Министерство транспорта Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АВТОНОМНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ «РОССИЙСКИЙ ДОРОЖНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ»
(ФАУ «РОСДОРНИИ»)

УДК
№ госрегистрации
Инв. №

УТВЕРЖДАЮ
Генеральный директор
ФАУ «РОСДОРНИИ»
_____ А.П. Варятченко
«27» ____11____ 2019 г.

# ОТЧЁТ
# О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

Сопоставительные испытания систем мобильного лазерного сканирования и передвижных дорожных лабораторий.
Участок автомобильной дороги А-146 Краснодар – Верхнебаканский км 109 + 500 – 113 + 100 (первый этап)

Руководитель НИР,
Заместитель директора
по инновационному развитию
д. э. н. _____ В.П. Миронюк

Москва 2019

## РЕФЕРАТ

Отчёт 106 с., 41 рис., 13 табл., 30 источников, 5 прил.

АВТОМОБИЛЬНЫЕ ДОРОГИ, МОБИЛЬНОЕ ЛАЗЕРНОЕ СКАНИРОВАНИЕ, ДИАГНОСТИКА, ДОРОЖНЫЕ ЛАБОРАТОРИИ, ОБЛАКО ТОЧЕК

Объектом исследования являются системы мобильного лазерного сканирования и передвижные дорожные лаборатории.

Цель работы — оценка возможностей и рациональной области применения систем мобильного лазерного сканирования и передвижных дорожных лабораторий.

На первом этапе сопоставительных испытаний было выполнено сравнение и анализ результатов, полученных в результате проездов систем мобильного лазерного сканирования и передвижных дорожных лабораторий на заранее подготовленном контрольном участке.

Основными задачами стали оценка точности определения пространственного положения (плановое и высотное положение) объектов (элементы обустройства, дефекты и др.) по облаку точек лазерного сканирования и фото-, видеоизображениям, записанным соответственно системами мобильного лазерного сканирования и передвижными дорожными лабораториями, а также оценка точности определения параметров геометрических элементов автомобильной дороги (длина участка, ширина дорожного покрытия, площадь дорожного покрытия, поперечная ровность).

Рекомендации по внедрению результатов НИР: результаты настоящих сопоставительных испытаний могут быть учтены при разработке нормативно-технических и методических документов по диагностике и лазерному сканированию автомобильных дорог.

Область применения: создание цифровых моделей автомобильных дорог на этапах диагностики и инженерных изысканий.

Новизна работы: выполнено сравнение систем мобильного лазерного сканирования и передвижных дорожных лабораторий с учетом различных принципов сбора пространственных данных, а также сравнение точности определения пространственного положения объектов. Выполнено сравнение облаков точек, полученных различными системами.

Значимость работы: результаты настоящих сопоставительных испытаний позволят более эффективно и рационально применять системы мобильного лазерного сканирования и передвижные дорожные лаборатории.

Примечание — Настоящий отчет не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен без разрешения ФАУ «РОСДОРНИИ».

## СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель НИР,
Заместитель директора
по инновационному развитию — В.П. Миронюк
(общее руководство,
введение, заключение)

Заместитель начальника
управления диагностики
автомобильных дорог — А.А. Малыхин
(подраздел 3.3)

Начальник отдела
инновационных технологий в
инженерных изысканиях
управление методов
проектирования
автомобильных дорог — Р.А. Еремин
(заключение,
редактирование отчета)

Ответственный исполнитель,
Главный специалист отдела
инновационных технологий в
инженерных изысканиях — А.О. Кузнецов
(разделы 1–4)

**СОДЕРЖАНИЕ**

Введение ..... 7
Определения, обозначения и сокращения ..... 11
1 Участок проведения первого этапа сопоставительных испытаний ..... 12
1.1 Характеристика участка ..... 12
1.2 Подготовка участка ..... 13
2 Сопоставительные испытания ..... 24
2.1 Проведение полевой части ..... 24
2.2 Исходные данные, представленные участниками ..... 32
2.2.1 Система мобильного лазерного сканирования CHC Navigation Alpha 3D ..... 32
2.2.2 Передвижная дорожная лаборатория ДВК-05 ..... 32
2.2.3 Измерительный комплекс аэродромно-дорожных лабораторий КП 514 РДТ ..... 33
2.2.4 Система мобильного лазерного сканирования АГМ-МС7 ..... 34
2.2.5 Система мобильного лазерного сканирования Trimble MX9 ..... 34
2.2.6 Автоматизированный дорожный сканер «АДС-МАДИ» ..... 34
3 Принципы производства работ ..... 35
3.1 Система мобильного лазерного сканирования CHC Navigation Alpha 3D ..... 35
3.1.1 Описание и характеристики системы ..... 35
3.1.2 Полевые работы ..... 36
3.1.3 Камеральные работы ..... 37
3.2 Передвижная дорожная лаборатория ДВК-05 ..... 38
3.2.1 Описание и характеристики системы ..... 38
3.2.2 Полевые работы ..... 40
3.2.3 Камеральные работы ..... 41
3.3 Измерительный комплекс аэродромно-дорожных лабораторий КП 514 РДТ ..... 42
3.3.1 Описание и характеристики системы ..... 42
3.3.2 Полевые и камеральные работы ..... 43
3.4 Система мобильного лазерного сканирования АГМ-МС7 ..... 45
3.4.1 Описание и характеристики системы ..... 45
3.4.2 Полевые работы ..... 47
3.4.3 Камеральные работы ..... 49

3.5 Система мобильного лазерного сканирования Trimble MX9 ..... 49
3.5.1 Описание и характеристики системы ..... 49
3.5.2 Полевые работы ..... 51
3.5.3 Камеральные работы ..... 52
3.6 Автоматизированный дорожный сканер «АДС-МАДИ» ..... 52
3.6.1 Описание и характеристики системы ..... 52
3.6.2 Полевые и камеральные работы ..... 53
3.7 Сравнение систем ..... 55
3.8 Программное обеспечение ..... 58
4 Анализ результатов ..... 59
4.1 Определение координат и высот контрольных точек на покрытии ..... 60
4.2 Определение координат и высот контрольных точек на местных предметах ..... 61
4.3 Результаты определения ширин проезжей части, площади покрытия и протяженности ..... 62
4.4 Результаты определения поперечной ровности покрытия ..... 64
4.5 Рисунок и плотность облака точек ..... 64
4.6 Выявленные ограничения систем ..... 70
Заключение ..... 72
Список использованных источников ..... 76
Приложение А Свидетельства о поверке оборудования ..... 79
Приложение Б Схема расположения контрольных точек на проезжей части автомобильной дороги ..... 86
Приложение В Перечень контрольных точек на местных предметах ..... 87
Приложение Г Протокол проведения полевой части сопоставительных испытаний систем мобильного лазерного сканирования и передвижных дорожных лабораторий ..... 94
Приложение Д Оценка точности траекторий проезда ..... 95

# ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в дорожном хозяйстве все более актуальным становится поиск инновационных технологий, позволяющих достичь высокого экономического эффекта как за счет сокращения сроков выполнения работ, так и за счет повышения их качества.

Так, в системе управления реализацией транспортной части комплексного плана модернизации и расширения магистральной инфраструктуры на период до 2024 года [1] планируется использование технологии информационного моделирования. Коллективное создание и использование информации об объектах транспортной инфраструктуры посредством информационного моделирования позволит сформировать надежную основу для принятия решений на любой стадии проекта (от ранних концепций до эксплуатации).

Транспортную часть плана предлагается реализовывать во взаимосвязи с ведомственным проектом Министерства транспорта Российской Федерации «Цифровой транспорт и логистика» в составе национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации» [1].

Приоритетом при реализации транспортной части плана является инновационное преобразование отрасли инфраструктурного строительства, в целях которого предполагается внедрение и широкое применение в том числе и передовых цифровых технологий.

К основным сквозным технологиям работы с данными в транспортном комплексе, планируемым к применению в рамках реализации транспортной части плана, относятся:

– геоинформационные технологии и высокоточная навигация с применением автоматизированного зависимого наблюдения;

– технологии информационного проектирования и моделирования;

– цифровые двойники — виртуальные образы транспортных средств и объектов транспортной инфраструктуры, в том числе для управления их жизненным циклом;

– интеллектуальный анализ данных, включая обработку больших данных («Big data»), параллельные вычисления, системы реального времени;

– управление распределенными базами данных;

– технологии распределенных вычислений и взаимодействия («облачные» и «туманные» вычисления).

Кроме того, Президентом Российской Федерации в целях модернизации строительной отрасли и повышения качества строительства дано поручение Председателю Правительства Д.А. Медведеву о создании системы управления жизненным циклом объектов капитального строительства путем внедрения технологий

информационного моделирования и обеспечение выполнения мероприятий, способствующих этому [2].

В соответствии с пунктом 3.2. протокола заседания проектного комитета по национальному проекту «Безопасные и качественные автомобильные дороги» под председательством Заместителя Председателя Правительства Российской Федерации М.А. Акимова от 30 ноября 2018 г. № 3 паспорт федерального проекта «Общесистемные меры развития дорожного хозяйства» [3] был дополнен задачей о создании цифровой модели автомобильных дорог (участков автомобильных дорог) общего пользования федерального, регионального или межмуниципального значения, включая диагностику и оценку состояния автомобильных дорог (участков автомобильных дорог) до конца 2024 года. Кроме того, должен быть разработан механизм и утвержден порядок, предусматривающий применение современных методов диагностики и механизмы выгрузки результатов такой диагностики в общественно-доступную информационно-аналитическую систему мониторинга формирования и использования средств дорожных фондов (СКДФ).

Реализация указанных мероприятий требует повышения эффективности процессов проектирования, строительства и содержания, а также поиска новых технологий, позволяющих повысить качество результатов и сократить производственные расходы.

В настоящее время для диагностики дорог широко применяются лаборатории типа КП 514, позволяющие выполнять оценку транспортно-эксплуатационного состояния автомобильной дороги, однако такие лаборатории, как правило, в своем составе не имеют измерительных устройств, позволяющих получать пространственные данные в цифровом виде.

Еще одним фактором, замедляющим применение указанных технологий, может служить принцип привязки результатов. Как правило, результаты диагностики привязываются линейно к километровым знакам автомобильных дорог. Такой способ вполне удобен для традиционного табличного хранения результатов, их анализа и выгрузки в виде таблиц и графиков. Однако у него существуют некоторые ограничения. При отсутствии километровых столбов однозначная привязка результатов может быть серьезно затруднена.

Кроме того, в рамках деятельности общеотраслевого центра компетенции, который должен быть сформирован на базе ФАУ «РОСДОРНИИ» [3] планируется проведение ежегодных работ по георадарному обследованию и лазерному сканированию для участков реализации капиталоемких мероприятий. Объективность и достоверность результатов обследования во многом будет зависеть от точности их привязки.

В конце 2012 года Государственной компанией «Автодор» были проведены сопоставительные испытания лабораторий мобильного лазерного сканирования [4]. В сопоставительных испытаниях приняли участие ООО НПО «Регион» (передвижная дорожная лаборатория ДВК-05), ООО НИПИСтройТЭК (мобильная сканирующая система Riegl VMX-250), ЗАО «Геостройизыскания» (система мобильного сканирования IP-S2 Compact) и ООО НПК «Йена Инструмент» (Система Lynx Mobile Mapper).

По результатам сопоставительных испытаний лабораторий мобильного лазерного сканирования была отмечена возможность использования облаков точек результатов лазерного сканирования для целей проектирования и ремонтов при создании плотного планово-высотного геодезического базиса [4]. Под высотным базисом для уравнивания облаков точек понималось устройство высотных реперов на покрытии проезжей части автомобильной дороги через 200 метров.

Кроме того, сотрудниками ФАУ «РОСДОРНИИ» был выполнен анализ отечественной и зарубежной литературы и установлено, что технология работы с использованием опорных точек повышает точность результатов мобильного лазерного сканирования [5].

Таким образом, применение систем мобильного лазерного сканирования позволяет с высокой точностью получать облако точек, являющееся «цифровым слепком» дороги.

Традиционное применение результатов лазерного сканирования автомобильных дорог — паспортизация, построение цифровой модели местности (ЦММ) и формирование топографических планов. В настоящее время применение систем мобильного лазерного сканирования на этапах проектно-изыскательских работ, к сожалению, широкого распространения не получило. В первую очередь это связано с отсутствием нормативно-технических документов, регламентирующих порядок проведения и контроля работ.

*На рабочем совещании 17 января 2019 года перед сотрудниками института Генеральным директором ФАУ «РОСДОРНИИ» А.П. Варятченко была поставлена задача оценки возможностей и рациональной области применения систем мобильного лазерного сканирования и передвижных дорожных лабораторий.*

Для всесторонней и объективной оценки было предложено в два этапа провести сопоставительные испытания, на которые были приглашены заинтересованные производители и поставщики систем мобильного лазерного сканирования и передвижных дорожных лабораторий.

На первом этапе основными задачами стали оценка точности определения пространственного положения (плановое и высотное положение) объектов (элементы обустройства, дефекты и др.) по облаку точек лазерного сканирования и фото-,

видеоизображениям, записанным соответственно системами мобильного лазерного сканирования и передвижными дорожными лабораториями, а также оценка точности определения параметров геометрических элементов автомобильной дороги (длина участка, ширина дорожного покрытия, площадь дорожного покрытия, поперечная ровность).

Проведение второго этапа планируется во втором квартале 2019 года на специализированном аттестованном полигоне. При этом основными задачами являются определение продольной ровности (показатель IRI), а также определение параметров геометрических элементов автомобильной дороги, таких как продольный и поперечный уклоны, радиусы в плане и продольном профиле.

В настоящем отчете использованы материалы и описание технологии производства работ, предоставленные участниками сопоставительных испытаний, а также материалы из отрытых источников и информация, размещенная на официальных сайтах производителей систем и компонентов.

## ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

В настоящем отчете о НИР применяют следующие сокращения и обозначения:

DMI — одометр, устройство измеряющее пройденный путь

GNSS (ГНСС) — глобальная навигационная спутниковая система

IMU (ИНС) — инерциальная навигационная система

БКАД — национальный проект «Безопасные и качественные автомобильные дороги»

ГИС — геоинформационная система

ИМ — информационное моделирование

МЛС — мобильный лазерный сканер

ПО — программное обеспечение

САПР — система автоматизированного проектирования

СКДФ — система контроля дорожных фондов

СКО — среднее квадратическое отклонение

ЦММ — цифровая модель местности

## 1 Участок проведения первого этапа сопоставительных испытаний

### 1.1 Характеристика участка

Основными критериями выбора участка для проведения первого этапа сопоставительных испытаний послужили:

– благоприятные погодные условия, отсутствие снеженного покрова и положительная температура воздуха в период проведения полевой части;

– наличие кривых как в поперечном, так и продольном профиле автомобильной дороги;

– наличие искусственного сооружения над основным ходом автомобильной дороги;

– близость к населённому пункту для удобства размещения участников.

ФАУ «РОСДОРИИ» обратилось в Федеральное казенное учреждение «Управление федеральных автомобильных дорог «Черноморье» Федерального дорожного агентства» (ФКУ Упрдор «Черноморье) для оказания содействия в проведении полевой части первого этапа сопоставительных испытаний. В соответствии с письмом 2032/кф от 11 марта 2019 года ФКУ Упрдор «Черноморье», был предоставлен участок автомобильной дороги А-146 Краснодар – Верхнебаканский км 109+500 – 113+100, расположенный в Крымском районе Краснодарского края (рисунок 1).

