40

Введение

Склад – это место, предназначенное для приемки, хранения и передачи различных материальных ценностей потребителю без прерывания. Важным аспектом эффективного управления складом является учет поступления и расхода материалов. Особенно

это важно для сыпучих материалов, где точное определение объемов необходимо для эффективного управления запасами [1].

Традиционные методы съемки не всегда могут обеспечить необходимую точность и скорость учета запасов. Современные подходы, такие как фотограмметрия и использование лазерных сканирующих систем,

становятся ключевым инструментом для выполнения съемки поверхности сыпучих материалов с высокой точностью [2]. Фотограмметрические методы с различными типами камер обеспечивают точность, сравнимую с лазерными сканирующими системами [3, 4].

Результатом съемки при использовании лазерных сканирующих систем или фотограмметрических методов является облако точек [5, 6]. Расчет объемов по облаку точек выполняется с применением геометрических методов, вертикальных и горизонтальных сечений, но чаще всего композитным методом по призмам [7, 8]. Современные методы съемки требуют времени и высокой квалификации исполнителей для выполнения измерений и обработки данных, автоматизированные системы могут обеспечить оперативность и точность съемочных работ, исключая человеческий фактор [9].

Методы и материалы исследований

Традиционно для подсчета объемов на складах выполняют съемку нулевой поверхности и съемку поверхности сыпучих материалов. Для съемки применяют различные технологии и оборудование: тахеометры, GNSS, БПЛА, лазерные сканирующие системы [10–12].

В зависимости от условий хранения материалов склады имеют разную конструкцию и функциональность. Их можно разделить на три вида: открытые, крытые (рис. 1, а, б) и закрытые склады (рис. 2).

На складах для подъема и перемещения сыпучего груза используют различное подъемно-транспортное оборудование. На рис. 2 представлено изображение закрытого склада нефтяного кокса длиной 120 м и шириной 30 м. Сырье на складе разделено на фракции перегородками на 4 секции.

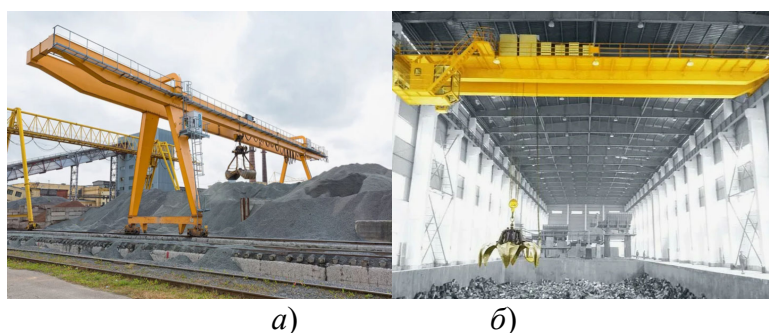


Рис. 1. Примеры конструкции складов хранения сыпучих материалов:
а) открытый склад: <https://uleoparda.ru/proizvodstvo/kran/kozlovoy/>;
б) закрытый склад: <https://ru.pinterest.com/pin/99290366764308624/>

По всей длине склада проходит железнодорожное полотно для разгрузки железнодорожных вагонов. Перемещение и погрузка сырья на складе осуществляется мостовым грейферным краном, который перемещается по всей длине склада по подкрановым путям.

Топографическая съемка сыпучих материалов на данном складе представляет собой сложную задачу, сопряженную с рядом трудностей. Пыль, поднимаемая при перемещении материалов, создает не только сложные условия для работы, но и затрудняет процесс съемки. Сложности перемещения персонала по поверхности склада, которая представлена сыпучим материалом под углом естественного откоса, также яв-

ляются фактором, замедляющим процесс съемки и делающим его небезопасным. Поэтому учет объемов таких складов осуществляется зачастую линейными промерами, а вычисления производятся довольно приближенно по простейшим геометрическим фигурам: трапециям, пирамидам и обелискам.

Были попытки автоматизировать съемку складов сыпучих материалов с помощью статически расположенных камер на конструкциях [13], однако такую схему можно применить на небольших крытых складах. Для больших складов потребуется большое количество камер, чтобы обеспечить необходимое перекрытие снимков, пригодное для автоматических методов обработки.



