

На правах рукописи

Токин Александр Алексеевич



Разработка методики автоматизированной съемки и подсчета объемов
сыпучих материалов на складах

1.6.22. Геодезия

Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук

Новосибирск – 2026

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Сибирский государственный университет геосистем и технологий» (СГУГиТ).

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Шоломицкий Андрей Аркадьевич.

Официальные оппоненты:

Брынь Михаил Ярославович, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», заведующий кафедрой инженерной геодезии.

Гура Дмитрий Андреевич, кандидат технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный технологический университет», доцент кафедры кадастра и геоинженерии.

Ведущая организация – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II» (г. Санкт-Петербург).

Защита диссертации состоится 2 июня 2026 г. в 15-00 на заседании диссертационного совета 24.2.402.01 при ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет геосистем и технологий» по адресу: 630108, Новосибирск, ул. Плеханова, 10, ауд. 402.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет геосистем и технологий»: <https://sgugit.ru/science-and-innovations/dissertation-councils/dissertations/tokin-aleksandr-alekseevich/>

Автореферат разослан 26 марта 2026 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Аврунев Евгений Ильич

Изд. лиц. ЛР № 020461 от 04.03.1997.

Подписано в печать 16.02.2026.

Формат 60 × 84 1/16. Печ. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ 19.

Отпечатано в издательско-полиграфическом центре СГУГиТ
630108, Новосибирск, Плеханова, 8.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Разработка методики автоматизации съемки и подсчета объемов сыпучих материалов на складах является актуальной задачей в современном мире, где эффективное управление складскими запасами для оперативного контроля движения объемов сырья становится все более важным. Маркшейдерские и геодезические измерения играют ключевую роль в точном определении объемов сыпучих материалов, что в свою очередь позволяет оптимизировать процессы складского хозяйства и управления запасами. Автоматизация этого процесса не только ускоряет и упрощает работу, но и снижает вероятность ошибок при подсчете объемов. Оперативный контроль сыпучих материалов на складах становится более эффективным и прозрачным благодаря использованию современных технологий и методик, что способствует повышению эффективности управления складскими ресурсами и снижению издержек предприятия.

Степень разработанности темы диссертационной работы определяется исследованием научных публикаций и трудов в области прикладной геодезии применительно к задачам фотограмметрической съемки, лазерного сканирования и обработки данных. В процессе работы над диссертацией использовались труды таких известных ученых в области прикладной геодезии и маркшейдерии, как Аврунев Е. И., Брынь М. Я., Гура Д. А., Ключин Е. Б., Комиссаров А. В., Мустафин М. Г., Могильный С. Г., Ознамец В. В., Сальников В. Г., Уставич Г. А., Шоломицкий А. А., Ямбаев Х. К., Rodríguez-Caballero, Vuzayan M. M и многих других.

Теоретическая база для определения объемов сыпучих материалов на складах на основе использования данных наземных геодезических измерений и аэрофотосъемки с применением стандартных авиационных комплексов достаточно

полно разработана и применяется на практике в соответствии со всеми нормативными инструкциями. Современные технологии автоматизации, такие как беспилотные летательные аппараты (БПЛА), оптические датчики и системы машинного зрения, повсеместно внедряются для повышения эффективности учета, однако интеграция этих технологий в единую методику все еще остается недостаточно изученной и реализованной.

Перспективным направлением является использование стационарных IP камер, размещенных по периметру склада. Этот подход позволяет проводить съемку в условиях закрытых и крытых складов, где применение БПЛА невозможно или небезопасно.

Целью исследования является обоснование и разработка методики автоматизации съемки и подсчета объемов сыпучих материалов на складах на примере склада нефтяного кокса.

Основные задачи исследований:

- анализ существующих методов и современных технологий съемки и подсчета объемов сыпучих материалов на складах сыпучих материалов, а также изучение применяемых подходов, их преимуществ и недостатков;
- разработка методики автоматизированной съемки, включая определение необходимого оборудования и программного обеспечения;
- проведение экспериментов для проверки эффективности и точности подсчета объемов по разработанной методике;
- сравнение результатов автоматизированной съемки с традиционными методами подсчета объемов сыпучих материалов на складах.

Объектом исследования являются современные системы накопления, обработки, хранения, передачи и использования геодезической информации, а также методы, технические средства и технологии геодезического обеспечения для определения параметров поверхности сыпучих материалов на промышленных объектах

строительной, нефтеперерабатывающей и угледобывающей отрасли народного хозяйства РФ.

Предмет исследования – разработка методики автоматизированной геодезической съемки включая определение параметров поверхности сыпучих материалов.

Научная новизна диссертационных исследований заключается в следующем:

– разработана методика автоматизированной съёмки складов сыпучих материалов, использующая установленные на подъёмно-транспортном оборудовании IP камеры для выполнения фотограмметрической съемки с последующим вычислением объемов;

– предложен новый алгоритм фильтрации облака точек «скользящим конусом», который, опираясь на геометрические свойства сыпучих материалов, эффективно устраняет шумы и ошибочные точки, сохраняя при этом данные о реальной поверхности материала;

– установлена количественная зависимость между погрешностями определения координат IP камер в точках «старт» и «стоп» маршрута съемки и точностью подсчёта объёмов, что позволяет оценивать достоверность результатов измерений.

Теоретическая значимость работы. Работа вносит вклад в развитие автоматизации геодезических крупномасштабных съемок и методов обработки данных, предлагая усовершенствованные подходы к автоматизации процессов съемки, фильтрации и подсчета объемов сыпучих материалов на складах. Разработанный метод автоматизированной съемки с использованием IP камер на подъемно-транспортном оборудовании, используемом в качестве мобильной платформы для имитации аэрофотосъемки, расширяет возможности фотограмметрии там, где применение БПЛА невозможно или затруднено.

