



ПЕРВОЕ ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ РОССИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМПЕРАТРИЦЫ ЕКАТЕРИНЫ II»

УТВЕРЖДАЮ



Первый проректор,
д-р техн. наук, профессор
Марат Леонидович Рудаков

03 _____ 2026 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II»
на диссертацию

Токина Александра Алексеевича

**«Разработка методики автоматизированной съемки
и подсчета объемов сыпучих материалов на складах»,**

представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 1.6.22. Геодезия.

1. Актуальность темы диссертации

В современных рыночных условиях делопроизводства, характеризующихся высокой конкуренцией и требовательностью к операционной эффективности, вопросы точного учета и контроля материальных ресурсов приобретают стратегическое значение для предприятий различных отраслей промышленности. Особую сложность представляет учет сыпучих материалов (угля, руды, зерна, нефтяного кокса, химического сырья и пр.), который является критически важным элементом логистических цепочек, производственного планирования и управления запасами в таких сферах, как горнодобывающая, металлургическая, энергетическая, нефтеперерабатывающая, химическая промышленность и агропромышленный комплекс.

Традиционные методы геодезической съемки и подсчета объемов сыпучих материалов, основанные на использовании тахеометров, нивелиров и ручных измерений, в настоящее время не отвечают требованиям оперативности и экономической эффективности. Они характеризуются значительной трудоемкостью, длительностью проведения полевых и камеральных работ, а также высокой зависимостью от человеческого фактора, что неизбежно приводит к существенным погрешностям в определении объемов. Финансовые последствия таких погрешностей могут быть

Вх № 01.05/01/3
ДАТА 13.04.2026

крайне весомыми, учитывая высокую стоимость многих видов сыпучих материалов и большие объемы их хранения.

Современные технологии, такие как воздушное лазерное сканирование (LiDAR) и аэрофотосъемка с использованием беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), безусловно, совершили прорыв в области крупномасштабной съемки открытых территорий. Однако их применение наталкивается на серьезные ограничения при работе в условиях крытых и закрытых складов, которые повсеместно распространены в промышленности. Отсутствие сигналов ГНСС, запыленность воздуха, наличие выступающих конструкций и стесненные условия делают использование БПЛА невозможным или крайне опасным. Альтернативные подходы, предполагающие развертывание стационарных систем на основе лазерных сканеров или сетей камер, требуют значительных капиталовложений, сложны в масштабировании для крупных объектов и зачастую не обеспечивают требуемой нормативной точности.

Таким образом, налицо существует устойчивый научно-технический запрос на разработку новой, экономически эффективной и высокоточной методики, которая позволила бы автоматизировать процесс съемки и подсчета объемов сыпучих материалов именно в сложных условиях закрытых промышленных пространств.

Диссертационное исследование Токина Александра Алексеевича направлено на решение этой важной производственной задачи. Предлагаемый автором инновационный подход, основанный на использовании существующей инфраструктуры складов – подъемно-транспортного оборудования – в качестве мобильной платформы для размещения комплекса IP камер, позволяет эффективно обойти указанные ограничения. Разработка соответствующего методического, алгоритмического и программного обеспечения для автоматизированной фотограмметрической съемки, фильтрации данных и вычисления объемов представляет собой актуальное научное исследование, результаты которого имеют высокий потенциал для коммерциализации и внедрения на промышленных предприятиях Российской Федерации.

2. Научная новизна

Научная новизна диссертационного исследования Токина Александра Алексеевича заключается в следующем:

1. Разработана оригинальная методика автоматизированной съемки сыпучих материалов на складах с использованием IP камер, размещенных на подъемно-транспортном оборудовании, которая позволяет имитировать аэрофотосъемку в условиях, где применение БПЛА невозможно или небезопасно;

2. Предложен алгоритм фильтрации облака точек «скользящим конусом», основанный на геометрических характеристиках сыпучих материалов, который обеспечивает эффективное удаление шумов и ошибочно распознанных точек без потери данных о поверхности материала;

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

Новизна работы подтверждается практическими результатами. Автору удалось добиться точности в пределах 2%, что существенно превышает точность тахеометрической съемки.

3. Значимость полученных автором диссертации результатов для развития геодезии

Теоретическая значимость работы заключается в развитии методов автоматизации геодезических измерений и обработки пространственных данных. Разработанные алгоритмы фильтрации облаков точек и методика использования подъемно-транспортного оборудования как

мобильной платформы расширяют научные представления о возможностях фотограмметрии в условиях ограниченного пространства.

Практическая значимость исследования подтверждена тестированием на складе нефтяного кокса и заключается в следующем:

- повышении точности учета объемов сыпучих материалов до 98%;
- сокращении времени проведения съемочных и камеральных работ в 5-7 раз;
- уменьшении эксплуатационных расходов за счет автоматизации процессов;
- возможности применения в различных отраслях промышленности (горнодобывающей, строительной, нефтеперерабатывающей);
- минимизации человеческого фактора и повышении безопасности работ;

Разработанная методика представляет законченное научно-техническое решение, готовое к широкому практическому применению на промышленных предприятиях Российской Федерации.

4. Рекомендации по использованию результатов работы

Полученные в диссертационном исследовании теоретические и практические результаты имеют существенное значение для развития геодезии, в частности, в области автоматизации геодезических измерений, фотограмметрической обработки данных и мониторинга промышленных объектов. Разработанная методика автоматизированной съемки и подсчета объемов сыпучих материалов с использованием подъемно-транспортного оборудования и IP камер открывает новые возможности для проведения высокоточных крупномасштабных съемок в условиях закрытых и сложных пространств, где традиционные методы, включая применение БПЛА, оказываются неприменимы. Предложенный алгоритм фильтрации облака точек «скользящим конусом» позволяет существенно повысить достоверность данных о поверхности сыпучих материалов, что является важным вкладом в развитие методов обработки пространственной информации. Результаты работы рекомендуется использовать в практической деятельности предприятий горнодобывающей, нефтеперерабатывающей, строительной и других отраслей промышленности для оперативного и точного учета объемов сыпучих материалов, а также в учебном процессе при подготовке специалистов в области геодезии, фотограмметрии и маркшейдерии для демонстрации современных подходов к автоматизации геодезических работ. Кроме того, разработанные технические и программные решения могут служить основой для создания тиражируемых систем мониторинга, адаптируемых к различным условиям и типам складов, что способствует широкому внедрению инновационных геодезических технологий в реальный сектор экономики. Разработанная методика может быть использована специализированными геодезическими предприятиями, такими как НПП «БЕНТА» и «Промышленная геодезия» (Санкт-Петербург).

Замечания по работе

1. Диссертация выполнена на практическом материале и отражает хорошую проработку вопроса об объеме материала закрытого склада. Вместе с тем опробование разработанной методики выполнено лишь на одном объекте (склад нефтяного кокса).
2. Разработанная методика определения объемов протестирована на сыпучих материалах. Желательно было бы рассмотреть разные виды материалов, например, по размеру фракций, их неоднородности и т.д.
3. В работе мало уделено внимание вопросу о лабораторных исследованиях. Тестирование методики на модели склада придало бы работе большую весомость.