Рис. 2. Закрытый склад нефтяного кокса

Для автоматизации съемочных работ на данном складе было решено использовать мостовой грейферный кран, который имеет возможность перемещаться линейно по одной оси с постоянной скоростью по всей длине склада. Эти особенности позволяют имитировать аэрофотосъемку, размещая IP-камеры на самом грейферном кране, тем самым повышая безопасность, скорость и точность выполнения съемочных работ [14]. Также на грейферном кране разместили сервер для обработки снимков и подсчета объемов сыпучих материалов.

После размещения оборудования на грейферном кране и выполнения предварительных операций по калибровке камер и геодезическим работам по привязке центров фотографирования, определении нулевой поверхности и контуров подсчета объемов в цикле выполняется автоматизированная съемка и подсчет объемов склада согласно схеме (рис. 3).

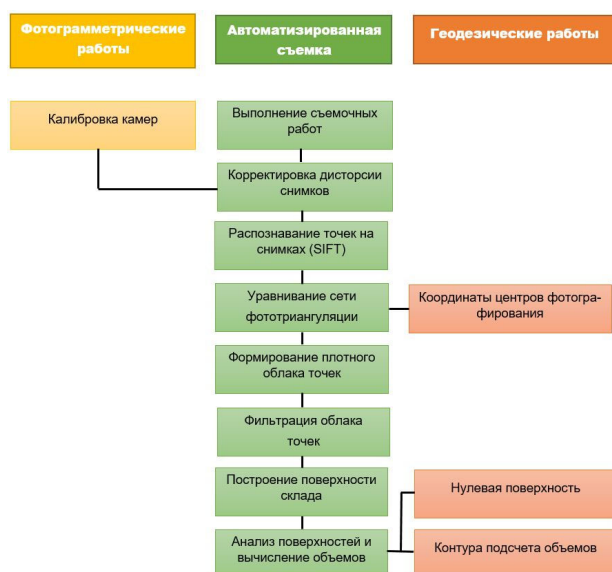


Рис. 3. Схема этапов методики

В качестве съемочного оборудования было решено использовать IP-камеры с углом обзора 160° и разрешением матрицы 8 Мп. В сборе такая IP-камера получает качественные снимки, управляется удаленно с помощью программных средств, данные передаются как по локальной сети, так и через интернет [15, 16].

С учетом рекомендаций руководства Agisoft Metashape [17] было собрано 6 экземпляров IP-камер [18, 19] (рис. 4).

IP-камеры размещены по 3 спереди и 3 сзади грейферного крана (см. рис. 4), что позволило добиться 80 % поперечного перекрытия и 90 % продольного.

Для управления всей системой создано мобильное приложение Sklad.apk [20], которое устанавливается на смартфон. В мобильном приложении для управления системой используются три кнопки: «Настройка и проверка подключения», «Старт» и «Стоп». В настройках устанавливается необходимая частота съемки и электронная почта пользователя, которому будет отправлен результат подсчета объемов в виде справки об объемах.

Подготовительные работы

На складе была создана и закреплена локальная система координат, где ось X параллельна грейферному крану, а ось Y – подкрановым путям грейферного крана. За нулевую отметку взяли отметку пола склада.



Рис. 4. Размещение IP-камер на грейферном кране

В начале и в конце склада обозначены точки «Старт» и «Стоп», с которых будет начинать и заканчивать движение грейферный кран во время проведения съемочных работ. Электронным тахеометром определены координаты положения камер в этих точках [21].

Также тахеометром выполнена съемка контуров подсчета объемов и съемка нулевой поверхности. Калибровка камер выполнена в соответствии с рекомендациями Agisoft Metashape по шахматной доске [17].

В результате подготовительных работ получены:

- файл привязки снимков (координаты центров фотографирования в начале и в конце склада);
- файлы калибровки камер;
- файл данных нулевой поверхности;
- файл контуров подсчета объемов.

Эти файлы сохранены на сервере в качестве исходных данных.

Подготовительные работы выполняются один раз.