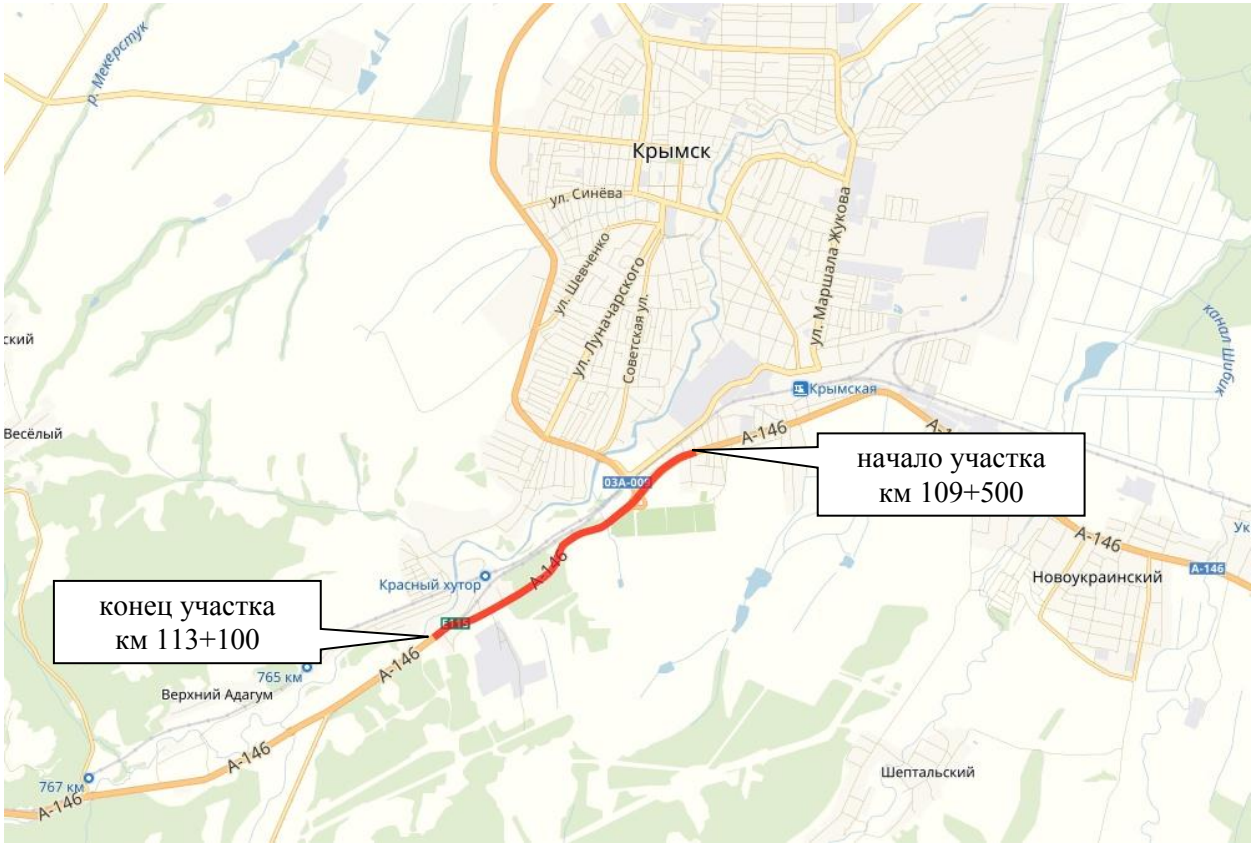



Рисунок 1 — Участок проведения первого этапа сопоставительных испытаний

В соответствии с государственным контрактом №5/18/САД от 04 июня 2018 года работы по содержанию федеральной дороги А-146 Краснодар – Верхнебаканский выполняет ООО «ДОРСНАБ».

Указанный участок автомобильный дороги проходит по всхолмленной местности и частично расположен на территории населенного пункта. В непосредственной близости от участка имеются как застроенная, так и незастроенная территория с открытой местностью и залесенным участком. Автомобильную дорогу пересекают семь периодических водотоков через водопропускные трубы.

Стоит отметить, что участок автомобильной дороги вытянут в юго-западном направлении, благородя чему изменяются как северная, так и восточная составляющие координат.

На участке км 109+600 – км 110+700 автомобильная дорога имеет четыре полосы движения с разделительной полосой, далее дорога сужается до двух полос без разделительной полосы.

На км 110+290 расположена транспортная развязка с автомобильным путепроводом над основным ходом автомобильной дороги. На км 112+820 расположен путепровод через однопутную железнодорожную ветку.

Частично вдоль участка автомобильной дороги проходит ряд линий электропередач напряжением от 10 до 110 кВ, которые пересекают проезжую часть на км 111+300 и км 112+810.

В 350 метрах слева от автомобильной дороги на км 112+810 находится режимная территория ЛПДС «Крымская» Краснодарского Районного Управления Магистральных Нефтепроводов АО «Черномортранснефть».

Таким образом, на участке проведения первого этапа сопоставительных испытаний имеются различные условия, которые не только влияют на качество приема сигнала ГНСС, но и могут служить препятствиями и ограничениями для работы систем мобильного лазерного сканирования и передвижных дорожных лабораторий.

**1.2 Подготовка участка**

Работы по подготовке контрольного участка были выполнены в период с 22 по 26 апреля 2019 года под общим руководством главного инженера Северо-Кавказского филиала ФАУ «РОСДОРНИИ» С.А. Карпенко.

В целях обеспечения безопасности проведения полевых работ сотрудниками ООО «ДОРСНАБ» было организовано размещение временных дорожных знаков, а для работ, выполняемых непосредственно на проезжей части автомобильной дороги, организовывалось прикрытие (рисунок 2).

Рисунок 2 — Автомобиль прикрытия ООО «ДОРСНАБ» во время проведения работ на проезжей части автомобильной дороги

Состав полевой бригады ФАУ «РОСДОРНИИ», выполнявшей подготовку контрольного участка:

– руководитель полевых работ — А.О. Кузнецов,

– руководитель полевой бригады — С.С. Гриценко,

– инженер-геодезист — Г.Ю. Неговоров,

– инженер-геодезист — Р.С. Шкирьятов,

– водитель — К.В. Ирба.

При производстве полевых геодезических работ по подготовке контрольного участка использовалось следующее оборудование (свидетельства о поверке оборудования представлены в Приложении А):

– тахеометр электронный Topcon ES-50 — 1 шт.,

– тахеометр электронный Leica TCR1203 — 1 шт.,

– нивелир оптико-механический с компенсатором Leica Jogger32 — 1 шт.,

– аппаратура геодезическая спутниковая SOKKIA GRX2 — 2 шт.,

– аппаратура геодезическая спутниковая Javad Triumph 2 — 1 шт.,

– курвиметр Nedo — 1 шт.,

– рейка нивелирная VEGA TS5M — 1 шт.,

– штатив — 2 шт.,

– вешка для отражателя — 3 шт.,

– отражатель для тахеометра — 3 шт.,

– трипод — 2 шт.

После прибытия на участок работ и проведения целевого инструктажа по охране труда было выполнено рекогносцировочное обследование, намечены места точек временного закрепления и определены местные предметы, на которых впоследствии будут намечены контрольные точки. Был определен маршрут движения систем мобильного лазерного сканирования и передвижных дорожных лабораторий, а также определены места безопасного разворота и места временных стоянок.

Полевые работы в целом были выполнены при благоприятных погодных условиях без резких перепадов температур и наличия рефракции.

Для обеспечения единства измерений на участке было выполнено устройство опорной геодезической сети. Пункты сети в последующем были переданы участникам сопоставительных испытаний для использования в качестве исходных при выполнении измерений в соответствии с технологией производства работ, установленной производителем конкрентного оборудования и действующими нормативно-техническими документами.

В соответствии с п. 10.5 [6] было выполнено устройство точек временного закрепления: базис Т1, Т2 — начало участка, базис Т5, Т6 — конец участка, точки Т3, Т4 — с шагом через 1 километр между точками начала и конца участка. Точки временного закрепления выполнены из арматуры, диаметром 10 мм и длиной 500 мм.

После чего было выполнено определение координат и высот пунктов временного закрепления с использованием спутниковой геодезической аппаратуры в режиме быстрой статики. Для этого над центром пункта временного закрепления на вехе, закрепленной в триподе, устанавливался спутниковый геодезический приемник, определялась высота его установки, и запускался режим сбора данных (рисунок 3).

Спутниковые наблюдения на каждом из пунктов временного закрепления длились не менее 40 минут, при условии совместного наблюдения на смежных пунктах не менее 20 минут. Интервал записи данных составил 1 с, маска возвышения 13°.

Исходными пунктами для определения координат и высот пунктов временного закрепления послужили пункты сети постоянно действующих референцных станций EFT-CORS [7]: KMSK (г. Крымск), ANAP (г. Анапа), GLNJ (г. Геленджик), PLTV (ст-ца Полтавская). Координаты пунктов сети EFT-CORS определены в международной земной системе отсчета ITRF2014 на эпоху 2010.0. Схема спутниковой геодезической сети представлена на рисунке 4.

Рисунок 3 — Запуск статических наблюдений на пункте Т1

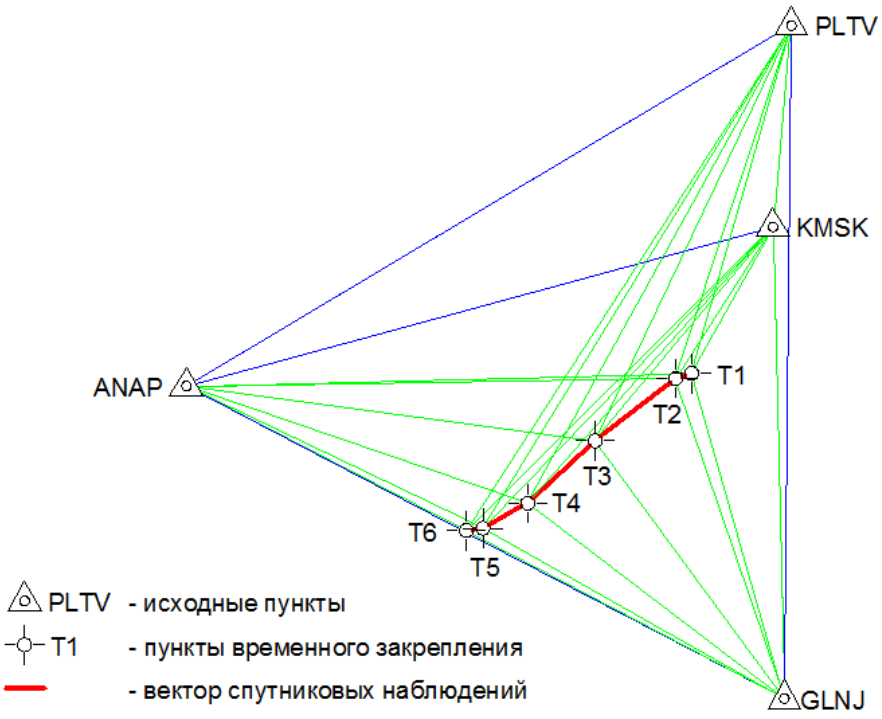



Рисунок 4 — Схема спутниковой геодезической сети

Вычисление и уравнивание координат пунктов временного закрепления выполнялось в программном комплексе Trimble Business Center.

Стоит отметить что, начиная с середины и до конца участка, несмотря на открытый горизонт и отсутствие вышек сетей сотовых и радиостанций, в процессе обработки обнаружилось, что в момент спутниковых наблюдений имелись эпизодические срывы приема сигналов ГНСС (рисунок 5) что, в конечном счете, повлияло на итоговую точность определения координат и высот пунктов временного закрепления. Источник помех так и не был выявлен.

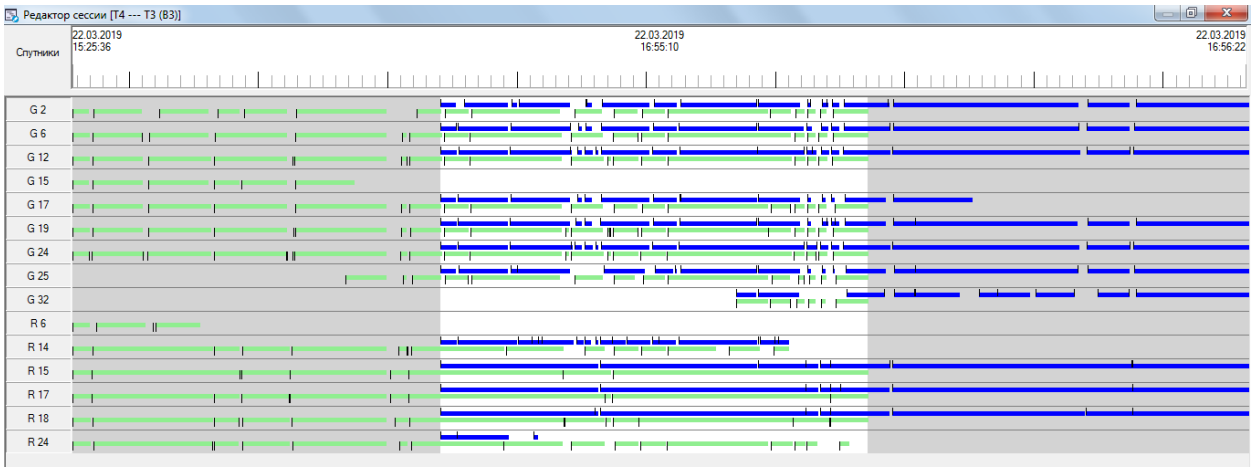



Рисунок 5 — Пример данных спутниковых наблюдений между пунктами Т3 и Т4

Ввиду того, что базовой системой координат для систем мобильного лазерного сканирования и передвижных дорожных лабораторий является WGS84, на участке работ была выбрана 37 северная зона проекции UTM на эллипсоиде WGS84. Для определения отметок использовалась модель геоида EGM 2008.

Параметры системы координат UTM 37N:

Проекция.....Поперечная проекция Меркатора

Начало отсчета широт .....X 0°00'00.00000"

Начало отсчета долгот.....Y 39°00'00.00000"

Условный сдвиг на восток .....500 000.000 м

Условный сдвиг на север .....0.000 м

Масштаб.....0.9996

Эллипсоид .....World Geodetic System 1984

Большая полуось.....6 378 137.000 м

Сжатие .....1 / 298.2572235630

Модель геоида:

Имя .....EGM 2008

Файл .....EGM08-1.GGF [8]

Результаты уравнивания спутниковых наблюдений представлены в таблице 1.

Таблица 1 — Результаты уравнивания спутниковых наблюдений

| Имя точки | Восток Y (метр) | Восток Y Ошибка (метр) | Север X (метр) | Север X Ошибка (метр) | Отметка (метр) | Отметка Ошибка (метр) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| T1 | 420 027,428 | 0,026 | 4 972 914,317 | 0,036 | 39,438 | 0,180 |
| T2 | 419 847,934 | 0,009 | 4 972 856,360 | 0,009 | 39,340 | 0,151 |
| T3 | 418 955,086 | 0,016 | 4 972 163,304 | 0,021 | 44,531 | 0,192 |
| T4 | 418 202,829 | 0,029 | 4 971 467,014 | 0,016 | 52,170 | 0,202 |
| T5 | 417 703,708 | 0,011 | 4 971 189,071 | 0,016 | 53,484 | 0,154 |
| T6 | 417 518,004 | 0,026 | 4 971 163,165 | 0,029 | 49,337 | 0,202 |

Как видно из таблицы, оценочная точность определения отметок точек временного закрепления лежит в пределах от 0,15 до 0,20 м, что не удовлетворяет требованиям точности [6]. Для обеспечения допустимой погрешности определения высотных отметок было выполнено техническое нивелирование от точки Т2, имеющей наименьшую погрешность по данным ГНСС измерений.

На проезжей части автомобильной дороги парами (слева и справа за краевой линией разметки) было выполнено закрепление контрольных точек дюбелями и маркировка точек белой краской для удобства их поиска во время производства полевых работ. Шаг между точками преимущественно составлял 200 метров, за исключением участков с путепроводом, где интервал между контрольными точками был уменьшен. Схема расположения контрольных точек представлена в Приложении Б.

Далее было выполнено проложение тахеометрического хода (рисунок 6) от базиса Т1 – Т2 до базиса Т5 – Т6 через узловые точки Т3 и Т4. Одновременно с проложением хода выполнялась тахеометрическая съемка контрольных точек на проезжей части и за пределами дорожного полотна, а также съемка недоступных объектов.

При проложении хода на местности фиксировались промежуточные точки А1 – А5 временными знаками закрепления (краска, металлические колья и т. д.).

После выполнения тахеометрической съемки было выполнено проложение хода технического нивелирования (рисунок 7) для определения высот пунктов временного закрепления и контрольных точек на проезжей части. Нивелирный ход был проложен через пункты временного закрепления, отметки контрольных точек определялись боковым нивелированием. В качестве исходной была использована точка Т2.

Рисунок 6 — Тахеометрическая съемка

Рисунок 7 — Техническое нивелирование

На рисунке 8 представлена схема тахеометрического и нивелирного ходов.