Алгоритм фильтрации облака точек «скользящим конусом» на основе угла естественного откоса дополняет существующие подходы, повышая достоверность данных за счет устранения шумов. Предложенный комплексный подход к автоматизации съемки и обработки данных способствует развитию теории автоматизации геодезических измерений. Результаты работы могут быть использованы для дальнейших исследований в области фотограмметрии, учета складских запасов и обработки облаков точек, а также адаптированы для применения в маркшейдерском деле, строительстве и геодезии.

Практическая значимость работы заключается в повышении точности подсчета объемов, сокращении времени выполнения работ и снижении эксплуатационных расходов за счет автоматизации съемочных процессов и обработки данных. Результаты исследования могут быть применены в различных отраслях промышленности для повышения эффективности управления запасами сыпучих материалов, необходимых для устойчивого функционирования предприятий в различных отраслях экономики Российской Федерации.

Методология и методы исследования. Методологической базой исследования являются: теория математической обработки геодезических измерений, методы дискретной математики, методы статистического и сравнительного анализа, методы фильтрации геопространственных данных, численные методы подсчета объемов. Большинство из этих методов реализовано в виде алгоритмов в собственном программном обеспечении.

Положения, выносимые на защиту:

1 Разработанная методика автоматизированной съемки сыпучих материалов на складах с использованием IP камер, размещенных на подъемно-транспортном оборудовании, обеспечивает автоматизированное определение параметров поверхности сыпучих материалов с необходимой точностью.

2 Алгоритм фильтрации облака точек «скользящим конусом», основанный на геометрических характеристиках сыпучих материалов, позволяет эффективно

устранять шумы и ошибочно распознанные точки при сохранении достоверных данных о поверхности сыпучих материалов.

3 Выявленная зависимость между ошибками определения координат центров фотографирования IP камер в точках начала и конца маршрута и ошибками определения объемов позволяет оценивать точность вычисления объемов.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности. Тематика диссертации соответствует следующим областям исследований: 11 – Методы, технические средства и технологии геодезического обеспечения строительномонтажных, кадастровых, землеустроительных, проектно-изыскательских, маркшейдерских, геолого-разведочных и лесоустроительных работ; освоения шельфа; монтажа, юстировки и эксплуатации технологического оборудования и других прикладных задач; 14 – Создание геодезических сетей сгущения для площадных и линейных инженерных сооружений, в том числе специальных геодезических сетей. Создание крупномасштабных цифровых инженерно-топографических планов промышленных площадок наземными и воздушными методами, включая лазерное сканирование паспорта научной специальности 1.6.22. Геодезия, разработанного экспертным советом ВАК Минобрнауки России по техническим наукам.

Степень достоверности и апробации результатов исследований. Методы и подходы, использованные в исследовании, базируются на современных достижениях в области фотограмметрии, геодезии, автоматизации процессов и обработки данных. В работе учтены результаты научных исследований, представленные в отечественной и зарубежной литературе, а также нормативные документы, регулирующие геодезическую и маркшейдерскую деятельность.

Исследования были реализованы в виде программного обеспечения и аппаратной платформы, включающей IP камеры, сервер и контроллер. Созданный прототип был установлен на грейферном кране склада нефтяного кокса, где показал высокую точность и скорость учета объемов сыпучих материалов.

Результаты диссертационного исследования были представлены и обсуждены на следующих научных конференциях: XXIV Всероссийской научно-технической конференции с международным участием «ГЕОНАУКИ – 2024» (Иркутск, 2024); XX Международной выставке и научном конгрессе «Интерэкспо ГЕО-Сибирь 2024» (Новосибирск, 2024); Международной научно-технической конференции «Перспективы применения цифровых технологий в рациональном и безопасном недропользовании» (Ташкент, 2024); XXXIII Международной научном симпозиуме «Неделя горняка – 2025» (Москва, 2025); МАЙНЕКС Дальний Восток – 2025 (Магадан, 2025); XXI Международной выставке и научном конгрессе «Интерэкспо ГЕО-Сибирь 2025» (Новосибирск, 2025).

Публикации по теме диссертации. Основные положения и результаты исследований отражены в 6 научных работах, 3 из которых опубликованы в изданиях, входящих в перечень российских рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, получено одно свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Структура диссертации. Общий объем диссертации составляет 125 страниц машинописного текста. Диссертация состоит из введения, 4 разделов, заключения, списка литературы, включающего 115 наименований, содержит 12 таблиц, 38 рисунков, 6 приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность темы исследований, формулируются цель и задачи исследований, научная новизна, теоретическая и практическая значимость, устанавливается достоверность результатов исследования, а также приводятся основные положения, выносимые на защиту.

Первый раздел диссертационного исследования посвящен анализу современного состояния проблемы съемки и подсчета объемов сыпучих материалов

на складах. В нем подробно рассматриваются существующие методы и технологии, применяемые для определения объемов сыпучих материалов, включая традиционные геодезические методы и современные подходы с использованием беспилотных летательных аппаратов, лазерного сканирования и фотограмметрии. Особое внимание уделяется исследованию точности различных методов измерений и факторов, влияющих на погрешности при подсчете объемов. Проведен анализ нормативных требований к точности подсчета объемов сыпучих материалов и их влияния на выбор технологий измерений. Также рассмотрены вопросы автоматизации процессов сбора данных и обработки результатов измерений, выявлены основные проблемы и ограничения существующих подходов. На основе проведенного анализа обоснована необходимость разработки новых методик автоматизации съемочных работ и подсчета объемов, направленных на повышение точности и эффективности измерений. Подробно рассмотрены возможности применения современного оборудования и программного обеспечения для автоматизации процессов съемки и обработки данных. Представленные данные свидетельствуют о том, что внедрение автоматизированных систем съемки и подсчета объемов для повышения точности измерений, снижения трудозатрат и минимизации человеческого фактора является актуальной научной задачей в сложившейся ситуации.