Съемочные работы

После размещения элементов системы и выполнения подготовительных работ съемка выполняется в соответствии с приведенной ниже последовательностью (рис. 5):

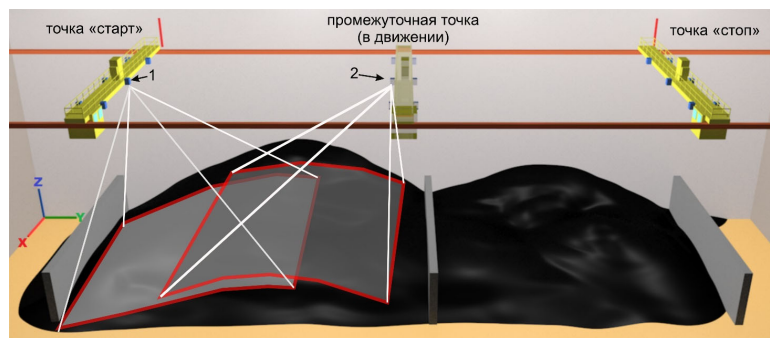


Рис. 5. Схема проведения съемочных работ (на снимке позицией 1 показана средняя камера «вперед», а позицией 2 – средняя камера «назад»)

- удаление старого проекта Agisoft Metashape;
- создание нового проекта Agisoft Metashape;
- импорт снимков в проект;
- импорт параметров калибровки камер;
- импорт центров фотографирования в точках «Старт» и «Стоп»;
- предварительная обработка снимков (исправление дисторсии);
- распознавание характерных точек на снимках (SIFT);
- уравнивание сети;
- формирование плотного облака точек;

– грейферный кран размещается в начале склада, в точке «Старт»;

– оператор крана нажимает на кнопку «Старт» на контроллере, тем самым запускает серийную съемку на IP-камерах, и начинает движение грейферного крана в конец склада, выполняя по таймеру съемку, к точке «Стоп»;

– по достижении точки «Стоп» оператор останавливает кран и нажимает на кнопку «Стоп» на контроллере. IP-камеры, получив от контроллера команду «Стоп», завершают серийную съемку и передают полученные снимки на сервер.

На данном складе за 2,5 минуты съемочных работ получается около 180 снимков с шести IP-камер, которые образуют три маршрута по 60 снимков в каждом.

Обработка фотосъемки

Обработка снимков выполняется в API Agisoft Metashape, который использует Python 3 в качестве языка сценариев. Сценарий обработки содержит следующие этапы:

- фильтрация облака точек;
- экспорт облака точек.

Результатом обработки снимков является облако точек поверхности склада в формате $X Y Z$ (рис. 6).

Подсчет объемов

Результатом подготовительных, съемочных работ и обработки снимков являются три файла: точек нулевой поверхности, точек поверхности склада и точек контуров подсчета объемов. Эти данные используются для автоматизации подсчета объемов.

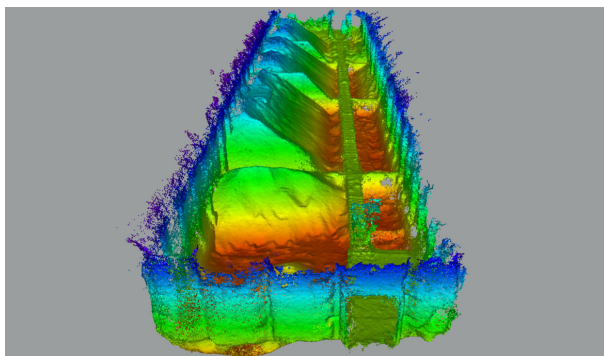


Рис. 6. Облако точек модели поверхности склада

Файл точек съемки часто содержит недостоверные данные, которые могут повлиять на точность подсчета объемов. К таким данным можно отнести точки ограждения, нависающие над сырьем и неправильно распознанные точки. Фильтрация точек осуществляется специальными методами, учитывающими угол естественного откоса материала.

Далее по точкам съемки строится регулярная сетка $(0,1 \times 0,1)$, представляющая собой поверхность сыпучих материалов. Также на основе файлов точек нулевой поверхности формируется регулярная сетка $(0,1 \times 0,1)$. Из файла точек контуров считываются полигоны, которые используются для вычисления объемов. Отдельно для каждого полигона рассчитыва-

ется объем между двумя поверхностями. По завершении расчетов формируется справка о подсчете объемов, которая передается пользователю на электронную почту, указанную в настройках контроллера.