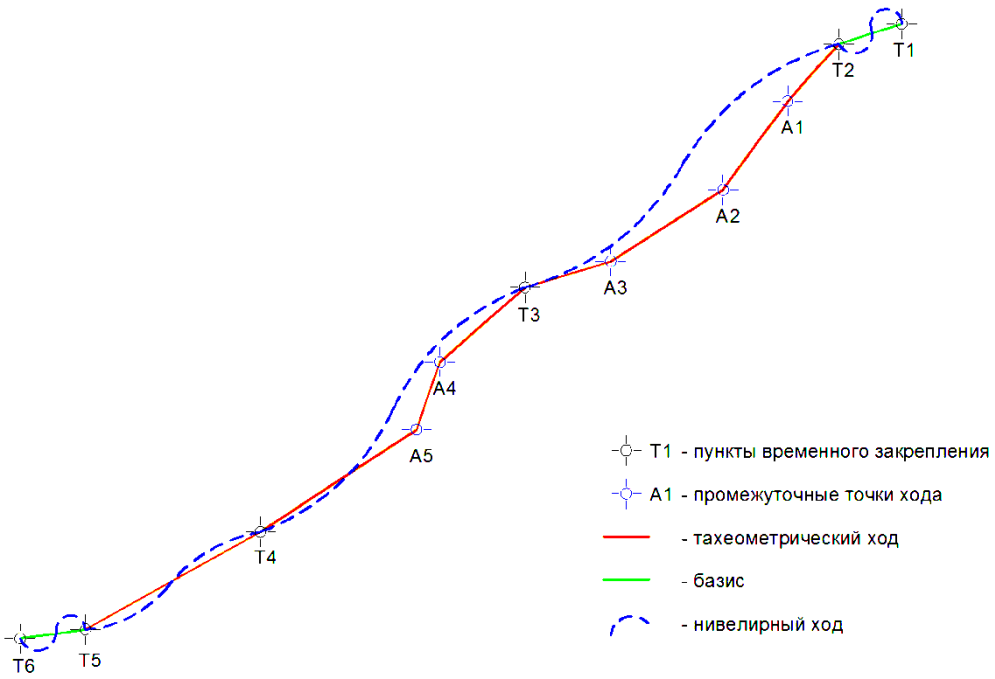



Рисунок 8 — Схема тахеометрического и нивелирного ходов

Уравнивание результатов тахеометрической съемки и технического нивелирования выполнялось в программе CREDO_DAT 4. Результаты уравнивания представлены в таблице 2.

Таблица 2 — Ведомость поправок к измерениям превышений

| Станция | Цель | Редуцированное значение | Поправка | Уравненное значение |
|---|---|---|---|---|
| A1 | T2 | −0,793 | −0,008 | −0,801 |
| | A2 | 3,535 | 0,010 | 3,545 |
| A2 | A1 | −3,555 | 0,010 | −3,545 |
| | A3 | −0,116 | 0,012 | −0,104 |
| A3 | T3 | 1,100 | −0,007 | 1,093 |
| | A2 | 0,092 | 0,012 | 0,104 |
| A4 | A5 | 2,672 | −0,003 | 2,669 |
| | T3 | 0,263 | 0,000 | 0,264 |
| A5 | T4 | 5,117 | 0,007 | 5,123 |
| | A4 | −2,667 | −0,003 | −2,669 |
| T1 | T2 | −0,063 | −0,003 | −0,066 |
| | T2 | −0,066 | 0,000 | −0,066 |
| T2 | T1 | 0,068 | −0,002 | 0,066 |
| | A1 | 0,809 | −0,008 | 0,801 |
| | T3 | 5,334 | 0,000 | 5,334 |
| T3 | A4 | −0,264 | 0,000 | −0,264 |
| | A3 | −1,086 | −0,007 | −1,093 |
| | T4 | 7,529 | 0,000 | 7,529 |
| T4 | T5 | 1,196 | 0,045 | 1,240 |
| | A5 | −5,130 | 0,007 | −5,123 |
| | T5 | 1,244 | −0,004 | 1,240 |
| T5 | T6 | −3,943 | −0,004 | −3,947 |
| | T4 | −1,272 | 0,032 | −1,240 |
| | T6 | −3,951 | 0,004 | −3,947 |
| T6 | T5 | 3,946 | 0,001 | 3,947 |

Таким образом, были получены отметки точек временного закрепления. Итоговые значения координат и высот пунктов временного закрепления представлены в таблице 3.

Таблица 3 — Каталог координат и высот пунктов временного закрепления

| Имя точки | Север, м (X) | Восток, м (Y) | Отметка, м |
|---|---|---|---|
| T1 | 4 972 914,317 | 420 027,428 | 39,406 |
| T2 | 4 972 856,360 | 419 847,934 | 39,340 |
| T3 | 4 972 163,304 | 418 955,086 | 44,674 |
| T4 | 4 971 467,014 | 418 202,829 | 52,204 |
| T5 | 4 971 189,071 | 417 703,708 | 53,442 |
| T6 | 4 971 163,165 | 417 518,004 | 49,496 |

Одновременно с этим были вычислены координаты и высоты контрольных точек на проезжей части автомобильной дороги и местных предметах за пределами земляного полотна. Значения координат и высот контрольных точек принимались за эталонные, с которыми впоследствии сравнивались результаты измерений, предоставленные участниками сопоставительных испытаний.

После определения координат и высот пунктов временного закрепления была выполнена съемка площади покрытия прямого хода проезжей части автомобильной дороги, а также контрольных точек на местных предметах с применением спутниковой геодезической аппаратуры в режиме кинематики в реальном времени (RTK — real time kinematic) с передачей поправок по радиоканалу, в соответствии с требованиями [9] (рисунок 9).

Базовая станция была установлена на точке T5, значение маски возвышения на базовом и роверном приемниках было установлено равным 13°. Для того чтобы убедится в правильности установки базы, а также точности съемки, были выполнены контрольные измерения на пункте T6, после чего полученные значения сравнивались со значениями из каталога координат и высот. Съемка выполнять при наличии фиксированного решения с контролем значений плановой и высотной точности, а также показателя PDOP поперечниками через 20 м, а также в характерных точках.

Съемка покрытия основного хода автомобильной дороги выполнялась по кромкам асфальтового покрытия, а при наличии съездов и переходно-скоростных полос по технологическому продольному стыку.

Рисунок 9 — Запуск съемки в режиме RTK

По результатам съемки покрытия участка автомобильной дороги в систему автоматизированного проектирования Bentley OpenRoads были загружены точки, которые соединялись замкнутой 2D полилинией и определялась площадь фигуры. Таким образом площадь покрытия по основному ходу автомобильной дороги составила *17153,2* м$^2$.

Затем с использованием 2D полилинии выполнялась отрисовка оси автомобильной дороги и определение протяженности контрольного участка, которая составила *1838,5* м.

Далее были подгружены контрольные точки и в створе необходимых точек были определены ширины проезжей части автомобильной дороги, которые представлены в таблице 4.

Таблица 4 — Ширина покрытия по основному ходу автомобильной дороги

| Створная точка | Ширина покрытия, м |
|---|---|
| К17 | 9,27 |
| К19 | 9,29 |
| К21 | 9,38 |
| К23 | 9,45 |
| К25 | 9,35 |
| К27 | 9,25 |

Продолжение таблицы 4

| Створная точка | Ширина покрытия, м |
|---|---|
| К29 | 9,27 |
| К30 | 8,80 |
| К31 | 8,96 |
| К33 | 8,95 |
| К35 | 9,44 |

Фотографии контрольных точек, определенных на местных предметах представлены в Приложении В.

Накануне выполнения проездов систем мобильного лазерного сканирования и передвижных дорожных лабораторий была выполнена маркировка краской контрольных точек на проезжей части автомобильной дороги.

Для облегчения работ по маркировке контрольных точек был изготовлен трафарет с размерами 200х200 мм и стороной квадрата 100 мм. Для маркировки точек применялась краска-аэрозоль оранжевого и белого цветов. Центр трафарета совмещался с дюбель-гвоздем, после чего выполнялось окрашивание белой краской, затем трафарет переворачивался на 90° и выполнялось окрашивание оранжевой краской. В результате была выполнена маркировка 39 контрольных точек (рисунок 10).

Рисунок 10 — Внешний вид контрольной точки на проезжей части автомобильной дороги

На заключительном этапе полевых подготовительных работ была выполнена маркировка границ участка (рисунок 11).

Рисунок 11 — Внешний вид маркировки границ контрольного участка

Для участников сопоставительных испытаний были подготовлены следующие раздаточные материалы, которые были вручены непосредственно перед проведением испытаний: схема расположения контрольных точек на проезжей части и за пределами земляного полотна автомобильной дороги, с нумерацией точек и указанием местных предметов, где будут также выполняться контрольные измерения; схема движения на участке с указанием мест безопасного разворота.

## 2 Сопоставительные испытания

### 2.1 Проведение полевой части

Полевая часть первого этапа сопоставительных испытаний прошла с 27 по 28 апреля 2019 года.

В первом этапе участие приняли 6 компаний, представивших следующие системы мобильного лазерного сканирования и передвижные дорожные лаборатории:

– система мобильного лазерного сканирования CHC Navigation Alpha 3D (АО «Прин»),

– передвижная дорожная лаборатория ДВК-05 (ООО «НПО Регион»),

– измерительный комплекс аэродромно-дорожных лабораторий КП 514 РДТ на базе автомобиля ГАЗЕЛЬ NEXT (АО «СНПЦ РДТ»),

– система мобильного лазерного сканирования АГМ-МС7 (ООО «АГМ Системы»),

– система мобильного лазерного сканирования Trimble MX9 (ООО «Технокауф»),

– автоматизированный дорожный сканер «АДС-МАДИ» на базе автомобиля Iveco (ФГБОУВО «МАДИ»).

После регистрации участников, проведения установочного собрания и вводного инструктажа участникам были вручены схемы движения по участку и контрольных точек. Далее участники (рисунок 12) ознакомились с контрольным участком, были показаны точки временного закрепления, контрольные точки на проезжей части, начало и конец участка, а также безопасный маршрут движения по участку, места разворотов и стоянок.

Рисунок 12 — Общее фото на участке проведения сопоставительных испытаний

Порядок выполнения проездов систем мобильного лазерного сканирования и передвижных дорожных лабораторий был установлен в программе проведения сопоставительных испытаний, однако, в связи с ухудшением погодных условий и возможным выпадением осадков, которые могли повлиять на качество получаемых данных, ООО «Технокауф» и ООО «АГМ Системы» выполнили часть проездов в первый день — 27 марта 2019 года.

Выполнение проездов было начато с передвижной дорожной лаборатории ДВК-05 (рисунок 13). Технология производства работ предполагала использование базовой станции, для этого сотрудниками компании на точке временного закрепления Т3 на триподе был установлен спутниковый приемник NovAtel DL-V3. Запуск и инициализация системы выполнялась за несколько километров до начала участка. В среднем проезд контрольного участка с учетом разворота занимал 15 минут, а завершение съемки и повторная инициализация — около 20 минут. Все три проезда были выполнены при благоприятных условиях.

Рисунок 13 — Передвижная дорожная лаборатория ДВК-05

Далее проезды были выполнены системами мобильного лазерного сканирования CHC Navigation Alpha 3D (рисунок 14) и АГМ-МС7 (рисунок 15).

Для использования в качестве базовых приемников сотрудниками АО «ПРИН» были установлены три приемника PrinCe i80. Два из них были установлены на точках временного закрепления Т2 и Т2, третий был установлен без центрирования над какой-либо точкой, непосредственно на площадке, где выполнялся монтаж системы на автомобиль, запуск и ее инициализация.

Сотрудниками ООО «АГМ Системы» на точке временного закрепления Т5 также был установлен спутниковый приемник JAVAD TRIUMPH-1, использующийся в качестве базового.

Рисунок 14 — Система мобильного лазерного сканирования CHC Navigation Alpha 3D

Рисунок 15 — Система мобильного лазерного сканирования АГМ-МС7

Время проездов у систем в среднем составляло 12–14 минут, а завершение съемки и повторная инициализация — до 20 минут. Стоит отметить, что у системы АГМ-МС7

инициализация состояла из пятиминутных статических наблюдений и нескольких выполнений фигуры «восьмерка», а при инициализации системы CHC Navigation Alpha 3D, кроме этого выполнялись разгон и торможение, которые, по словам представителей АО «Прин», являются необязательными. Подготовка к запуску, запуск и инициализация систем выполнялись на площадке в начале участка.

Первые два проезда системами были выполнены при благоприятных погодных условиях, затем погодные условия ухудшились, и последний проезд системы CHC Navigation Alpha 3D был выполнен при наличии мелкого дождя, при этом покрытие автомобильной дороги оставалось сухим. Проезды системы мобильного лазерного сканирования АГМ-МС7 были начаты в сухую погоду. Последний проезд был выполнен в условиях осадков, однако он не участвовал в обработке данных.

Также 27 марта 2019 года был выполнен один проезд системой мобильного лазерного сканирования Trimble MX9 (рисунок 16). Запуск и инициализация системы выполнялись на площадке перед торговым центром за несколько километров до начала участка. Проезд был выполнен при наличии дождя. Инициализация системы состояла из трехминутных статических наблюдений и кругового движения по площадке.

Рисунок 16 — Система мобильного лазерного сканирования Trimble MX9

Сотрудниками ООО «Технокауф» 25 и 26 марта 2019 года были выполнены подготовительные работы. Для оценки точности, а при необходимости выполнения

взаимного уравнивания прямого и обратного проезда на проезжей части и прилегающей территории было выполнено устройство контрольных точек, представляющих собой знак в форме креста, нанесенный краской, в центре которого забит дюбель (рисунок 17). Определение координат и высот контрольных знаков выполнялось в режиме быстрой статики от пунктов временного закрепления Т2, Т4 и Т5.

Для выполнения мобильного лазерного сканирования в качестве базовых станций использовались приемники Trimble R8S и ALTUS APS-3, установленные на точках Т2 и Т4. Компании «Технокауф» и «Прин» договорились о совместном использовании данных спутниковых наблюдений за 27 марта 2019 года.

Рисунок 17 — Контрольная точка ООО «Технокауф»

Последним выполнил тестовые проезды по определению поперечной ровности покрытия измерительный комплекс аэродромно-дорожных лабораторий КП 514 РДТ (рисунок 18). Ввиду неблагоприятных условий для проведения измерений, таких как дождь и влажное покрытие, а также ограничения измерительного модуля на работу в светлое время суток определение поперечной ровности оказалось невозможным.

Рисунок 18 — Измерительный комплекс аэродромно-дорожных лабораторий КП 514 РДТ

В дальнейшем произошло значительное ухудшение погодных условий, дождь усилился, а на покрытии начала образовываться водяная пленка. К утру 28 марта 2019 года погодные условия снова стали благоприятными для дальнейшего проведения сопоставительных испытаний.

В темное время суток в ночь с 27 на 28 марта 2019 года на участке состоялась демонстрация автоматизированного дорожного сканера «АДС-МАДИ» (рисунок 19), разработанного специально для выполнения работ в ночное время. Водяная пленка на покрытии проезжей части, образовавшаяся в результате осадков, не позволила выполнить качественную фиксацию параметров.

В темное время суток 28 марта 2019 года измерительный комплекс аэродромно-дорожных лабораторий КП 514 РДТ выполнил три проезда для определения поперечной ровности покрытия. Основанием для выполнения проездов в темное время суток послужили технологические ограничения системы, позволяющие получить наиболее корректные данные при отсутствии солнечного света. Проезды выполнялись без присутствия сотрудников ФАУ «РОСДОРНИИ».

Рисунок 19 — Автоматизированный дорожный сканер «АДС-МАДИ»

В начале второго дня сопоставительных испытаний 29 марта 2019 года перед выполнением проездов на участке было проведено рекогносцировочное обследование, контрольные точки на проезжей части были очищены от пыли, а при необходимости повторно маркированы.

В течение второго дня были выполнены три проезда комплекса аэродромно-дорожных лабораторий КП 514 РДТ, три проезда системы мобильного лазерного АГМ-МС7, три проезда системы мобильного лазерного сканирования Trimble MX9 и три проезда автоматизированного дорожного сканера «АДС-МАДИ». При этом заключительный проезд системой Trimble MX9 был выполнен с более высокой скоростью движения.

Отдельно стоит отметить, что технология сбора полевых данных для комплекса аэродромно-дорожных лабораторий КП 514 РДТ и автоматизированного дорожного сканера «АДС-МАДИ» не предусматривала использование базовых станций.

В завершении полевой части сопоставительных испытаний было проведено заключительное собрание, участниками были переданы исходные данные и подписан протокол проведения полевой части сопоставительных испытаний систем мобильного лазерного сканирования и передвижных дорожных лабораторий. Копия протокола представлена в Приложении Г.