Второй раздел диссертации посвящен разработке методики автоматизации съемочных работ при подсчете объемов сыпучих материалов на складе нефтяного кокса. В начале раздела обосновывается актуальность выбора темы исследования, которая связана с необходимостью повышения точности и эффективности учета сыпучих материалов при съемке в условиях различных типов складов.

Рассматриваются вопросы выбора оптимального съемочного оборудования, которое соответствует заданным техническим требованиям и обеспечивает не-

обходимую точность измерений при минимальных временных затратах. Описываются различные варианты размещения оборудования на складе, их преимущества и недостатки.

Предложено использовать подъемно-транспортное оборудование, используемое на складах, для подъема и перемещения сыпучих материалов, в качестве мобильной платформы для размещения съемочного оборудования и выполнения съемки склада в движении.

В рамках дальнейшего исследования на примере склада нефтяного кокса, изучались различные технологические подходы к съемке складского помещения с размещением съемочного оборудования на мостовом грейферном кране, который используется в качестве основного подъемно-транспортного механизма на данном объекте (рисунок 1).

В результате исследования была выбрана фотограмметрическая съемка с размещением IP камер на мостовом грейферном кране.

Для определения необходимого количества размещаемых IP камер и их характеристик, были выполнены следующие расчеты:

- вычислены допустимы погрешности определения объема;
- определены параметры пространственного разрешения;
- с учетом необходимого поперечного перекрытия рассчитано необходимое количество маршрутов (IP камер);
- с учетом продольного перекрытия определено необходимое количество снимков в каждом маршруте;
- для повышения эффективности зоны охвата определен угол наклона камеры.



Рисунок 1 – Мостовой грейферный кран на складе нефтяного кокса

В ходе выполнения научно-исследовательской работы был проведен сравнительный анализ различных моделей камер с целью выбора оптимального решения для поставленных задач. В результате проведенных испытаний было принято решение о разработке специальной камеры, отвечающей заданным техническим требованиям (рисунок 2).

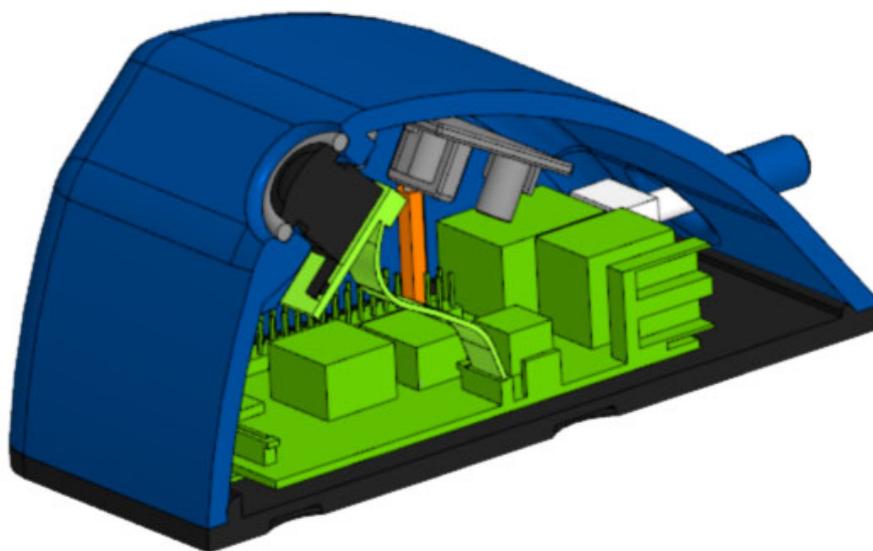


Рисунок 2 – Разработанный проект камеры «ЛИС-Кам»

В результате были разработаны 6 IP камер «ЛИС-Кам» со следующими характеристиками (рисунок 3): пылевлагозащитный корпус IP66, модуль камеры IMX219, размер CMOS – 1/4 дюйма, фокусное расстояние – 1,325 мм, угол обзора камеры – 120 градусов, разрешение – 3280 x 2464, размер матрицы – 3,674 × 2,760 мм, беспроводная связь IEEE 802.11ac 2,4-5,0 ГГц, скорость передачи данных 10 Мб, потребляемая мощность 0,6 А, напряжение питания 220 В, рабочая температура -30...+40° С, встроенный вычислительный модуль raspberry pi 4.