На обработку съемки и расчет объемов требуется около 40 минут.

Анализ методики

Для анализа точности остановки грейферного крана в заданных точках и оценки привязки IP-камер в этих точках была выполнена съемка центров камер при двух остановках грейферного крана. В качестве геодезического обоснования использовалась условная система координат склада, состоящая из двух точек, с которых выполнялись измерения для определения координат центров фотографирования полярным способом. Методика и схема измерений электронным тахеометром Nikon NPL-352 обеспечивали ошибку определения координат точек и центров фотографирования не более 2,5 мм. Результаты приведены в табл. 1. По результатам замеров видно, что грейферный кран останавливается в заданных точках с погрешностью около ± 30 мм.

Для оценки точности подсчета объемов был выполнен замер объемов склада, с помощью данной методики и с помощью наземного лазерного сканера Riegl LMS Z620 (рис. 7)

Таблица 1

Отклонения привязки камер в повторных замерах

№	1-й замер			2-й замер			Разница		
	X, м	Y, м	Z, м	X, м	Y, м	Z, м	ΔX , м	ΔY , м	ΔZ , м
1_K	19,170	120,491	9,868	19,201	120,497	9,854	-0,031	-0,006	0,014
1_N	19,175	6,550	9,870	19,205	6,542	9,860	-0,030	0,008	0,010
2_K	12,611	119,966	9,856	12,644	119,957	9,876	-0,033	0,009	-0,020
2_N	12,616	6,025	9,858	12,642	6,020	9,852	-0,026	0,005	0,006
3_K	2,645	118,869	9,851	2,676	118,856	9,853	-0,031	0,013	-0,002
3_N	2,650	4,928	9,852	2,681	4,916	9,851	-0,031	0,012	0,001
4_K	18,193	115,167	10,054	18,176	115,156	10,047	0,017	0,011	0,007
4_N	19,198	1,226	10,056	19,177	1,214	10,060	0,021	0,012	-0,004
5_K	12,858	115,141	10,036	12,843	115,130	10,032	0,015	0,011	0,004
5_N	12,863	1,200	10,037	12,844	1,204	10,032	0,019	-0,004	0,005
6_K	2,701	115,121	10,038	2,676	115,129	10,037	0,025	-0,008	0,001
6_N	2,706	1,181	10,039	2,690	1,188	10,035	0,016	-0,007	0,004
Среднее							0,006	0,005	0,002
Максимальное							0,033	0,013	0,014

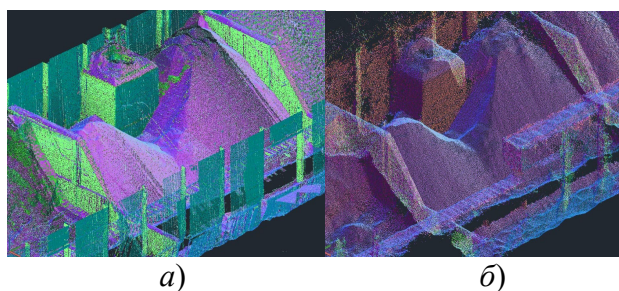


Рис. 7. Облака точек: а) результаты лазерного сканирования; б) автоматизированной системы

По результатам съемок видно, что облако точек, полученное с помощью лазерного сканирования, более плотное и детальное. Данные лазерного сканирования приняты за эталон.

Подсчет объемов по данным лазерного сканирования произведен в программном обеспечении Autodesk Civil 3D композитным методом по призмам. Анализ результатов приведен в табл. 2.

Таблица 2

Анализ результатов подсчета объемов двумя способами

Отделения	$V_0, \text{м}^3$	$V_1, \text{м}^3$	$\Delta_v = V_1 - V_0 , \text{м}^3$	$V_{\text{ср}}, \text{м}^3$	$\Delta_v/V_{\text{ср}}, \%$
1	2 905	2 972	67	2 938,5	2,3
2	1 745	1 826	81	1 785,5	4,5
3	1 132	1 151	19	1 141,5	1,7
4	228	226	2	227,0	0,9

Примечание. V_0 – объем, полученный автоматизированной системой; V_1 – объем, полученный по данным лазерного сканирования.