Участники сопоставительных испытаний на заключительном собрании отметили эпизодические проблемы с приемом сигналов ГНСС, что, по их мнению, могло негативно сказаться на точности собранных данных.

### 2.2 Исходные данные представленные участниками

В заключительный день сопоставительных испытаний участниками были переданы исходные данные, записанные системами мобильного лазерного сканирования, передвижными лабораториями и спутниковыми геодезическими приемниками за время проведения испытаний. Данные были скопированы на съемный носитель ФАУ «РОСДОРНИИ».

#### 2.2.1 Система мобильного лазерного сканирования CHC Navigation Alpha 3D

Компанией АО «Прин» в качестве исходных данных были предоставлены материалы по четырем проездам, в том числе проезду, выполненному не с начала участка, который засчитан не был. По каждому из проездов были переданы данные в следующих подпапках:

BASE ..... файлы наблюдений с базовых приемников

CCD ..... файлы панорамной камеры в формате PGR

LAS ..... данные с лазерного сканера в формате RXP

PARA ..... индивидуальные калибровочные параметры системы МЛС, определенные на заводе-изготовителе

ROVER ..... данные ГНСС и инерциальной системы.

Кроме того, были переданы дополнительные служебные файлы, генерируемые системой МЛС.

Стоит отметить, что сотрудники АО «Прин» успели выполнить предварительный вывод и раскраску облаков точек по панорамным снимкам, которые также были переданы в качестве исходных данных в виде файлов в формате LAS.

По четырем проездам объем исходных данных, переданных компанией АО «Прин», составил 92 ГБ.

#### 2.2.2 Передвижная дорожная лаборатория ДВК-05

Компанией НПО «Регион» были переданы материалы по трем проездам, данные наблюдений с базовой станции и её характеристики, а также программа для предварительного просмотра полевых фотоматериалов, собранных системой камер по результатам проездов (рисунок 20).

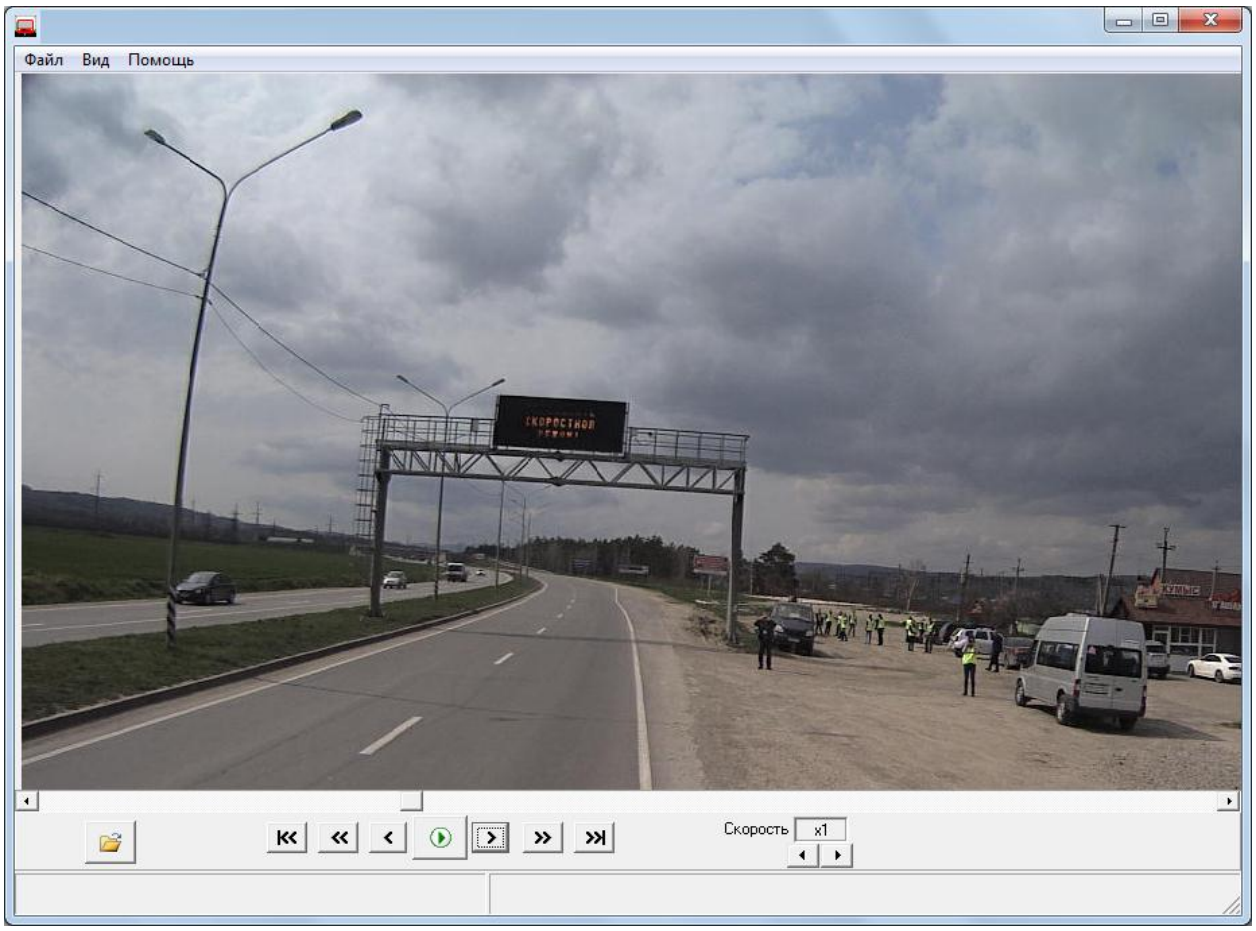



Рисунок 20 — Интерфейс программы для просмотра видеофайлов, записанных лабораторий ДВК-05

Программа позволяет по отдельности просматривать видеофайлы с камер передвижной дорожной лаборатории ДВК-05.

Особенностью лаборатории является то, что данные с измерительных устройств записываются в собственном формате, позволяющем после расчета траектории движения лаборатории выполнить координатную привязку собранных данных.

Объем исходных данных по трем проездам составил 5,5 ГБ.

### 2.2.3 Измерительный комплекс аэродромно-дорожных лабораторий КП 514 РДТ

Сотрудниками АО «СНПЦ РДТ» были переданы материалы по трем проездам, включающие видеофайлы с ГЛОНАСС/GPS привязкой, а также данные с проездов, на которых определялось значение поперечной ровности.

Вместе с видеофайлами была передана специализированная программа для просмотра файлов видеозахвата RDT-Line (рисунок 21), позволяющая в том числе и выполнять измерения по видеоматериалам. Программа позволяет определять высоту объектов, измерять ширину и площадь, а также определять положение объектов с линейной привязкой.

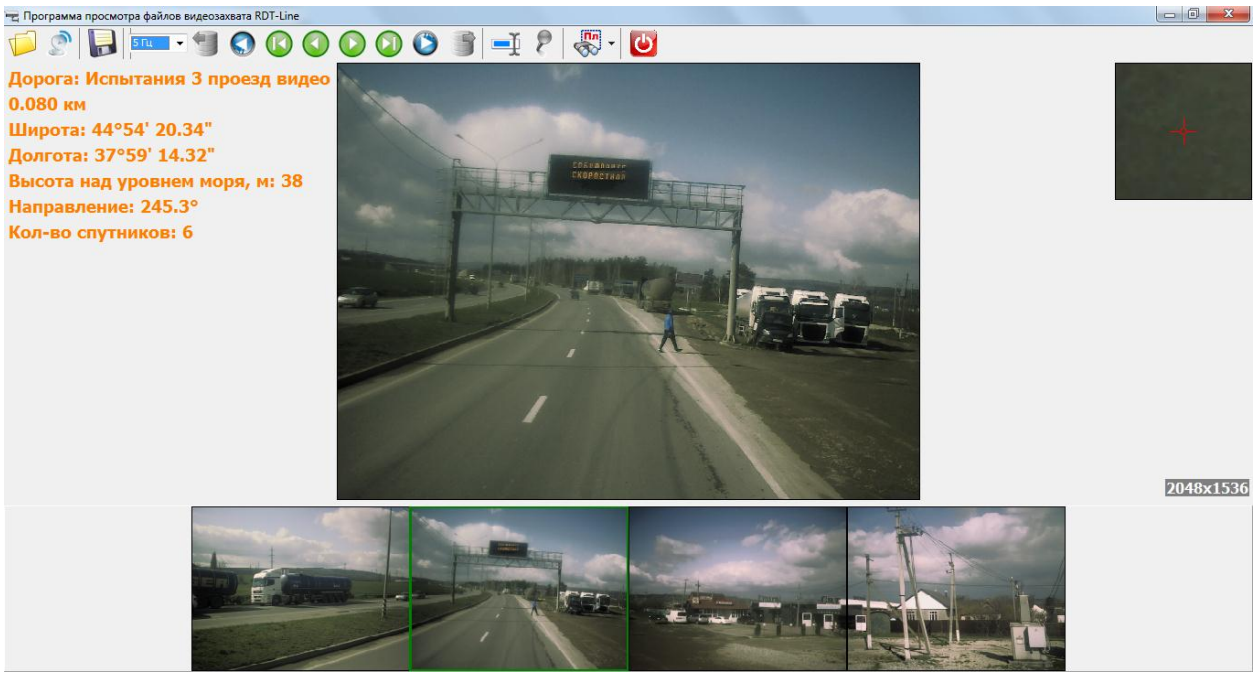



Рисунок 21 — Интерфейс программы для просмотра файлов видеозахвата RDT-Line

Объем исходных данных по трем проездам составил 5,3 ГБ.

### 2.2.4 Система мобильного лазерного сканирования АГМ-МС7

Компанией ООО «АГМ Системы» в качестве исходных данных были переданы неструктурированные папки с файлами измерений базовой станции, файлами панорамной камеры в формате PGR, данными инерциальной системы и приемника ГНСС, а также файлами с лазерного сканера в формате ZFS. Кроме того, был предан ряд служебных системных файлов.

Формат файлов PGR, панорамной камеры LadyBug 5 может быть открыт программой просмотра из комплекта LadyBug SDK.

Объем всех исходных данных составил 130,47 ГБ.

### 2.2.5 Система мобильного лазерного сканирования Trimble MX9

Компанией ООО «Технокауф» переданы данные по трем проездам, записанные 28 марта 2019 года. Набор исходных файлов представляет собой данные с четырех камер в формате PGR для панорамной камеры LadyBug 5+ и MXIPS для трех дополнительных камер Point Grey Grasshopper, данные с двух сканеров в формате RXP, данные инерциальной системы, служебные файлы, а также отчет о работе системы.

Объем исходных файлов по трем проездам составил 153 ГБ.

### 2.2.6 Автоматизированный дорожный сканер «АДС-МАДИ»

Сотрудниками ФГБОУВО «МАДИ» по результатам выполнения трех проездов были переданы файлы данных лазерного сканера в формате PCAP, а также данные со

строчных 2D-камер. Данные ГНСС, инерциальной системы или любые другие служебные файлы переданы не были.

Объем исходных файлов по трем проездам составил 8,3 ГБ.

## 3 Принципы производства работ

### 3.1 Система мобильного лазерного сканирования CHC Navigation Alpha 3D

#### 3.1.1 Описание и характеристики системы

Китайская компания Shanghai HuaCe Navigation Technology Ltd была основана в 2003 году в Шанхае [10]. Основная специализация компании — разработка приемников ГНСС, систем высокоточного позиционирования и мониторинга деформаций.

С 2019 года компания серийно производит систему CHC Navigation Alpha 3D — высокопроизводительное решение для мобильного картографирования.

Измерительный модуль системы состоит из следующих компонентов:

– лазерный сканер Riegl VUX-1HA,

– инерциальная навигационная система Honeywell HG4930,

– панорамная камера Point Grey Ladybug 5+.

Измерительный модуль крепится на крыше автомобиля на специальной площадке, имеющей возможность регулировки продольного положения системы с помощью телескопических направляющих. Дополнительно система имеет возможность установки в 7 различных положениях — перпендикулярно направлению движения и под углами ±15°, ±30° и ±45°. Изменение положения измерительного модуля позволяет адаптироваться под конкретные условия съемки.

Лазерный сканер Riegl VUX-1HA использует импульсный принцип измерения расстояния, что позволяет получать отражения на расстоянии до 420 м, а регистрироваться может не только первое отражение, но и последующие, что особенно важно в ходе съемки при наличии растительности.

Кроме того, система предусматривает подключение дополнительного сканера, антенны ГНСС, дополнительных фотокамер и одометра (DMI). Системой предусмотрено 2 порта RS232 для подключения внешних устройств.

Управление системой осуществляется с любого мобильного устройства (планшет, ноутбук и др.) через программу CoCapture. Вычисление траектории осуществляется в ПО NovAtel Inertial Explorer, вывод облака точек и раскраска по панорамным снимкам в собственном ПО CoPre.

Питание системы осуществляется от внешнего источника питания в защищенном кейсе, использующем стандартные автомобильные аккумуляторы и позволяющем выполнять работы продолжительностью до восьми часов.

### 3.1.2 Полевые работы

На участке сопоставительных испытаний были установлены базовые станции для обеспечения дифференциального режима измерений.

На закрепленную на рейлингах автомобиля монтажную площадку выполнялся монтаж измерительного модуля и подключение кабелей питания. Управление системой может осуществляться с любого мобильного устройства подключенного через WiFi или Ethernet соединение.

После включения устройства и подключения к нему через браузер (рисунок 22) выполнялся контроль корректной работы приемника ГНСС, ИНС, сканера и запоминающего устройства.

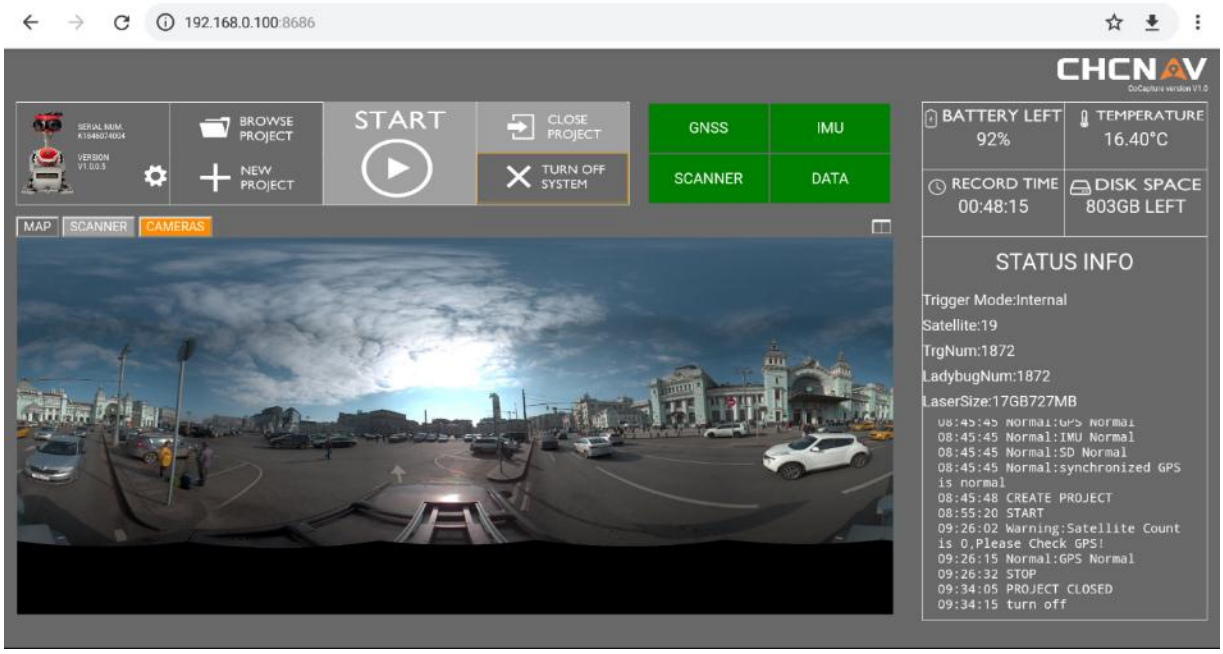



Рисунок 22 — Интерфейс ПО CoCapture

Далее выполнялся процесс инициализации, заключающийся в статических наблюдениях при заглушенном двигателе автомобиля не менее пяти минут, после чего выполнялось несколько разворотов автомобиля по траектории в форме восьмерки (рисунок 23).