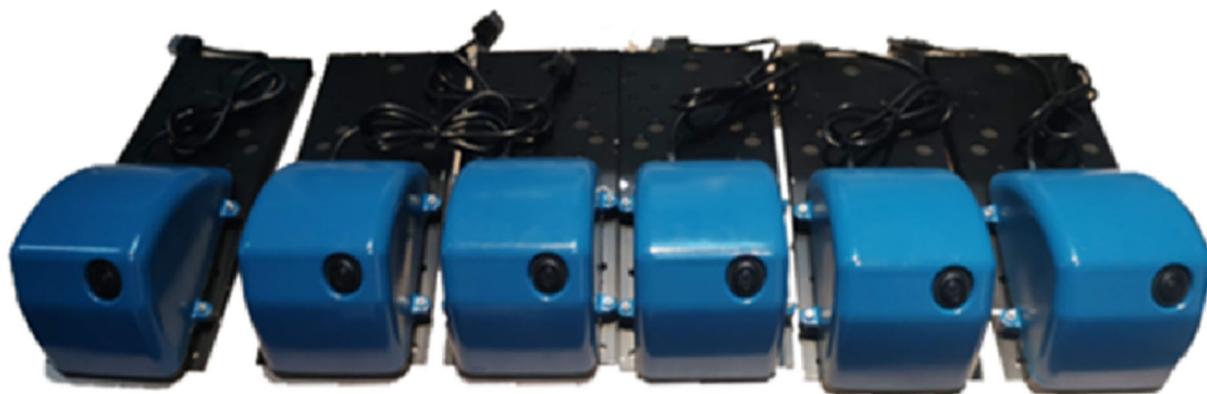


Рисунок 3 – IP Камеры «ЛИС-Кам» с креплениями

Управление камерами осуществляется дистанционно посредством программных алгоритмов, что позволяет гибко настраивать параметры съемки и контролировать работу камер. Передача данных осуществляется как по проводным интерфейсам, так и через беспроводную сеть Wi-Fi, что обеспечивает универсальность и удобство эксплуатации устройства в различных условиях. Калибровка камер выполнена по рекомендациям «Руководства пользователей Agisoft Metashape» по шахматной доске.

Камеры были установлены в нижней части грейферного крана: три камеры ориентированы вперед и три – назад (рисунки 4, 5). Питание устройств осуществ-

ляется непосредственно от электросети крана, что исключает необходимость использования дополнительных источников энергии и упрощает интеграцию системы в существующую инфраструктуру.



Рисунок 4 – IP камеры, установленные на грейферном кране

Далее в разделе приведены подготовительные работы, включающие в себя:

- создание на складе локальной сети координат;
- определение точек старта и остановки грейферного крана;
- привязку камер в точках старта и остановки;
- тахеометрическую съемку нулевой поверхности, контуров подсчета объемов, контрольных точек;
- определение элементов внешнего ориентирования IP камер.

Следующим этапом является разработка методики проведения съемочных работ IP камерами при движении грейферного крана от точки старта до точки остановки (рисунок 5). Тем самым съемка с грейферного крана имитирует аэрофотосъемку с БПЛА с тремя маршрутами в прямом и тремя – в обратном направлении.

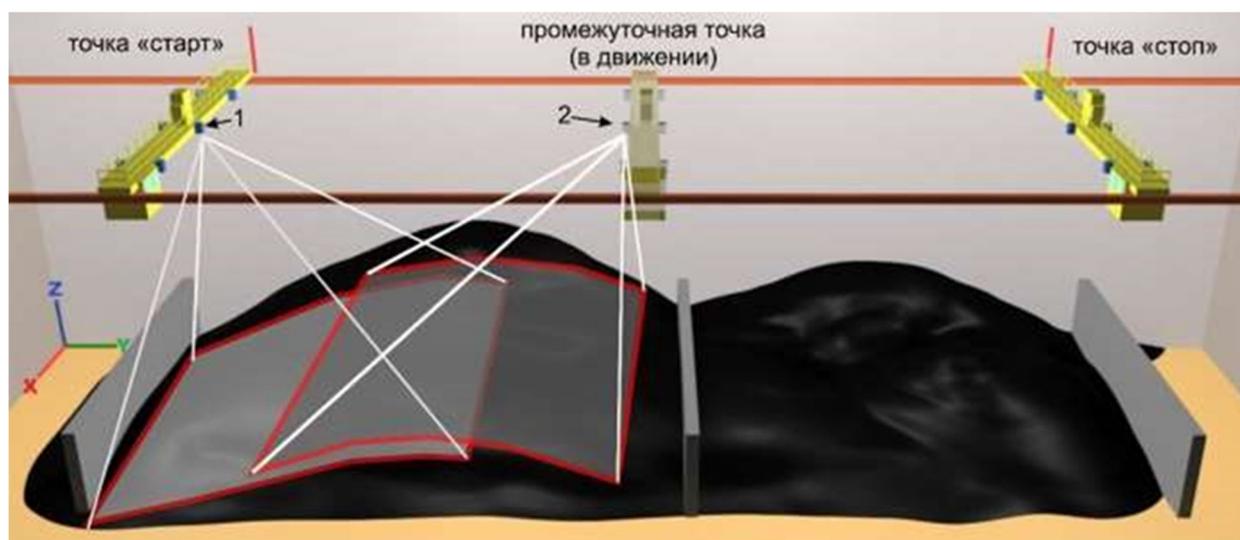


Рисунок 5 – Схема проведения съемочных работ (на снимке позицией 1 показана средняя камера «вперед», а позицией 2 – средняя камера «назад»)

В ходе проведения съемочных работ, при скорости перемещения грейферного крана 0,5 м/с и частоте съемки, составляющей один кадр каждые 5 секунд, с использованием шести камер было получено 180 снимков. Общая продолжительность съемки составила около 3 минут 20 секунд.

Также в разделе подробно описываются методы контроля качества съемки и способы обработки полученных результатов. Проводится анализ точности получаемых данных и сравнение их с нормативными требованиями. Для повышения эффективности процесса предложена комплексная автоматизация всех этапов съемочных работ. Полученные результаты приведены на рисунке 6.

Важной частью раздела является описание созданной интегрированной сетевой инфраструктуры, объединяющей IP камеры и локальный сервер в единую локальную сеть. Также представлено разработанное автором мобильное приложение «Skład», которое устанавливается на мобильное устройство оператора, что позволяет контролировать весь процесс съемки в режиме реального времени.

Результаты исследований подтвердили эффективность использования подъемно-транспортного оборудования в качестве мобильной платформы для фото-

грамметрической съемки склада сыпучих материалов, обеспечив высокую точность (0,021 м в плане и 0,023 м по высоте) и значительное сокращение времени съемки до 3 минут 20 секунд.