Расхождения между результатами двух методов съемки и подсчета объемов по четырем отделениям составили не более 4,5 %.

В соответствии с п. 43 (РД 07-604-03 «Инструкция по маркшейдерскому учету объемов горных работ при добыче полезных ископаемых открытым способом» Сер. 07. Вып. 13. – М. : Федеральное государственное унитарное предприятие «Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России», 2004. – 32 с.), если объем склада составляет менее 20 тыс. м^3 , то разница

между двумя независимыми определениями объема не должна превышать 12 %. Однако в новых правилах осуществления маркшейдерской деятельности (Приказ Ростехнадзора от 19.05.2023 N 186 «Об утверждении Правил осуществления маркшейдерской деятельности». – URL: <http://pravo.gov.ru> – Текст : электронный) дается допуск 2 % независимо от величины объема. Величина допуска в этом документе никак не аргументирована и не связана с используемыми методами съемки и объемами складов, что по мнению авторов является недостатком этого документа.

Также на данном складе был проведен сравнительный анализ времени съемочных работ и подсчета объемов различными методами. Результаты анализа приведены в табл. 3.

Таблица 3

Анализ времени съемки и подсчета объемов

Метод съемки	Полевые работы	Камеральные работы	Всего
Тахеометрическая съемка	4 часа	3 часа	7 часов
Лазерное сканирование	1,5 часа	3 часа	4,5 часов
Автоматическая система	2,5 минуты	40 минут	42,5 минуты

Заключение

Авторами разработана автоматизированная методика аэрофотосъемки с помощью передвижного грузоподъемного механизма, которая позволяет полностью автоматизировать процесс съемки и ее обработки и определять объемы материалов на складах. Все аппаратные и программные элементы методики объединяются в мобильном приложении Sklad.ark, которое имеет простой интерфейс и может управляться машинистом крана без привлечения специалистов маркшейдерской или геодезической службы предприятия.