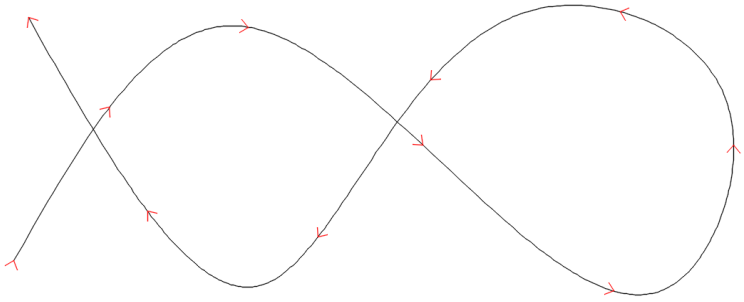


Рисунок 23 — Траектория движения автомобиля в форме восьмерки при выполнении инициализации

После выполнения процесса инициализации осуществлялось движение к участку и непосредственно перед началом контрольного участка запускался процесс сбора данных.

Всего было выполнено четыре проезда, при этом первый проезд был начат не с начала участка и засчитан не был. Сотрудники АО «Прин» выполняли сканирование при разной ориентации измерительного модуля: перпендикулярно направлению движения и под углом.

После завершения проезда останавливался процесс сбора данных, выполнялось несколько разворотов автомобиля по траектории в форме восьмерки и статические наблюдения в течение пяти минут, после чего производилось выключение системы.

Передача полевых данных на компьютер для обработки осуществляется через съемный жесткий диск, который подключается к рабочему компьютеру через USB соединение.

### 3.1.3 Камеральные работы

Камеральная обработка полевых материалов начиналась с вычисления траектории движения в ПО NovAtel Inertial Explorer. В среднем вычисление траектории занимало около 40 минут.

Стоит отметить, что дополнительно сотрудники АО «Прин» выполнили расчет траектории движения мобильной системы с использованием точных эфемерид, что, в конечном счете, повысило точность определения координат контрольных точек. Результаты вычисления траектории движения представлены в Приложении Д.

Далее в программе CoPre происходила сшивка данных лазерного сканирования, формирование панорамных снимков и раскрашивание облаков точек в цвета RGB. Вывод облаков точек занимал до двух часов.

Дальнейшая обработка результатов лазерного сканирования осуществлялась в ПО Orbit GT, имеющем широкие возможности по анализу, обработке и векторизации облаков точек. Программа позволяет в том числе выполнять полуавтоматическое выделение характерных линий по облаку точек. Orbit GT также поддерживает совмещение панорамных снимков и облаков точек, что значительно упрощает процесс идентификации объектов.

В результате камеральных работ были определены координаты контрольных точек на проезжей части и местных предметах, а также выполнено определение протяженности контрольного участка, подсчет площади и определение ширин проезжей части. Стоит отметить, что сотрудники АО «Прин» не являются профильными специалистам в дорожной отрасли и не владеют всей спецификой изысканий или паспортизации автомобильных дорог, поэтому, как потом показали результаты, определение

геометрических параметров проезжей части выполнено с несколько большей погрешностью.

### 3.2 Передвижная дорожная лаборатория ДВК-05

#### 3.2.1 Описание и характеристики системы

Московская компания НПО «Регион» образована в 1995 году. Основным направлением деятельности является разработка и производство передвижных дорожных лабораторий и программного обеспечения для камеральной обработки. Использование видеоизображения для создания планов автомобильных дорог и наполнения ГИС является основным отличием лабораторий, разработанных компанией. С 2009 года в составе лабораторий используется технология мобильного сканирования [11]. В настоящее время в России эксплуатируются более 20 передвижных дорожных лабораторий ДВК-05, а для республики Казахстан были разработаны и поставлены две лаборатории.

Комплекс ДВК-05 на базе автомобиля Volkswagen является модульным и может комплектоваться различными устройствами (рисунок 24) в зависимости от решаемых задач и при необходимости может быть дополнительно оборудован приборами различных моделей и принципов измерений. Кроме того, разработана версия комплекса в мобильном исполнении, которую можно устанавливать на различные транспортные средства.

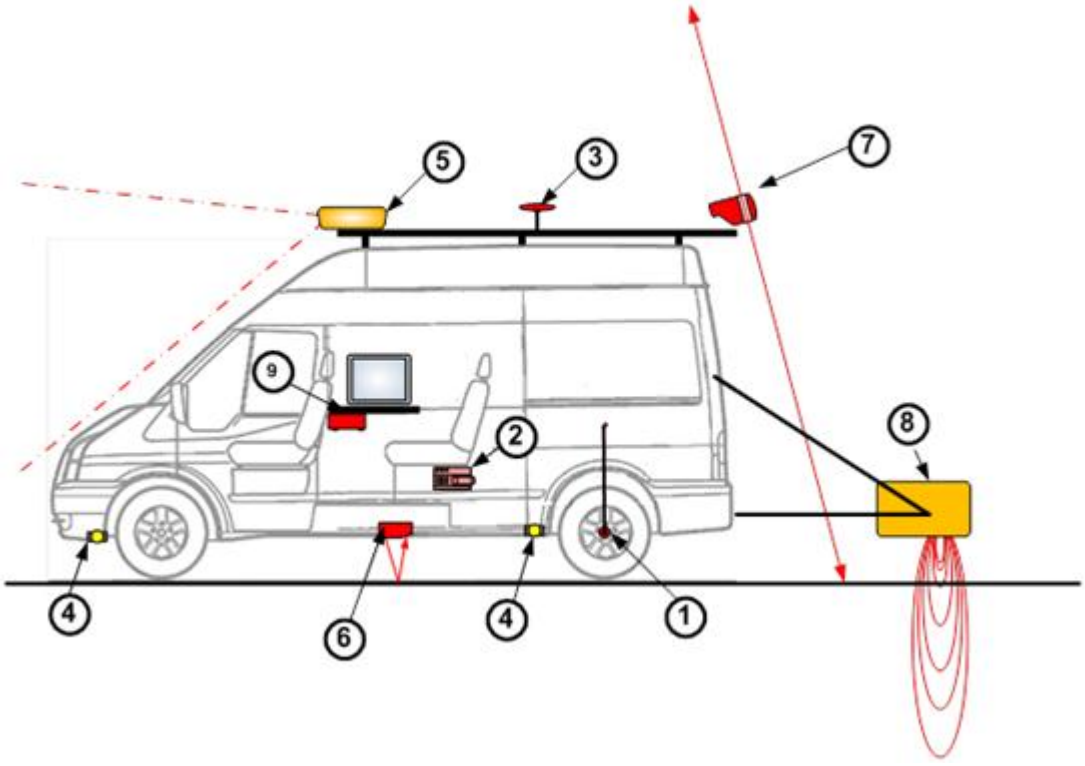



Рисунок 24 — Схема расположения оборудования лаборатории ДВК-05:
1) одометр, 2) блок ИНС, 3) приемник GPS/ГЛОНАСС, 4) датчик положения базовой платформы, 5) видеокамеры, 6) профилометр, 7) лазерный сканер, 8) георадар, 9) система сбора данных и рабочее место оператора

Особенностью лаборатории является то, что все данные, собранные с различных систем и устройств, синхронизированы, что в процессе камеральной обработки позволяет получить точную привязку результатов как к координатам, так и к пройденному пути. А использование дифференциального режима измерений значительно повышает абсолютную точность привязки результатов обследования.

Представленная на сопоставительных испытаниях лаборатория была оборудована следующими измерительными и навигационными системами [11]:

– двухчастотный спутниковый приемник NovAtel SPAN-SE,

– ИНС NovAtel LCI,

– видеокамера Arecont Vision AV3105DN — 4 шт.,

– лазерный сканер SICK LMS511 — 3 шт.

Основной областью использования дорожных лабораторий являются: оценка состояния дорог и искусственных сооружений, инвентаризация автомобильных дорог, разработка проектов организации дорожного движения, разработка проектов ремонта автомобильных дорог, сбор данных для различных геоинформационных систем.

Вычисление траектории движения лаборатории по данным ГНСС и ИНС выполняется в программе NovAtel Inertial Explorer, обработка исходных полевых данных и загрузка в базу данных выполняется в собственной программе Data Manager, конвертация облаков точек в формат LAS выполняется в свободно распространяемых утилитах LasTools.

Отдельно стоит отметить, что для камеральной обработки и оцифровки результатов компанией НПО «Регион» была разработана полноценная программа Система Видеопаспортизации Дорог (СВПД), позволяющая в том числе [12]:

– выполнять привязку объектов к существующему километражу (номерам домов), в том числе и в поперечном сечении дороги с точностью до 0,05 м,

– визуально, с видеоматериала, осуществлять идентификацию дорожных объектов,

– проводить высотную привязку дорожных объектов, в том числе определять габаритные размеры,

– проводить измерения в системе мировых географических координат с возможностью экспорта в ГИС,

– проводить измерения геометрических размеров любых дорожных объектов — точечных (дорожные знаки, рекламные щиты, опоры, сигнальные столбики и т. п.), линейных (трещины, дорожная разметка, ограждения, лесополосы и т. п.), плоскостных (выбоины, ямочный ремонт, ориентация дорожных объектов относительно точки видеосъемки,

– формировать отчетные материалы в различных видах, в том числе и в форме электронного паспорта автомобильной дороги.

### 3.2.2 Полевые работы

Поскольку лаборатория поставляется с полностью настроенными и откалиброванными измерительными системами, выполнение калибровки перед производством полевых работ, как правило, не требуется. Преимуществом лаборатории также является и то, что калибровка ориентации видеокамер и лазерных сканеров возможна в постобработке уже на собранных данных [11].

Запуск и подготовка к работе занимают до двух минут, однако для ИНС требуется от двух до пяти минут для инициализации, а перед началом и окончанием записи требуется 30-секундный период стоянки комплекса.

На участке проведения сопоставительных испытаний для обеспечения дифференциального режима обработки данных на точке временного закрепления был установлен приемник ГНСС.

Всего было выполнено три полных проезда по контрольному участку, при этом для каждого из проездов прямой и обратный проезд были записаны единой траекторией.

После запуска системы в течение 5 минут выполнялась инициализация, после чего начиналось движение и запись данных, движение выполнялось по основной полосе со скоростью 50 км/ч. После проезда в прямом направление запись измерений завершалась, выполнялся разворот, и выполнялась запись данных в обратном направлении. После завершения проезда запись измерений прекращалась, выполнялась стоянка в течение 5 минут, а затем завершалась запись траектории.

Для полевого контроля может использоваться программа Data Manager, выполняющая расчет траектории движения в автономном режиме спутниковых измерений и позволяющая оценить целостность видеофайлов и корректность данных лазерного сканирования.

В процессе движения оператор может ставить метки, обозначающие, например, километровые столбы. Сразу после сбора полевых данных могут быть рассчитаны продольная ровность, глубина колеи, поперечные и продольные уклоны, высота насыпи и глубина выемки, сконвертированы данные георадара, а при наличии отмеченных километровых столбов выполнятся автоматическая километровая привязка данных.

Передача данных для камеральной обработки может быть выполнена с использованием съемных носителей или сети Интернет.

### 3.2.3 Камеральные работы

Процесс камеральных работ начался с вычисления точной траектории движения в программе NovAtel Inertial Explorer. Координаты пункта временного закрепления Т3 были переведены в систему координат WGS-84, а отметка пункта пересчитана в высоту над эллипсоидом WGS-84. Полученные значения были назначены базовой станции и выполнен расчет трех траекторий. Оценка точности вычисления координат и высот траекторий приведена в Приложении Д.

После расчета файлы траекторий загружались в программу Data Manager для привязки результатов измерений и расчета необходимых диагностических параметров. Результаты загружались в базу данных, после чего в программе СВПД (рисунок 25) начинался процесс камеральной обработки и оцифровки данных.

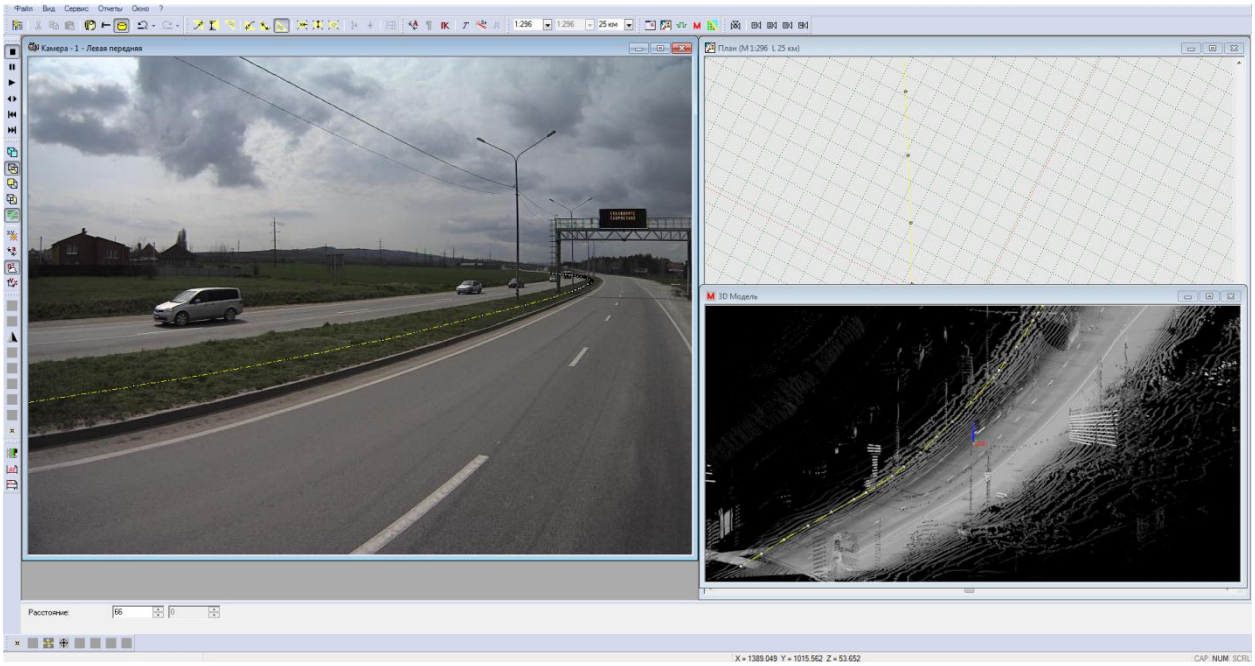


Рисунок 25 — Общий вид рабочего пространства в программе СВПД

Программа позволяет загружать видеокадры с различных камер, совмещать их с облаком точек лазерного сканирования, а также использовать различные варианты совместного отображения данных. Для облаков точек можно выполнять классификацию с выделением истинного рельефа.

Работа по оцифровке начинается с выделения осевой линии автомобильной дороги, после чего отмечаются любые объекты (точечные, линейные, площадные). Определение положения объектов по видеокадрам в программе СВПД выполняется фотограмметрическим способом.

Для решения задач в рамках сопоставительных испытаний по видеокадрам, совмещенным с облаком точек, выполнялся поиск и фиксация контрольных точек на

проезжей части и местных предметах. Далее была выполнена отрисовка поперечников для определения ширины проезжей части и кромок для определения площади покрытия.

Координаты точек были получены в географической системе координат WGS 84, затем с помощью утилит LasTools выполнена конвертация в проекцию UTM зоны 37N. Отметки точек были пересчитаны в ортометрическую систему на модели геоида EGM2008 в программе Vdatum [11].

По итогам выполнения работ на участке сопоставительных испытаний сотрудниками НПО «Регион» в короткие сроки был подготовлен подробный отчет с графическими приложениями [11], а также предоставлены дополнительные информационные материалы о передвижной дорожной лаборатории и программном обеспечении СВПД.

Стоит отметить, что в отчете отсутствуют данные по временным затратам на различных этапах работ, таким образом, оценить общую производительность камеральной обработки в рамках сопоставительных испытаний не представляется возможным.

### 3.3 Измерительный комплекс аэродромно-дорожных лабораторий КП 514 РДТ

#### 3.3.1 Описание и характеристики системы

Саратовское научно-производственное предприятие было образовано в октябре 1988 года в результате выделения из состава Саратовского филиала ГипродорНИИ его научной части и создания Саратовского НПО «Росдорнии». После ряда преобразований компания была переименована в АО «СНПЦ РДТ».

Компания специализируется на разработке и поставке комплексных решений для диагностики и оценки состояния автомобильных дорог: современных передвижных и стационарных лабораторий, измерительных систем, приборов и оборудования.