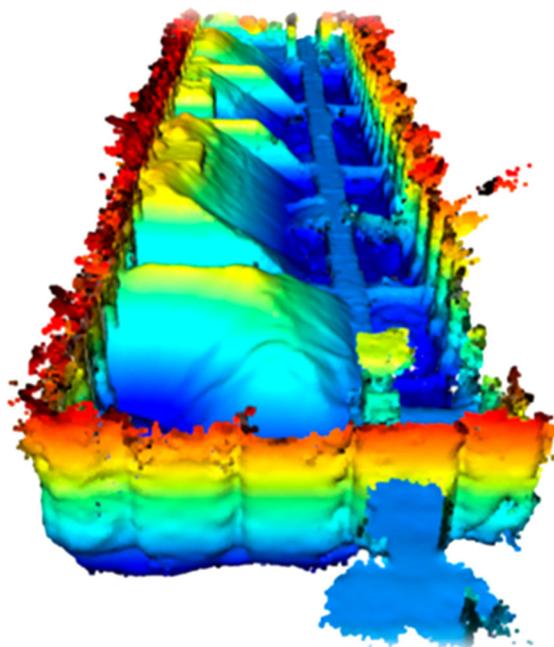


Рисунок 6 – Полученное облако точек поверхности сыпучих материалов на складе

Третий раздел диссертации посвящен разработке методики автоматизации фотограмметрической обработки снимков и подсчета объемов сыпучих материалов на складе. В этом разделе подробно описываются программные алгоритмы, разработанные для автоматизации фотограмметрической обработки с использованием API Agisoft Metashape.

Особое внимание уделяется новому методу фильтрации облака точек – методу «скользящего конуса», который позволил значительно повысить точность подсчета объемов по сравнению со стандартными методами фильтрации. Метод «скользящего конуса» базируется на применении пространственных ограничений для выделения значимых точек облака, соответствующих заданным геометрическим критериям. В каждой точке облака формируется вертикальный конус

с вершиной в данной точке и основанием, направленным вверх. Угол при вершине конуса определяется геометрическими свойствами исследуемого материала, такими как угол естественного откоса, который варьируется в диапазоне от 20 до 36° для различных материалов. Точки, расположенные внутри конусов, классифицируются как не относящиеся к сыпучим материалам, шумовые или выбросы и исключаются из облака. На рисунке 7 иллюстрируется расположение конуса на нескольких точках вертикального сечения облака точек, полученного в результате съемки.

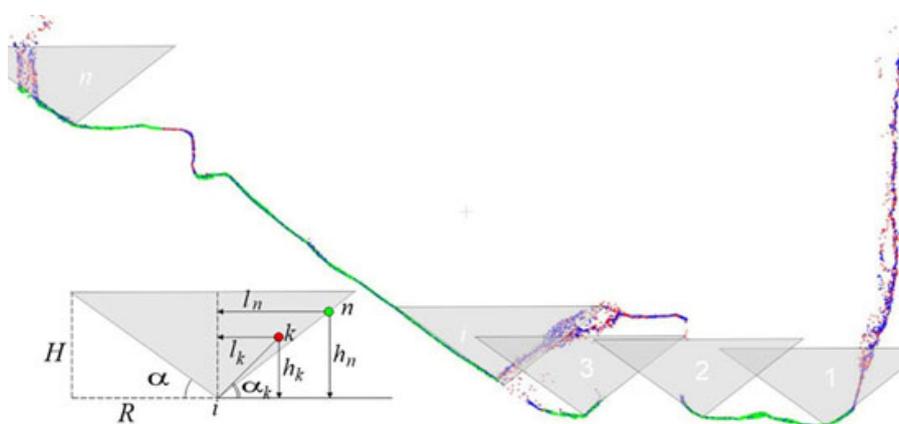


Рисунок 7 – Фильтрация облака точек методом «скользящего конуса», где α – угол естественного откоса сыпучего материала склада, является основным параметром конуса; H – высота конуса; R – радиус основания.

Эти параметры служат для ограничения выборки при анализе множества M_p и подбираются программно

Конус перемещается по множеству точек M_p . Принадлежность некоторой точки k внутреннему объему конуса, построенному на точке i , определяется выражением:

$$\left(\arctg \frac{h_k}{l_k} > \alpha \right) \wedge (z_i < z_k < (z_i + H)) \wedge (l_k < R), \quad (1)$$

$$\arctg \frac{z_k - z_i}{\sqrt{(x_k - x_i)^2 + (y_k - y_i)^2}} > \alpha. \quad (2)$$

В таком случае операцию фильтрации облака точек «скользящим конусом» можно формализовать в виде:

$$\forall p_k \in Con_i \rightarrow M_p'' = M_p - p_k, \quad (3)$$

где $M_p'' \subset M_p$ – множество точек поверхности склада, является подмножеством множества M_p , очищенным от ошибочных точек и шумов, которое используется в дальнейшем для вычисления объема склада.

Построение конусов для каждой точки облака надежно определяет точки, относящиеся к сыпучим материалам, сохраняя основные формы и границы.

Использование угла естественного откоса α позволяет адаптировать метод к различным типам сыпучих материалов, обеспечивая гибкость и высокую точность фильтрации.

Метод «скользящего конуса» особенно полезен при автоматизации подсчета объемов сыпучих материалов, где требуется очистка облака точек от нерелевантных данных без потери информации о поверхности материала. Облако точек, отфильтрованное по методу «скользящего конуса», представлено на рисунке 8.