Разработанная методика позволяет не только значительно сократить расходы на съемку, но и гарантирует безопасность персонала во время проведения работ. Время съемки и подсчета объемов по данной методике практически в 10 раз меньше времени выполнения работ традиционными методами, но при этом обеспечивается высокая точностьчисления объемов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Смольянинова Е. Н., Полищук Е. В. Проблемы современной складской логистики // Азимут научных исследований: экономика и управление. – 2019. – Т. 8. № 2 (27). – С. 292–294. – DOI 10.26140/anie-2019-0802-0071. – EDN LIXJEZ.
2. Джанизакович Х. Н. Современные геодезические технологии в городском строительстве // Механика и технологии. – 2022. – № 2 (2). – С. 226–229.
3. Рогова Н. С. Применение неметрических цифровых камер для контроля объемов перемещенного грунта при выполнении земляных работ на строительных площадках // Инновации и инвестиции. – 2018. – № 4. – С. 356–359. – EDN KJCPID.
4. Kiriak N. Development and implementation of technical decision for digital support of construction using photogrammetry methods // Nuclear Engineering and Design 16 July 2021. – DOI 10.1016/j.nucengdes.2021.111366. – EDN HKDIFP.
5. Тайлаков О. В., Коровин Д. С. Особенности фотограмметрической обработки аэрофотоснимков открытого угольного склада при использовании беспилотных летательных аппаратов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2016. – № 5. – С. 3–5. – EDN YJUWER.
6. Ержанкызы А., Шульц Р., Левин Е., Орынбасарова Э. О. Использование данных аэрофотосъемки для наземного лазерного сканирования // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XIV Междунар. науч. конгр. : Пленарное заседание : сб. материалов (Новосибирск, 23–27 апреля 2018 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2018. – С. 69–74.
7. Сальников В. Г., Басаргин А. А., Астапов А. М. Анализ способов подсчета объемов штабеля сыпучих материалов // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XV Междунар. науч. конгр., 24–26 апреля 2019 г., Новосибирск : сб. материалов в 9 т. Т. 1 : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия». – Новосибирск : СГУГиТ, 2019. № 1. – С. 203–211. – DOI 10.22764/2618-981X-2019-1-1-203-211. – EDN HAKNJJ.
8. Циношкин А. Г., Редькин В. А. Создание 3D-модели месторождения и подсчет объемов горных работ при календарном планировании с использованием программного обеспечения AutoCad Civil 3D, на примере Апсатского каменноугольного месторождения // Уголь. – 2017. – С. 66–69. – DOI 10.18796/0041-5790-2017-3-66-69. – EDN YHTMBV.
9. Комиссаров А. В., Аврунев Е. И., Ямбаев Х. К., Хлебникова Е. П. Сравнение точности определения объемов сыпучих материалов по данным съемки с беспилотных летательных аппаратов и геодезическим измерениям // Вестник СГУГиТ. – 2019. – Т. 24, № 4. – С. 70–77. – DOI 10.33764/2411-1759-2019-24-4-70-77. – EDN CCMBMW.
10. Kim I. H., Lim D. W., Jung J. W. Single-camera-based sand volume estimation of an excavator bucket // Multimedia Tools Appl. – 2019. – No. 78. – Pp. 5493–5522. – DOI 10.1007/s11042-019-7225-0.
11. Мустафин М. Г., Шокер Х. М. Оценка влияния линейно-угловых параметров лазерно-сканирующей съемки на точность построения модели объекта // Маркшейдерский вестник. – 2020. – № 6 (139). – С. 42–50. – EDN RSDQPI.
12. Шарафутдинова А. А., Брынь М. Я. Расчет параметров наземного лазерного сканирования промышленных объектов // Вестник СГУГиТ. – 2023. – Т. 28, № 2. – С. 26–39. – DOI 10.33764/2411-1759-2023-28-2-26-39. – EDN EJJPI.
13. Пат. RU2788655C1. Система автоматического расчета объемов сыпучего материала на складах закрытого типа [Текст] / Пастухова Г. В., Зотин Д. А. Торопов И. С. ; заявл. 2021.08.02 ; опубл. 2023.01.24.
14. Тутанова М. С., Леонов Н. Н., Рымкулова А. Б. Применение цифровой фотограмметрии на открытых горных работах // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XIX Международный научный конгресс, 17–19 мая 2023 г., Новосибирск : сборник материалов в 8 т. Т. 1 : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия». – Новосибирск : СГУГиТ, 2023. № 1. – С. 145–148. – DOI 10.33764/2618-981X-2023-1-1-145-148. – EDN YWHUNJ.

15. Tucci G., Gebbia A., Conti A., Fiorini L., Lubello C. Monitoring and computation of the volumes of stockpiles of bulk material by means of UAV photogrammetric surveying // Remote Sens. – 2019. – 11 (12). – P. 1471. – DOI 10.3390/rs11121471.
16. Тайлаков О. В., Макеев М. П., Коровин Д. С. Верификация пространственно-цифровых моделей открытых угольных складов, построенных по результатам аэрофотосъемки // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2017. – № 5 (123). – С. 68–73. – DOI 10.26730/1999-4125-2017-5-68-72. – EDN ZTSKZR.
17. Руководство пользователя Agisoft Metashape: Professional Edition, версия 2.1. 2024 [Электронный ресурс]. – URL: https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro_2_1_ru.pdf (дата обращения: 29.02.2024).
18. Михеева А. А., Ялтыхов В. В., Волков Д. О. Оценка возможности применения обзорной цифровой камеры, встроенной в электронный тахеометр для целей фотограмметрии // Вестник Полоцкого государственного университета. – 2017. – С. 166–173. – EDN ZVZDBT.
19. Yusheng Yang, Jun Xu, Willemijn S. Elkhuisen, Yu Song. The development of a low-cost photogrammetry-based 3D hand scanner // HardwareX21 June 2021 – 2021. – DOI 10.1016/j.ohx.2021.e00212.
20. Программа «Лис-Объем». Автор: Токин А. А. Номер регистрации (свидетельства): 2024617179. Дата регистрации: 29.03.2024. Бюл. № 4.
21. Alessandro Pozzebon, Marco Benini, Cristiano Bocci, Ada Fort, Stefano Parrino, Fabio Rappallo. Grid-layout ultrasonic LoRaWAN-based sensor networks for the measurement of the volume of granular materials // Measurement. – 2023. – 220. – 113404. – DOI 10.1016/j.measurement.2023.113404. – EDN LCDHJT.