Измерительный комплекс «RDT LINE» представляет собой совокупность высокотехнологичных измерительных систем, установленных на шасси автомобиля типа фургон, и предназначен для получения полной, объективной и достоверной информации о транспортно-эксплуатационном состоянии автомобильных дорог. [13]

В состав комплекса входят системы, позволяющие:

– производить панорамную видеосъемку автомобильных дорог,

– получать информацию о геометрических параметрах автомобильных дорог,

– получать детальную ведомость дефектов покрытия размером,

– определять географические координаты,

– фиксировать параметры инженерного обустройства,

– производить непрерывное измерение неровностей продольного профиля покрытий,

– производить измерения высотных отметок поперечного профиля и оценку колейности покрытия по полосам движения,

– определять амплитуду колебаний подвески автомобиля,

– определять толщину конструктивных слоев дорожной одежды, выявлять просадки, разуплотненные и обводненные участки, получать данные о местонахождении подземных коммуникаций,

– контролировать уровень искусственного освещения автомобильных дорог,

– определять коэффициент сцепления дорожного покрытия,

– определять несущую способность (прочность) нежестких дорожных одежд автомобильных дорог.

На сопоставительных испытаниях был представлен измерительный комплекс аэродромно-дорожных лабораторий КП 514 РДТ на базе автомобиля ГАЗЕЛЬ NEXT.

В составе комплекса КП 514 РДТ используются следующие измерительные системы:

– видеокамеры Arecont Vision (США) или JAI (Япония),

– лазерно-оптический сканер, состоящий из лазера Coherent (США) и сенсора JAI (Япония),

– блок навигации производства ООО «Текнол» (Россия),

– ультразвуковые датчики Pepperl+Fuchs GMBH (Германия),

– датчик пути собственной разработки,

– датчики IRI, состоящие из акселерометров производства ООО «Измеритель» (г. Таганрог, РФ) и лазеров производства «Рифтек» (Республика Беларусь),

– приёмник ГНСС производства ООО «НВС Навигационные Технологии» (Россия).

**3.3.2 Полевые и камеральные работы**

Работы по определению поперечной ровности покрытия автомобильной дороги начинались с монтажа измерительного оборудования.

Принцип действия состоит в определении профиля следа лазерного плоскостного излучателя на покрытии автомобильной дороги. При этом используется инфракрасный лазер, позволяющий получать поперечные профили покрытия (для определения колейности) с высокой точностью при достаточно высоком уровне фонового освещения. Тем не менее, покрытие автомобильной дороги должно быть сухим, а освещение не превышать 10000 лк, что соответствует освещенности в тени или сумеркам. Таким образом, на участке сопоставительных испытаний измерения проводились на рассвете.

Для выполнения работ по видеосъемке автомобильных дорог установка дополнительного оборудования не требовалась. Для съемки использовалась купольная

видеокамера, расположенная в передней части автомобиля. В результате съемки получается набор кадров, которые заносятся в базу данных. Видеокамеры откалиброваны, что позволяет выполнять определение линейных и плоскостных размеров по видеофайлам.

В процессе сбора данных автомобиль приводился в движение и перед началом контрольного участка запускался процесс сбора данных. В конце участка запись данных останавливалась и выполнялся разворот. В процессе записи данных оператор имеет возможность отмечать объекты обустройства, километровые знаки и т. д.

Вычисление траектории движения выполняется в автономном режиме без использования базовых станций.

Камеральные работы выполнялись с использованием собственного программного обеспечения RDT-Line. Определение координат точек на проезжей части автомобильной дороги выполнялось путем нанесения меток на видеоизображения (рисунок 26). Стоит отметить, что ПО RDT-Line не позволяет получать отметки точек, а сама привязка происходит к траектории движения. Таким образом, определяя координаты объектов, им присваиваются координаты самой траектории движения лаборатории, без учета смещений.

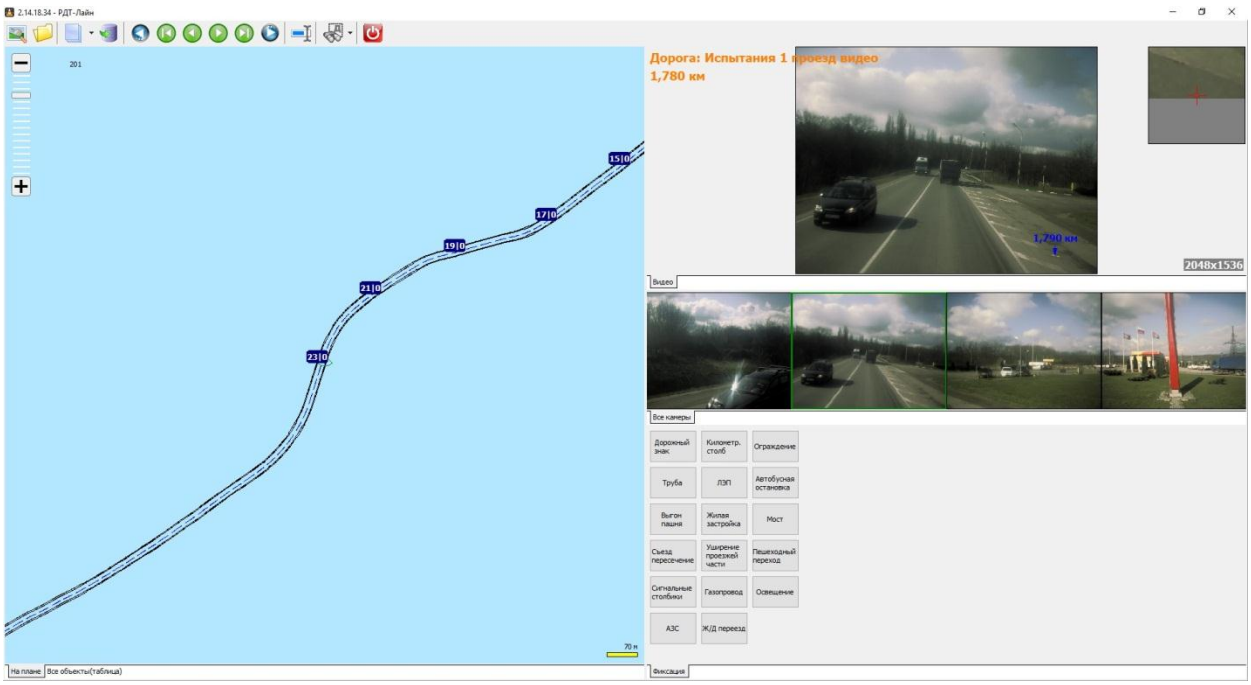



Рисунок 26 — Определение координат контрольных точек на проезжей части автомобильной дороги

Кроме того ПО RDT-Line позволяет выполнять определение ширины проезжей части по видеофайлам (рисунок 27).

По результатам камеральных работ сотрудниками АО «СНПЦ РДТ» была предоставлена ведомость определения поперечной ровности (колейности) на всем

протяжении контрольного участка. А также ведомость определения координат контрольных точек на проезжей части автомобильной дороги, подсчет протяженности и площади контрольного участка и определение ширин проезжей части.

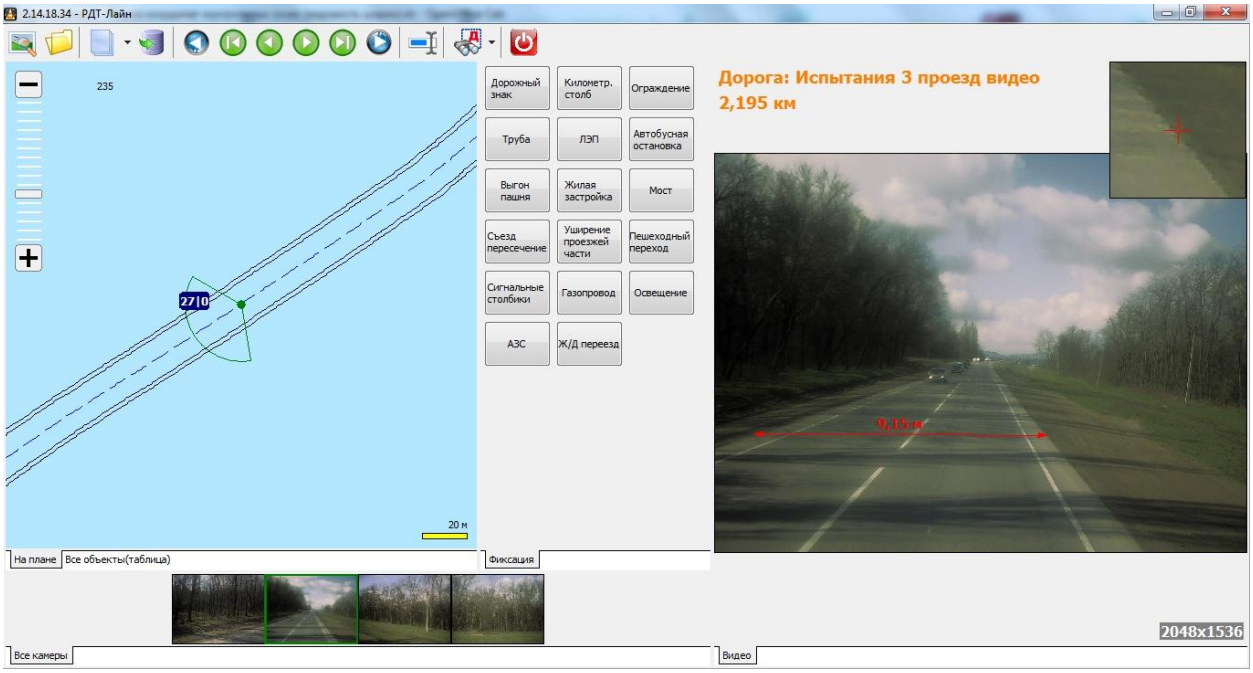



Рисунок 26 — Определение ширины проезжей части в ПО RDT-Line

Результаты измерений могут также быть экспортированы в виде ведомостей в различных форматах или загружены в ГИС.

### 3.4 Система мобильного лазерного сканирования АГМ-МС7

#### 3.4.1 Описание и характеристики системы

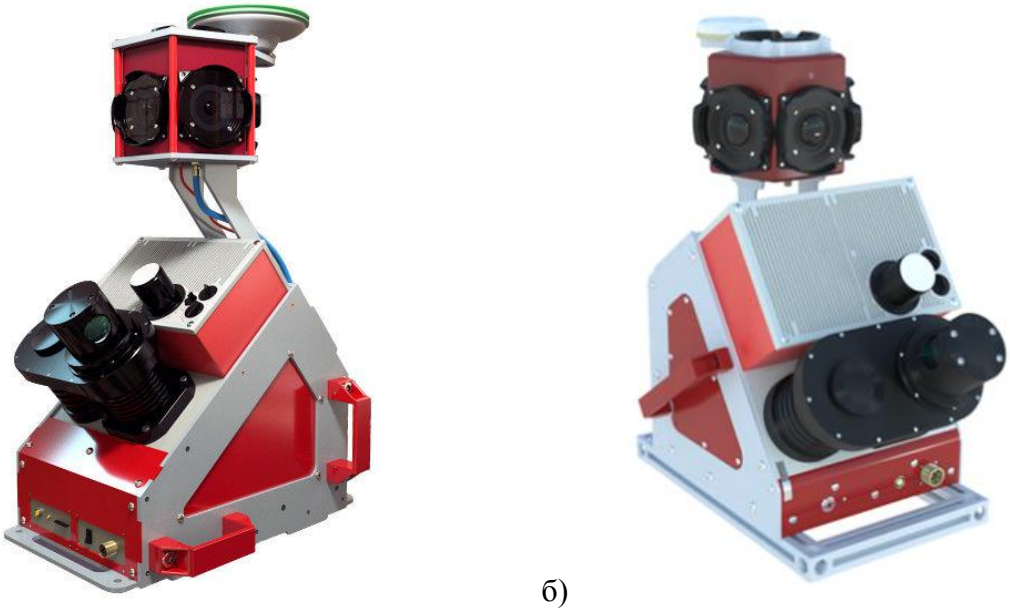
Система мобильного лазерного сканирования АГМ-МС7 разработана и производится компанией ООО «АГМ Системы», город Краснодар, специализирующейся на разработке и интеграции лазерных средств систем мобильного и авиационного применения.

В 2015 году был представлен серийный продукт АГМ-МС7, который в 2016 году был успешно внесен в государственный реестр средств измерений [14].

Система, представленная на сопоставительных испытаниях, в составе измерительного модуля имеет лазерный сканер PENTAX S2100, модуль инерциальной навигации АГМ-ПС собственной разработки, двухчастотный приемник ГНСС на базе решения NovAtel и панорамную камеру FLIR LadyBug 5.

В настоящее время система производится в обновленной компоновке (рисунок 28, б), однако на сопоставительных испытаниях была представлена предыдущая версия системы (рисунок 28, а), имеющая некоторые ограничения по углу обзора лазерного сканирования (рисунок 29), сопровождающиеся при этом повышенным шумом.

Обновленный измерительный модуль стал легче, а панорамная камера теперь не закрывает обзор сканеру.



а) б)

Рисунок 28 — Измерительный модуль системы мобильного лазерного сканирования АГМ-МС7: а) предыдущая версия, б) обновленная версия.

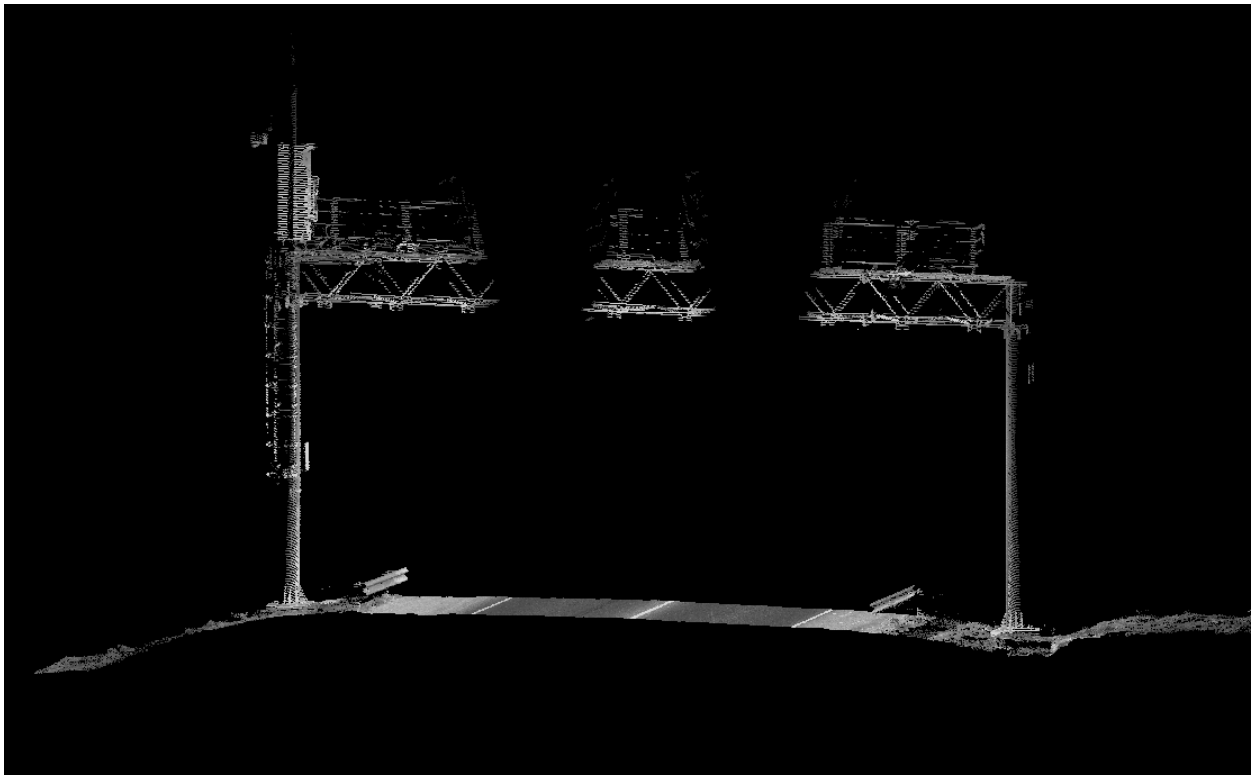


Рисунок 29 — Ограничения угла обзора лазерного сканера в предыдущей компоновке измерительного модуля АГМ-МС7

Ограничения по углу обзора лазерного сканера влияют, в том числе, и на область применения системы, так полноценное выполнение работ по сканированию подмостового пространства, тоннелей и контактной сети общественного или железнодорожного транспорта данной системой за один проезд невозможно.