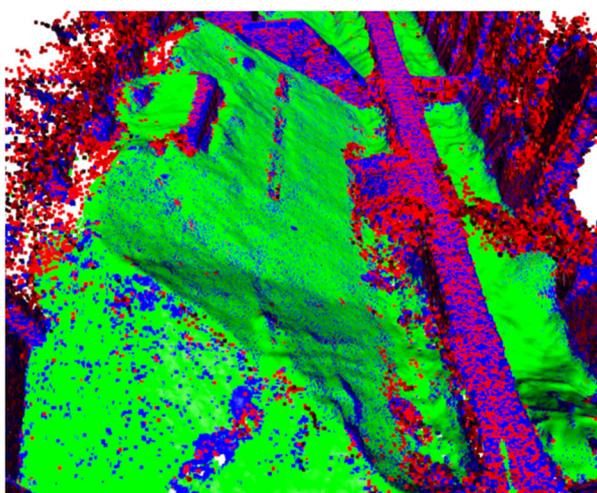


Рисунок 8 – Облако точек, отфильтрованное методом «скользящего конуса», где обозначено синим – исходное облако точек; красным – шумы, выбросы; зеленым – отфильтрованные точки поверхности

Доказано, что применение данного метода фильтрации практически в два раза повышает точность подсчета объемов. В таблице 1 представлены результаты сравнительного анализа подсчета объемов по четырем отделениям склада при различных методах фильтрации в сравнении с результатами, полученными при лазерном сканировании и фильтрации вручную.

Таблица 1 – Сравнительный анализ результатов подсчета объемов сыпучих материалов

Метод съемки	Метод фильтрации	№ 1	%	№ 2	%	№ 3	%	№ 4	%
Лазерное сканирование	Вручную	2972	-	1826	-	1151	-	226	-
Автоматическая система	Agisoft Metashape	2905	2,3	1745	4,5	1132	1,7	228	0,9
	Скользящим конусом	2934	1,3	1796	1,7	1138	1,1	226	0,0

Также в разделе рассматриваются этапы автоматизации процесса подсчета объемов по полученным данным, в которых описаны следующие алгоритмы:

- линейная интерполяция исходных данных, для приведения дискретных данных к равномерным массивам;
- автоматическое определение размеров ячеек сетки интерполяции;
- вычисление массива разницы высот между массивами интерполированного облака точек и интерполированных точек нулевой поверхности;
- определение точек, принадлежащих контуру подсчета объемов;
- подсчет объемов методом призм по массиву точек, принадлежащих контуру подсчета объемов.

Полученные результаты автоматически формируются в виде справки о подсчете объемов и отправляются на электронную почту пользователя, указанную в настройках контроллера, в приложении «Sklad».

Общая схема вышеописанных этапов автоматизации представлена в виде схемы на рисунке 9.