Об авторах

Александр Алексеевич Токин – научный сотрудник.

Андрей Аркадьевич Шоломицкий – доктор технических наук, профессор кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела.

Получено: 14.11.2024

© А. А. Токин, А. А. Шоломицкий, 2025

The methodology of automated survey and calculation of bulk materials in warehouses

A. A. Tokin¹✉, A. A. Sholomitskii²

¹Center for Surveying and Geodetic Innovations Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russian Federation

²Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation

e-mail: alexandrtokin@gmail.com

Abstract. In the conditions of modern economic development of Russia, there is a significant growth in the volume of goods turnover and the development of logistics processes. Among all the components of the logistics chain, the warehouse plays a key role in organizing supplies and distributing goods. Accuracy and timeliness of accounting for material assets are the foundation for the smooth functioning of the logistics chain, ensuring continuous production and meeting customer needs. Therefore, attention to the process of accounting and control of warehouse stocks will increase, since the ability to effectively manage the volumes of materials in the warehouse not only increases the level of comfort, but is also the key to successful development. The article is devoted to the automa-

tion of the process of counting the volumes of bulk materials in warehouses. The use of specialized technologies and software helps to significantly simplify and speed up the process of inventory and accounting of stocks in the warehouse. A new approach to performing photogrammetric survey of warehouses based on moving loading mechanisms is proposed. The authors managed to fully automate the process of photogrammetric survey and its processing. This in turn reduced the load on the mine surveying and geodetic service and made it possible to significantly reduce the time of both "field" work and office processing. Automation of bulk material volume calculation in warehouses is an important step towards optimizing logistics processes and increasing the efficiency of warehouse management as a whole.

Keywords: logistics, IP cameras, photogrammetry, laser scanning, volume calculation, warehousing, automation of work

REFERENCE

1. Smolyaninova, E. N., & Polishchuk, E. V. (2019). Problems of modern warehouse logistics *Azimut nauchnykh issledovaniy: ekonomika i upravleniye* [Azimut nauchnih issledovaniy: ekonomika i upravlenie], 2019. T. 8. №2(27). P. 292–294 EDN LIXJEZ [in Russian].
2. Djanizakovich, H. N. Modern geodetic technologies in urban construction (2022) *Mehanika i tehnologii* [Mechanics and technology] 2022, №2 (2) C. 226–229. [in Russian].
3. Rogova N. S. (2018). The use of non-metric digital cameras to control the volume of displaced soil during excavation work on construction sites *Innovacii i investicii*. [Innovation and investment] № 4. 2018. P. 356–359 EDN KJCPID [in Russian].
4. Kiriak N. (2021). Development and implementation of technical decision for digital support of construction using photogrammetry methods *Nuclear Engineering and Design* 16 July 2021 DOI <https://doi.org/10.1016/j.nucengdes.2021.111366>. EDN HKDIFP.
5. Tailakov, O. V., Korovin, D. S. (2016). Features of photogrammetric processing of aerial photographs of an open coal warehouse using unmanned aerial vehicles *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Vestnik of Kuzbass State Technical University] №5. C. 3–5 [in Russian].
6. Erjankizi A., Shults R., Levin E., Orinbasarova E. O. (2018). Using aerial photography data for ground-based laser scanning *Interekspo Geo-Sibir'* [Interexpo Geo-Siberia] 69–74 [in Russian].
7. Salnikov V. G., Basargin A. A., Astapov A. M. (2019). Analysis of methods for calculating bulk materials stack volumes *Interekspo Geo-Sibir'* [Interexpo Geo-Siberia] P. 203–211. DOI 10.22764/2618-981X-2019-1-1-203-211 EDN HAKNJJ [in Russian].
8. Cinoshkin A. G., Redkin V. A. (2017). Creation of a 3D model of the deposit and calculation of mining volumes during calendar planning using AutoCAD Civil 3D software, using the example of the Apsat coal deposit. *Ugol* [Ugol], P. 66-69. DOI 10.18796/0041-5790-2017-3-66-69. EDN YHTMBB [in Russian].
9. Komissarov A. V., Avrunev E. I., Yambaev H.K., Hlebnikova E. P. (2019). Comparison of exact definitions of volumes with Canberrans and geodesics *Vestnik SGUGiT* [Vestnik SSUGT] T. 24, № 4, P. 70-77. DOI 10.33764/2411-1759-2019-24-4-70-77. EDN CCMBWM [in Russian].
10. Kim I. H., Lim D. W., Jung J. W. (2019). Single-camera-based sand volume estimation of an excavator bucket *Multimedia Tools Appl.*, 78 pp. 5493-5522/ DOI <https://doi.org/10.1007/s11042-019-7225-0>.
11. Mustafin M. G. , Shoker H. M. (2020). Assessment of the influence of linear-angular parameters of laser scanning on the accuracy of constructing an object model *Marksheiderskii Vestnik* [Surveyor's Bulletin], 2020-№6 (139). 42–50. DOI 10.33764/2411-1759-2023-28-2-26-39. EDN RSDQPI [in Russian].