Стоит отметить, что представленная система АГМ-МС7 была установлена на уникальной подъемной платформе (рисунок 30), позволяющей осуществить удобный монтаж оборудования, на крыше автомобиля, а затем произвести подъем, тем самым значительно увеличив угол обзора.

Управление процессом сканирования осуществляется в собственном ПО AGM ScanControl, загрузка данных на управляющий компьютер с измерительного модуля происходит в собственном специализированном ПО AGM ScanExplorer. Вывод облака точек и конвертация панорамных снимков осуществляется также в собственном ПО AGM ScanWorks.

Компанией ООО «АГМ Системы» разработано ПО AGM PanoScan для САПР AutoCAD, позволяющее загружать облака точек совместно с панорамными снимками и выполнять векторизацию [15].

Рисунок 30 — Платформа для подъема МЛС АГМ-МС7

### 3.4.2 Полевые работы

Подготовка к полевым работам начиналась с монтажа системы на подъемной платформе, подключения кабелей питания и передачи данных на управляющий компьютер. Работы по монтажу системы и подготовке к работе занимают не более 15 минут.

Для обеспечения дифференциального режима измерений была установлена базовая станция.

После включения компьютера и запуска программы AGM ScanControl, выполнялась настройка рабочих папок и параметров съемки, затем производился запуск системы и начинался процесс инициализации.

Инициализация системы может быть выполнена как статическим, так и динамическим методом. В рамках сопоставительных испытаний в течение пяти минут выполнялся статический сбор данных ГНСС, после чего выполнялось несколько разворотов автомобиля по траектории в форме восьмерки.

После выполнения инициализации начинался процесс съемки, который контролировался в программе AGM ScanControl (рисунок 31). После сканирования участка происходил процесс инициализации и выключение системы.

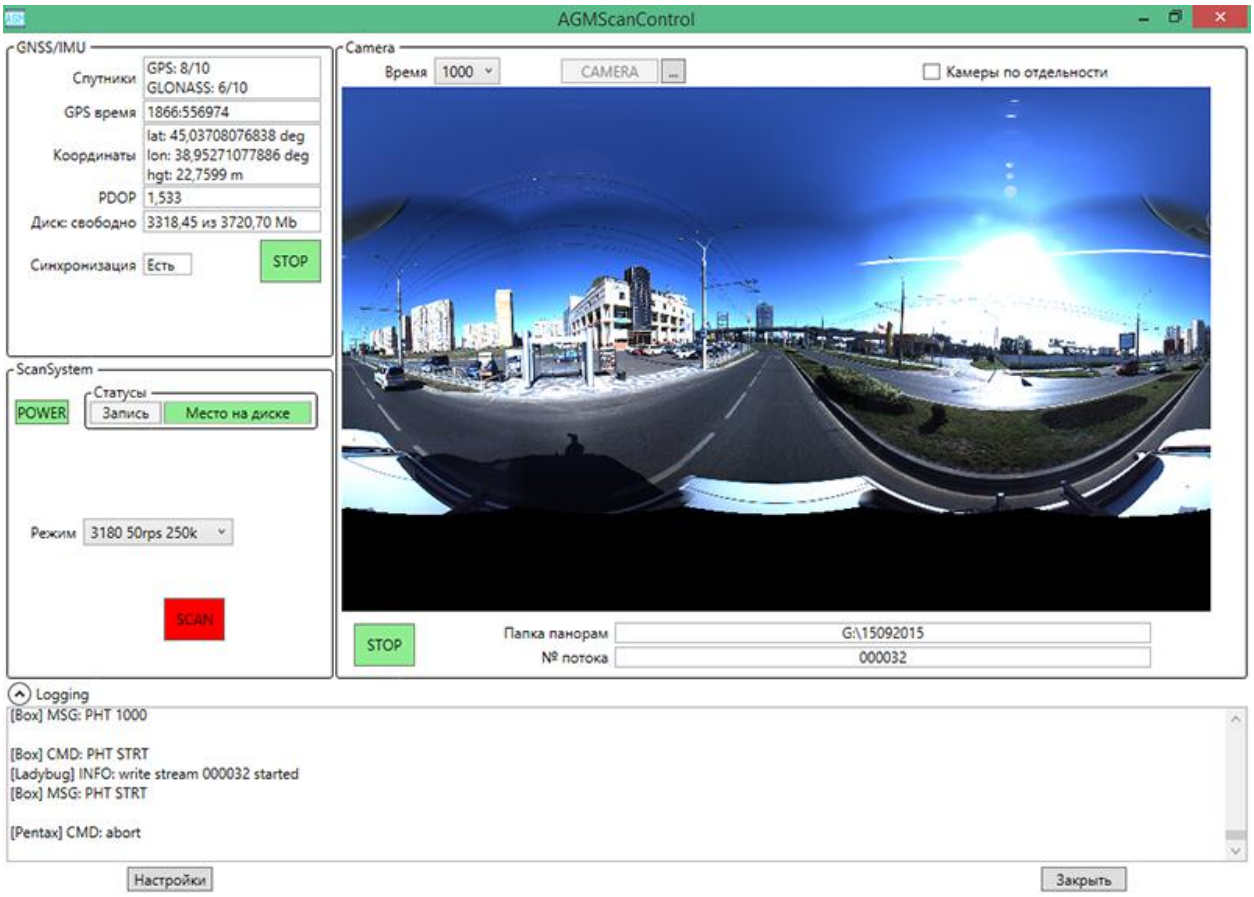



Рисунок 31 — Интерфейс программы AGM ScanControl

После завершения процесса сканирования в программе AGM ScanExplorer производится загрузка данных с приемника ГНСС и лазерного сканера на управляющий компьютер. Данные IMU хранятся на SD карте и требуют извлечения карты из измерительного модуля и отдельного копирования на компьютер. Только после этого загруженные данные можно скопировать на съемные носители и передать для обработки.

В целом процесс загрузки файлов при большом объеме данных может занять до двух часов.

### 3.4.3 Камеральные работы

Процесс камеральных работ начинается с вычисления траектории движения системы. Для этого используется ПО NovAtel Inertial Explorer. После вычисления траектории в программе AGM ScanWorks выполняется вывод точек лазерного сканирования и их раскрашивание по панорамным снимкам, конвертация панорамных снимков в формат JPG. Стоит отметить, что LAS файлы выводятся только в проекции UTM.

Для классификации точек и выделения рельефа использовалось ПО Terra Solid на базе платформы Microstation. Определение координат и высот контрольных точек также выполнялось в программном продукте Terra Solid.

Определение площади покрытия и протяженности участка использовалось ПО AGM PanoScan на базе AutoCAD Civil 3d.

Вывод графиков поперечной ровности осуществлялся в ПО ArcGIS. По облаку точек была построена цифровая модель рельефа в формате TIN, после чего построен DEM растр цифровой модели рельефа и в створе контрольных точек построен график поперечной ровности (рисунок 32).

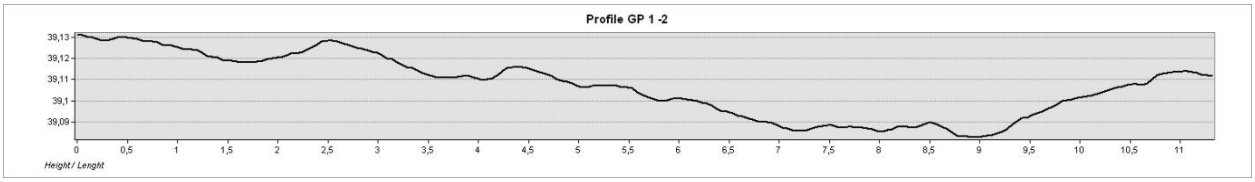



Рисунок 32 — График поперечной ровности в створе контрольных точек К1 – К2

## 3.5 Система мобильного лазерного сканирования Trimble MX9

### 3.5.1 Описание и характеристики системы

Компания Trimble, основанная в 1978 году и располагающаяся в штате Калифорния США на сегодняшний день имеет штат более 7000 сотрудников в 33 странах. Кроме производства геодезических инструментов компания производит системы лазерного сканирования, а также оборудование для точного земледелия, морской навигации, автоматизированного управления строительной техникой и др.

Новейшая система мобильного лазерного сканирования Trimble MX9 производится на заводе Trimble Germany GmbH в Германии.

Общий вид модулей системы представлен на рисунке 33. Измерительный модуль системы (рисунок 33, а) состоит из следующих компонентов:

– два лазерных сканера Riegl VUX-1HA,

– инерциальная навигационная система Applanix AP60,

– панорамная камера Point Grey Ladybug 5+,

– две камеры бокового обзора Point Grey Grasshopper 5.0 MP,

– камера Point Grey Grasshopper 5.0 MP, направленная на покрытие.

Уникальной особенностью данной системы является возможность регулировки сканеров по трем фиксированным положениям как в горизонтальной, так и вертикальной плоскостях. Изменение положения сканеров позволяет адаптироваться под конкретные условия съемки.

Как уже было отмечено лазерный сканер Riegl VUX-1HA позволяет регистрировать не только первое отражение, но и последующие отражения на расстоянии до 420 м.

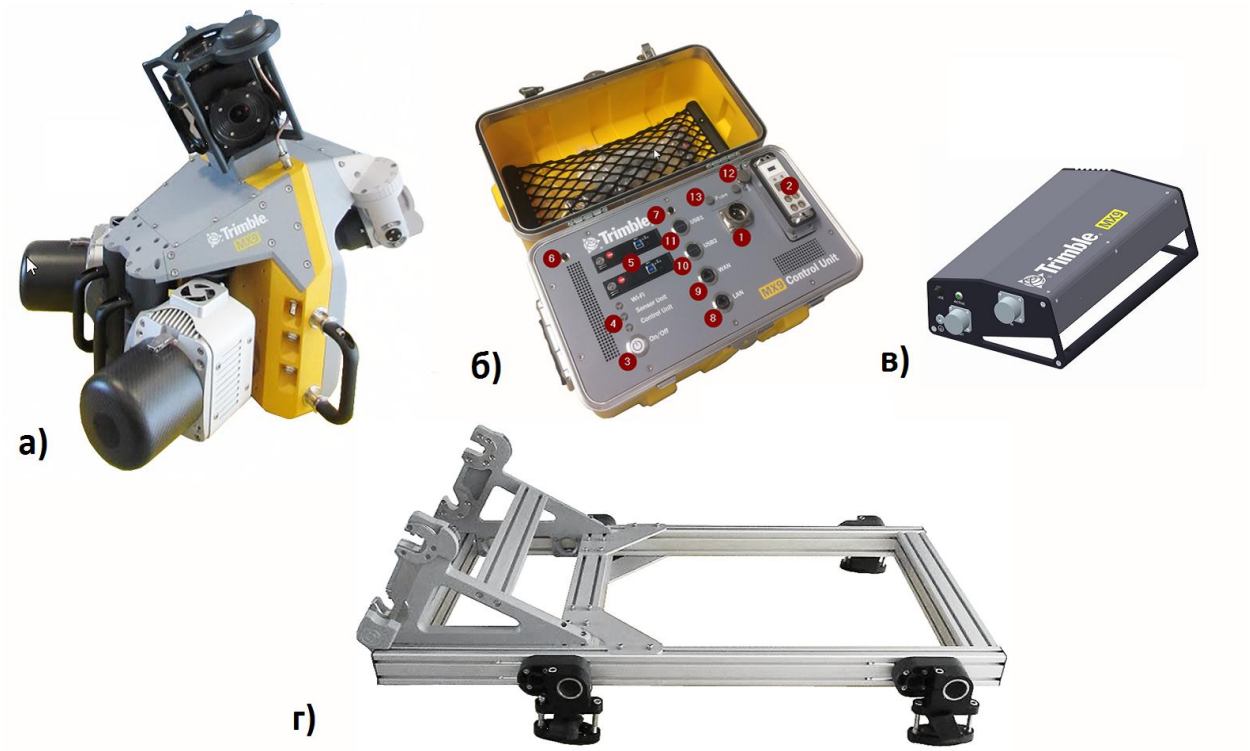



Рисунок 33 — МЛС Trimble MX9:а) измерительный модуль,
б) блок управления, в) блок преобразования питания системы, г) крепление на крышу автомобиля

Кроме того, система предусматривает подключение дополнительной антенны ГНСС. Использование дополнительной антенны позволяет выполнять инициализацию системы в затрудненных условиях, а также иметь более стабильное навигационное решение.

Также предусмотрено подключение одометра (DMI), позволяющего в случае потери сигнала ГНСС вычислять траекторию на основании совместных обработки данных с IMU.

Еще одним преимуществом системы является возможность интеграции стороннего оборудования посредством передачи метки времени и координат по протоколу NMEA.

Управление системой осуществляется с любого мобильного устройства (планшет, ноутбук и др.).

Для вычисления траектории используется ПО Applanix POSPac MMS, дальнейшая обработка результатов лазерного сканирования выполняется в собственном ПО Trimble Business Center и Trimble RealWorks.

Trimble Business Center — универальное программное обеспечение, позволяющее обработать и объединить данные, полученные различными способами: наземной топографической съемкой, выполненной классическими геодезическими инструментами, съемкой с наземных лазерных сканеров, беспилотных летательных средств.

### 3.5.2 Полевые работы

Перед выполнением проездов на пунктах временного закрепления для обеспечения дифференциального режима измерений были установлены базовые станции.

Измерительный модуль МЛС Trimble MX9 монтировался на специальную раму, закрепленную на крыше автомобиля. Далее устанавливалась дополнительная антенна, производилось соединение всех устройств кабелями. После монтажа оборудования выполнялся ряд обязательных промеров: высота системы над поверхностью дороги и положение дополнительной антенны [16].

Настройка системы и управление процессом съемки осуществляется в ПО Trimble Mobile Imaging. Стоит отметить, что программное обеспечение установлено на компьютере блока управления и доступ к нему осуществляется с мобильного устройства через WiFi или Ethernet соединение.

Далее выполнялась настройка системы и параметров сканирования, после чего начинался процесс инициализации. Инициализация системы выполнялась в следующей последовательности: запуск системы и движение в течение 30 секунд с изменением направления движения и скорости, далее — статические наблюдения не менее трех минут, после чего начиналось движение.

Стоит также отметить, что запуск процесса сканирования выполняется отдельно, которое в процессе движения может быть запущено и остановлено при необходимости. Таким образом, сбор данных фотокамер и лазерных сканеров начинался перед началом участка и останавливался после его окончания. Указанная особенность системы позволяет сократить объем данных лазерного сканирования в момент холостого пробега или стоянки.

Процесс сбора данных максимально автоматизирован и интуитивно понятен. В режиме реального времени оператор может наблюдать за качеством навигационного решения, работой фотокамер и лазерных сканеров.

После проведения полевых работ съемные диски извлекались из блока управления и через интерфейс USB данные передавались на компьютер для камеральной обработки.

### 3.5.3 Камеральные работы

Обработка данных начиналась с вычисления траектории движения автомобиля по каждому из трех проездов в программе Applanix POSPac MMS. Вычисление траектории осуществлялось от базовых станций, установленных на точках временного закрепления. В процессе обработки были выявлены тяжелые условия приема сигналов ГНСС, при этом преимущественно общее количество спутников, участвующих в расчете траектории, было от 11 до 15. Графики точности определения траектории приведены в Приложении Г.

Вычисление траектории движения каждого их проездов занимало не более 15 минут.

Вывод облака точек и раскрашивание облаков по панорамным снимкам выполнялось в программе Trimble Business Center Mobile Mapping Bundle. Для уточнения траектории и повышения точности результатов лазерного сканирования использовались встроенные инструменты.

Кроме того, ПО Trimble Business Center позволяет выполнять построение поверхностей как по результатам традиционных геодезических измерений, так и по данным полученным с наземных и мобильных лазерных сканирующих систем, данным с беспилотных летательных средств. В программе имеются инструменты анализа и сравнения поверхностей, а также подсчет объемов.

В программе имеется полноценный модуль САПР, позволяющий выполнять создание чертежей без использования сторонних программ, модули работы с трассой и инженерными коммуникациями.

Таким образом, определение координат контрольных точек, подсчет площади, протяженности и ширины проезжей части полностью выполнены в ПО Trimble Business Center.

В целом обработка одного проезда с уточнением траектории проезда занимала около 2,5 часов, а объем данных по каждому из проездов составил около 30 ГБ.