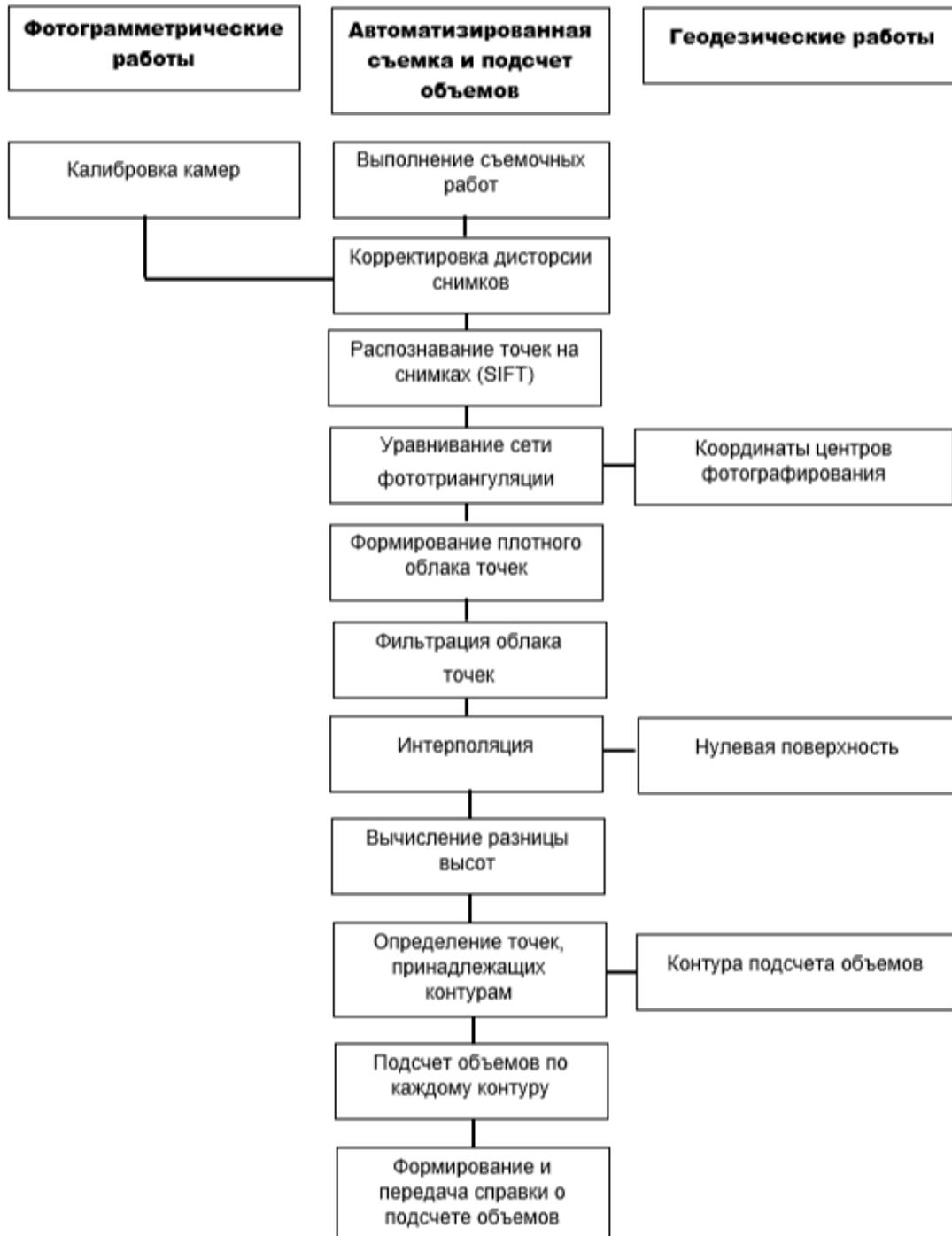


Рисунок 9 – Блок-схема разработанной методики

Разработанные алгоритмы и методы позволили существенно оптимизировать процесс обработки данных и повысить точность определения объемов сыпучих материалов на складе. Все предложенные решения были протестированы и показали высокую эффективность при практическом применении.

В конце раздела приведен сравнительный анализ результатов съемки и подсчета объемов между предложенной методикой и подсчетом объемов по данным наземного лазерного сканирования, выполненном в программном обеспечении Autodesk Civil 3D композитным методом по призмам.

Четвертый раздел диссертации посвящен практической реализации разработанной методики автоматизации съемки и подсчета объемов сыпучих материалов на примере склада нефтяного кокса. В разделе описывается процесс внедрения автоматизированной системы на складе.

Особое внимание уделяется сравнительному анализу результатов подсчета объемов, полученных с помощью автоматизированной системы, с данными геодезических измерений (таблица 2) и весовым учетом по серии измерений (таблица 3).

Таблица 2 – Результаты сравнительного анализа определения объемов складированного материала

Вид обработки	Анодная масса, м ³	Сырой нефтяной кокс, м ³	Прокаленный нефтяной кокс, м ³	Сырой пековый кокс, м ³
Автоматизированная система	1509	2618	3627	2797
Геодезический замер	1563	2419	3827	2680
Среднее значение	1536	2518,5	3727	2738,5
Разница	-54	199	-200	117
%	-3,5	7,9	-5,4	4,3

Таблица 3 – Анализ результатов по серии измерений (прокаленный нефтяной кокс)

Дата, время измерений	Прокаленный нефтяной кокс					
	Объем скан, м ³	Приход	Расход	Отчетный остаток	Отклонение %	Отклонение м ³
04.09.24, 13:12	3273,0					
05.09.24, 11:22	3120,0	140,8	302,1	3111,7	-0,3	-8,3
05.09.24, 17:10	3268,0	227,3	78,9	3268,4	0,0	0,4
06.09.24, 09:51	3272,0	152,7	210,1	3210,6	-1,9	-61,4
06.09.24, 14:55	3317,0	146,2	69,0	3349,3	1,0	32,3

Методом статистического моделирования проведен анализ влияния точности определения начальной и конечной точки маршрута на конечные результаты подсчета объемов при остановке грейферного крана (рисунок 10).

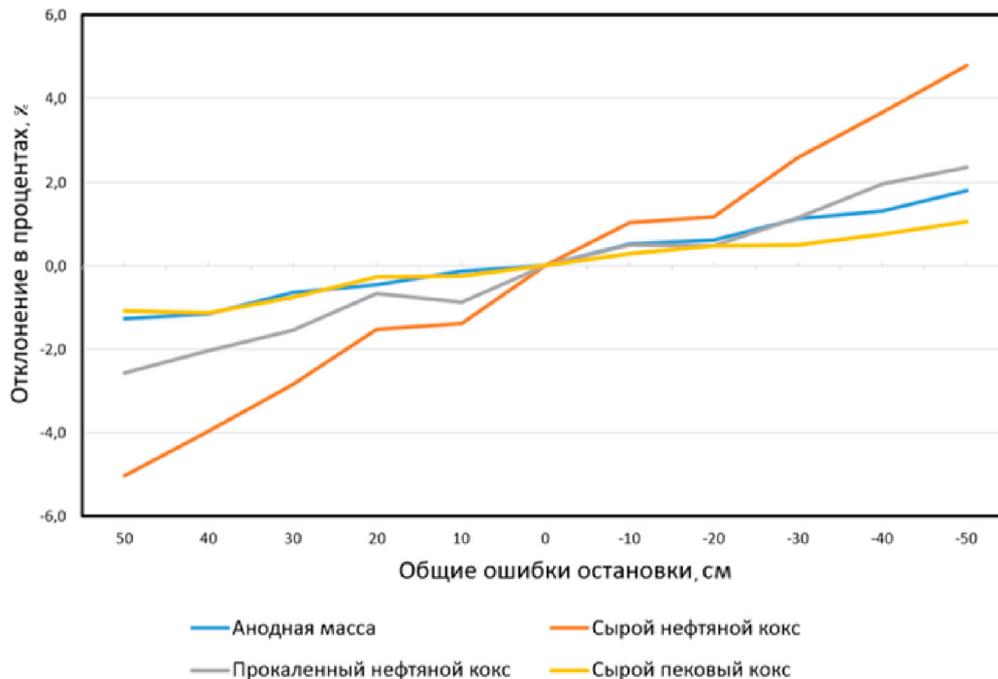


Рисунок 10 – Диаграмма зависимостей отклонений объемов от ошибок определения координат

Диаграмма на рисунке 10 показывает, что даже при ошибках позиционирования в положениях крана в точках «старт» и «стоп» ± 10 см, ошибки определения объемов находятся в диапазоне от ± 2 %.