12. Sharafutdinava A. A., Brin M. Ya. (2023). Calculation of parameters of ground-based laser scanning of industrial facilities *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]* Vol. 28, №2, 2023, 26–39. DOI 10.33764/2411-1759-2023-28-2-26-39. EDN EJPIM [in Russian].
13. Patent RF «System for automatic calculation of bulk material volumes in closed warehouses» (2023) RU2788655C1. Pastuhova G. V., Zotin D. A. Toropov I., 2023 [in Russian].
14. Tutanova M. S., Leonov N. N., Rimkulova A. B. (2023). Application of digital photogrammetry in open-pit mining, *Interekspo Geo-Sibir' [Interexpo Geo-Siberia]* T. 1. № 1. C. 145-148. DOI 10.33764/2618-981X-2023-1-1-145-148. EDN YWHUNJ [in Russian].
15. Tucci G., Gebbia A., Conti A., Fiorini L., Lubello C. (2019). Monitoring and computation of the volumes of stockpiles of bulk material by means of UAV photogrammetric surveying *Remote Sens.*, 11 (12), p. 1471.
16. Tailakov O.V., Makeev M. P., Korovin D. S. (2017). Verification of spatial-digital models of open-pit coal depots built according to the results of aerial photography *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta]*. № 5 (123). C. 68–73. DOI 10.26730/1999-4125-2017-5-68-72. EDN ZTSKZR [in Russian].
17. Agisoft Metashape User's Guide: Professional Edition, version 2.1. 2024. Retrieved from https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro_2_1_ru.pdf 02.29.24. [in Russian].
18. Miheeva A. A., Yaltihov V. V., Volkov D. O. (2017). Assessment of the possibility of using an overview digital camera integrated into an electronic total station for photogrammetry purposes *Vestnik Polockogo gosudarstvennogo universiteta [Vestnik Polockogo gosudarstvennogo universiteta]* 166–173 [in Russian].
19. Yusheng Yang, Jun Xu, Willemijn S. Elkhuizen, Yu Song (2021). The development of a low-cost photogrammetry-based 3D hand scanner (2021) *HardwareX21 June 2021* DOI <https://doi.org/10.1016/j.ohx.2021.e00212>.
20. Program "Fox-Volume" Author: Tokin A. A. Registration number (certificate): 2024617179 Registration date: 03/29/2024 Bulletin No. 4 [in Russian].
21. Alessandro Pozzebon, Marco Benini, Cristiano Bocci, Ada Fort, Stefano Parrino, Fabio Rappallo (2023). Grid-layout ultrasonic LoRaWAN-based sensor networks for the measurement of the volume of granular materials *Measurement* 220 113404. DOI 10.1016/j.measurement.2023.113404 EDN LCDHJT.

Author details

Alexander A. Tokin – Researcher.

Andrei A. Sholomitskii – D. Sc., Professor, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying.

Received 14.11.2024

© A. A. Tokin, A. A. Sholomitskii, 2025