Описанные результаты тестирования подтвердили эффективность разработанной методики и ее соответствие современным нормативным требованиям. Также отмечено, что внедрение системы позволило оптимизировать процесс измерений и повысить точность подсчета объемов до 98 %. На рисунке 11 представлена диаграмма сравнения временных затрат при различных методах съемки.

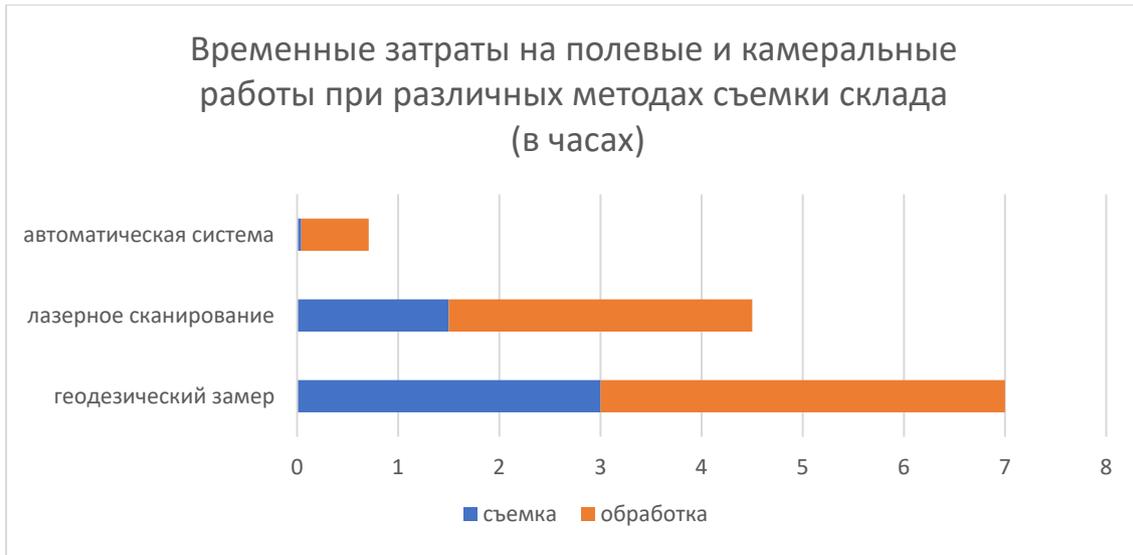


Рисунок 11 – Диаграмма временных затрат (трудоемкости) на выполнение измерений и обработки

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационном исследовании автором получены следующие результаты:

- выполнен анализ нормативных требований к съемке и подсчету объемов сыпучих материалов. Рассмотрены существующие методы и современные технологии выполнения съемочных работ и подсчета объемов. Проанализированы существующие методы автоматизации;

- разработана методика, базирующаяся на инновационном использовании IP камер, размещенных на подъемно-транспортном оборудовании. Данный подход обеспечивает возможность имитации аэрофотосъемки в условиях, где применение беспилотных летательных аппаратов и лазерных сканирующих систем затруднительно или небезопасно. Разработанная компьютерная реализация методики позволяет эффективно применять ее в различных отраслях экономики Российской Федерации;

- результаты экспериментальных исследований демонстрируют, что применение алгоритма фильтрации пространственных данных поверхности сыпучих

материалов на основе разработанного метода «скользящего конуса» позволяет существенно повысить точность вычисления объемов;

– полученные результаты демонстрируют хорошую сходимость с традиционными геодезическими методами съемки и данными весового контроля при значительном снижении трудозатрат.

Результаты исследования рекомендуются к использованию на складах сыпучих материалов, применяющих подъемно-транспортное оборудование для перемещения сырья.

Перспективы дальнейших исследований по данной тематике заключаются в разработке методов точного определения траектории движения подъемно-транспортного оборудования с расположенными на нем IP камерами, что позволит определять параметры поверхности сыпучих материалов в любом интересующем месте без необходимости выполнять съемку всего склада.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1 Токин, А. А. Фотограмметрический метод съемки сыпучих материалов на складах с размещением IP камер на грузоподъемных механизмах / А. А. Токин – Текст : непосредственный // Маркшейдерский вестник. – 2024. – № 2 (152). – С. 31–38. (К 3).

2 Токин, А. А. Методика автоматизированной съемки и подсчета объемов сыпучих материалов на складах / А. А. Токин, А. А. Шоломицкий. – Текст : непосредственный // Вестник СГУГиТ. – 2025. – Т. 30, № 3. – С. 31–40. – DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-3-31-40. (К 1).

3 Токин, А. А. Методика фильтрации облака точек методом скользящего конуса / А. А. Токин, А. А. Шоломицкий, В. В. Щербаков // Вестник СГУГиТ. – 2025. – Т. 30, № 5. – С. 15–23. – DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-5-15-23. (К 1).

4 Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ, № 2024617179 Российская Федерация. Лис-Объем: № 2024615605; дата поступления 21.03.2024; дата регистрации: 29.03.2024 / Токин А. А.; правообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет» (RU). – Текст : непосредственный.

5 Токин, А. А. Автоматизированный метод съемки сыпучих материалов на складах / А. А. Токин – Текст : непосредственный // Международная научно-техническая конференция «Перспективы применения цифровых технологий в рациональном и безопасном недропользовании», 8–9 октября 2024 г., Ташкент : сб. статей. – Ташкент : ТГТУ , 2024. – С. 149–153.

6 Токин, А. А. Методика автоматизации подсчета объемов на складах сыпучих материалов / А. А. Токин. – Текст: непосредственный // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. – 2025. – Т. 12, № 1. – С. 86–94.