## 3.6 Автоматизированный дорожный сканер «АДС-МАДИ»

### 3.6.1 Описание и характеристики системы

Автоматизированный дорожный сканер «АДС-МАДИ» разработан исключительно для мониторинга объектов улично-дорожной сети в ночное время. На сопоставительных

испытаниях была представлена экспериментальная дорожная лаборатория модификации 2019 года.

В своем составе лаборатория имеет следующие измерительные системы и оборудование:

– камера объемного сканера,

– лазерный генератор линии объемного сканера,

– линейная камера дорожного покрытия,

– две линейных камеры бокового обзора,

– светильники линейных камер,

– лазерный датчик системы измерения продольной ровности,

– датчик ускорения системы измерения продольной ровности,

– аппаратно-программный комплекс многопозиционного радиолокационного зондирования.

Для обеспечения возможности выполнения работ в ночное время над автомобилем на консоли установлены светильники с коллиматорными пластинами, формирующие узкую полосу света (рисунок 34), шириной, достаточной для освещения участка, но в тоже время исключающей возможность ослепления участников дорожного движения.

Лаборатория АДС-МАДИ позволяет в автоматическом режиме, используя алгоритмы распознавания, выделять на изображении различные объекты. Особый интерес при распознавании представляют разметка автомобильной дороги, канализационные люки, бортовой камень, трещины и дефекты дорожного полотна [17].

### 3.6.2 Полевые и камеральные работы

Дорожная лаборатория АДС-МАДИ не требует монтажа технологического оборудования и после прибытия на объект полностью готова к работе. В рамках сопоставительных испытаний были выполнены три проезда в светлое время суток, без использования светильников линейных камер.

По результатам камеральной обработки полученных данных были определены координаты и высоты контрольных точек на проезжей части и местных предметах, выполнено определение протяженности контрольного участка, а также подсчет площади контрольного участка в прямом направлении.

Кроме того, были предоставлены линейные графики проездов с выделенными дефектами полотна проезжей части (рисунок 35).

Рисунок 34 — Освещение участка автомобильной дороги узкой полосой автоматизированным дорожным сканером «АДС-МАДИ»

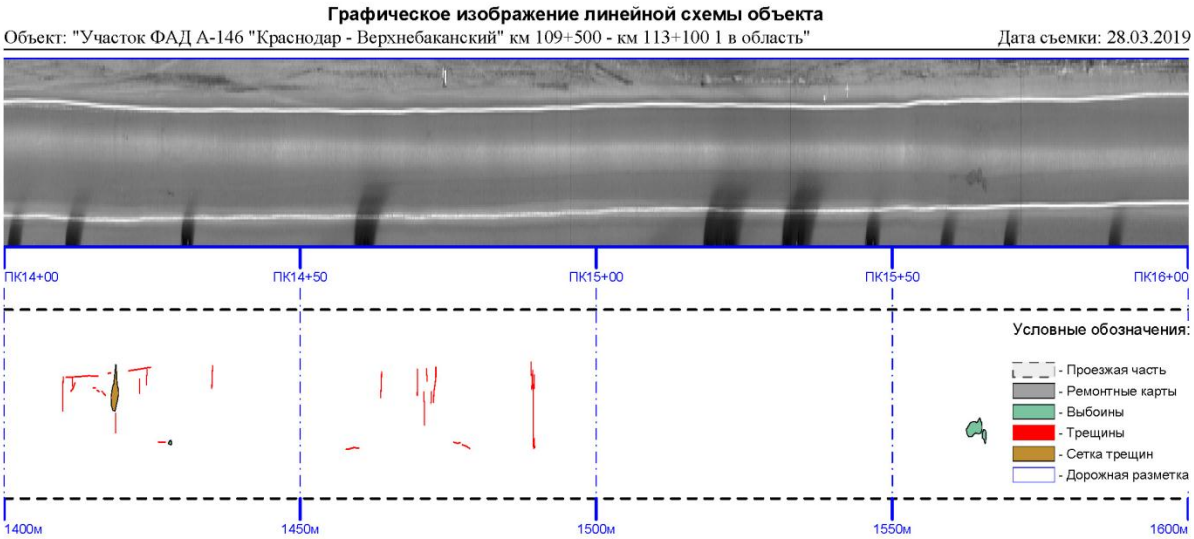



Рисунок 35 — Линейный график участка, полученный по результатам проезда автоматизированным дорожным сканером «АДС-МАДИ»

### 3.7 Сравнение систем

Компанией ООО «АГМ Системы» была представлена проверенная и зарекомендовавшая себя версия системы АГМ-МС7, однако в настоящее время система в таком виде уже не производится. Обновленная версия имеет измененные технические характеристики, а некоторые комплектующие заменены аналогами от других производителей.

На сопоставительных испытаниях впервые в России были представлены системы мобильного лазерного сканирования Trimble MX9 и CHC Navigation Alpha 3D, ввезенные на территорию Российской Федерации, в том числе специально для участия в сопоставительных испытаниях. Стоит отметить сотрудников ООО «Технокауф» и АО «Прин» за проявленный интерес к мероприятию и проделанную работу для возможности демонстрации указанных систем в рамках сопоставительных испытаний.

Измерительный комплекс аэродромно-дорожных лабораторий КП 514 РДТ — один из наиболее популярных отечественных комплексов дорожных лабораторий, повсеместно использующихся для всех видов диагностики и паспортизации как региональных, так и федеральных автомобильных дорог.

Сотрудниками ФГБОУВО «МАДИ» была представлена обновленная версия автоматизированного дорожного сканера «АДС-МАДИ», изменения коснулись не только измерительного, но и навигационного оборудования. В настоящее время комплекс проходит этап испытаний и калибровки.

Компанией ООО «НПО Регион» была представлена комплексная передвижная дорожная лаборатория ДВК-05, сочетающая в себе как традиционные средства диагностики автомобильных дорог, так и устройства лазерного сканирования. Компания является постоянным участником подобных мероприятий, а результаты, полученные по итогам сопоставительных испытаний, позволяют сделать вывод о том, что лаборатория ДВК-05 не перестает совершенствоваться.

Технические характеристики передвижных дорожных лабораторий и систем мобильного лазерного сканирования представлены в таблицах 5 и 6.

Таблица 5 — Технические характеристики передвижных дорожных лабораторий

| Измеряемый параметр | ДВК-05 [11] | КП-514 РДТ [18] | АДС МАДИ [19] |
|---|---|---|---|
| Пройденный путь:<br>– диапазон измерений, км<br>– погрешность измерения, % | <br>0 – 1 000<br>0,1 | <br>0,1 – 100<br>±0,1 | Н/д |
| Продольный уклон:<br>– диапазон измерений, ‰<br>– погрешность измерения, ‰ | <br>±120<br>3 | <br>±105<br>±3 | Н/д |
| Поперечный уклон:<br>– диапазон измерений, ‰<br>– погрешность измерения, ‰ | <br>±120<br>5 | <br>±105<br>±5 | Н/д |
| Углы поворота дороги:<br>– диапазон измерений, °<br>– погрешность измерения, ° | <br>0 – 360<br>1 | <br>±180<br>±3 | Н/д |
| Радиусы кривых в плане:<br>– диапазон измерений, м<br>– погрешность измерения, % | <br>0 – 50 000<br>2 | Н/д | Н/д |
| Радиусы выпуклых и вогнутых кривых:<br>– диапазон измерений, м<br>– погрешность измерения, % | <br>0 – 100 000<br>2 | Н/д | Н/д |
| Продольный микропрофиль:<br>– диапазон измерений, мм<br>– погрешность измерения | <br>±150<br>5 % | <br>±100<br>±5 мм | <br>±100<br>±1.5 |
| Поперечная ровность (колейность):<br>– диапазон измерений, мм<br>– погрешность измерения, мм | <br>0 – 150<br>2 | <br>2 – 150<br>±2 мм | <br>±150<br>±2 |
| Погрешность привязки объектов | ±0,005 – ±10,0 м | ± 1” | Н/д |
| Измерение объектов по видеоизображению или облаку точек:<br>– диапазон измерений, м<br>– погрешность измерения | <br>До 50<br>0,05 + 0,001*L м | <br>0,5 – 20<br>±5 % | <br>0 – 12<br>±10 мм |
| Лазерный сканер:<br>– количество, тип<br>– измерения расстояния, м<br>– погрешность измерения, м | <br>3 × SICK LMS511<br>До 80<br>0,006 – 0,014 [20] | <br>Не используется | <br>1 × Velodyne PUCK<br>До 100<br>±0,03 [21] |

Как видно из таблицы 4, передвижные дорожные лаборатории ДВК-05 и КП-514 РДТ обладают схожими техническими характеристиками. Преимуществом ДВК-05 является использование лазерного сканера, а также возможность вычисления траектории движения дорожной лаборатории в постобработке с высокой точностью, что значительно повышает точность пространственной привязки результатов.

Таблица 6 — Технические характеристики систем мобильного лазерного сканирования

| Наименование параметра | Trimble MX9 [22; 23; 24] | CHC Navigation Alpha 3D [25] | АГМ-МС7.2100 [26; 27; 28] |
|---|---|---|---|
| Измеряемое расстояние:<br>– диапазон измерений, м<br>– погрешность измерения, мм<br>– прецизионность измерений, мм<br>– максимальная частота сканирования, Гц | <br>420<br>5<br>3<br><br>2 000 | <br>420<br>5<br>3<br><br>1 000 | <br>119<br>3,1<br>н/д<br><br>1 016 |
| Характеристики IMU:<br>– крен, тангаж,<br>– курс, ° | <br>0,005<br>0,015 | <br>0,005<br>0,017 | <br>0,005<br>0,008 |
| Абсолютная точность измерений:<br>– плановая, мм<br>– высотная, мм | <br><br>25 – 50<br>25 – 50 | <br><br>25 – 30<br>25 – 30 | <br><br>30<br>30 |
| Лазерный сканер | 2 × Riegl VUX-1HA | Riegl VUX-1HA | PENTAX S2100 |
| Инерциальная система | Applanix AP-60 | Applanix AP-60 | АГМ-ПС[1] |
| Дополнительная антенна ГНСС | Опционально | Опционально | Н/д |
| Одометр (DMI) | Опционально | Опционально | Не предусмотрен |
| Фотокамеры | FLIR Ladybug 5+, 3 встроенных 5 МП | FLIR Ladybug 5+ | FLIR Ladybug 5 |
| Подключение внешних устройств | 1 | 2 | н/д |
| Степень пылевлагозащиты | IP 64 | IP 64 | н/д |
| Масса измерительного модуля | 37 | 19,2 | 31 |

Как видно из сравнительной таблицы 6, системы обладают схожими техническими характеристиками. Из представленных систем Trimble MX9 является наиболее производительной универсальной системой с богатой комплектацией. Также стоит отметить систему CHC Navigation Alpha 3D, позволяющую выполнять интеграцию двух дополнительных устройств.

[1] На сопоставительных испытаниях была представлена система с аналогичной IMU от другого производителя.

### 3.8 Программное обеспечение

В таблице 7 приведено программное обеспечение, используемое на различных этапах выполнения камеральных работ.

Таблица 7 — Используемое программное обеспечение для выполнения камеральных работ

| Вид работ | Trimble MX9 | CHC Navigation Alpha 3D | АГМ-МС7.2100 | ДВК-05 | КП-514 РДТ | АДС МАДИ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Вычисление траектории | Applanix POSPac MMS | NovAtel Inertial Explorer | NovAtel Inertial Explorer | NovAtel Inertial Explorer | Не выпол-няется | Н/д |
| Вывод данных | Trimble Business Center | CoPre | AGM ScanWorks | Data Manager | RDT-Line | Н/д |
| Определение пространственного положения объектов | То же | Orbit GT | TerraSolid на базе Microstation | СВПД | То же | Н/д |
| Определение длины участка | ″ | То же | AGM PanoScan на базе AutoCAD | то же | ″ | Н/д |
| Определение ширины дорожного покрытия | ″ | ″ | То же | ″ | ″ | Н/д |
| Подсчет площади дорожного покрытия | ″ | ″ | ″ | ″ | ″ | Н/д |
| Определение поперечной ровности (колейности) | Не определя-лась | Не определя-лась | ArcGIS | ″ | ″ | Н/д |

Расчет точной траектории движения тремя участниками сопоставительных испытаний выполнялся в ПО NovAtel Inertial Explorer.

Inertial Explorer — специализированное программное обеспечение для совместной обработки данных ГНСС и инерциальных систем навигации. Программа позволяет

вычислять траектории движения, полученные с использованием воздушных, наземных, пешеходных и морских измерительных систем.

В программе могут быть обработаны данные волоконно-оптических и кольцевых лазерных гироскопов, а также микроэлектромеханических систем. В качестве данных ГНСС для режима кинематики с постобработкой могут использоваться GPS, ГЛОНАСС, Galileo и BeiDou. Программа поддерживает до 32 базовых станций, а влияние отклонения от вертикали для поправки на высоту может быть вычислено с использованием модели Земли, основанной на EGM2008 [29].

Для вычисления траектории NovAtel Inertial Explorer используют многие другие производители различных сканирующих систем и дорожных лабораторий. Связано это с тем, что большинство используют компоненты, произведенные компании NovAtel, а сама по себе программа является достаточно универсальной, поддерживающей работу с навигационными устройствами различных производителей.

Программное обеспечение для обработки результатов, позволяющее решать различные задачи, в том числе, и с высокой степенью автоматизации, должно быть дополнительно проанализировано после определения необходимого перечня работ по созданию цифровых моделей автомобильных дорог в рамках федерального проекта «Общесистемные меры развития дорожного хозяйства».

**4 Анализ результатов**

По результатам камеральной обработки участниками были представлены таблицы с координатами и высотами контрольных точек на проезжей части, местных предметах, а также результаты определения ширин проезжей части, протяженности и площади покрытия по основному ходу автомобильной дороги.

Стоит отметить, что распознавание раскрашенных контрольных точек по фотопанорамам и облакам точек — процесс достаточно субъективный, и на результат кроме оборудования для сбора полевых данных могут повлиять размер и алгоритмы раскраски и отображения данных в используемом программном обеспечении, разрешение офисного монитора, параметры цветопередачи, а также индивидуальные физиологические особенности цветовосприятия у оператора.

Таким образом, для повышения объективности результатов сопоставительных испытаний и исключения случайных ошибок, вызванных человеческим фактором, обработка результатов должна выполняться на одном устройстве постоянной командой специалистов. Ввиду того что такая техническая возможность отсутствовала, результаты оценки точности систем основаны на данных, представленных участниками.

После предварительного анализа поступивших данных были выявлены грубые ошибки в результатах, которые были своевременно откорректированы участниками сопоставительных испытаний.

### 4.1 Определение координат и высот контрольных точек на покрытии

Практически все участники отметили трудности в распознавании контрольных точек только лишь по облакам точек. Для корректного определения контрольной точки по материалам фото- или видеосъемки определялось местоположение, выполнялось масштабирование или ориентация облака точек, после чего отмечался центр контрольной точки.

Одновременно с этим у некоторых участников сопоставительных испытаний возникли трудности с правильным распознаванием контрольных точек, а определение в некоторых случаях ввиду различных факторов было невозможно.

Также необходимо отметить, что положение объектов на облаках точек, раскрашенных в реальные цвета по панорамным снимкам, может отличаться от положения объектов, определенных по интенсивности отраженного сигнала. Связано это с погрешностями калибровки камер, а также параллаксом.

По результатам, представленным участниками, в соответствии с [30] были отбракованы ошибочные значения и рассчитаны среднеквадратические отклонения измерений по каждому из проездов, представленные в таблице 8.

Таблица 8 — Среднее квадратичное отклонение измерений контрольных точек на покрытии

| Наименование системы | Проезд 1 СКО, мм | | Проезд 2 СКО, мм | | Проезд 3 СКО, мм | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | плановое | высотное | плановое | высотное | плановое | высотное |
| ДВК-05 | 37 | 32 | 68 | 31 | 66 | 33 |
| АГМ-МС7 | 18 | 15 | 23 | 19 | 20 | 10 |
| Trimble MX9 | 30 | 26 | 37 | 23 | 33 | 23 |
| CHC Navigation Alpha 3D [1] | 11 (24) | 19 | 10 (21) | 18 | 13 (19) | 8 |
| АДС-МАДИ [2,3] | 8 674 | 1 875 | 8 765 | 1 875 | 8 672 | 1 875 |
| КП 514 РДТ [2] | 3 154 | – | 3620 | – | 3 000 | – |

[1] В скобках значение для данных, вычисленных без использования точных эфемерид.

[2] Запись данных лабораторией выполнена в автономном режиме спутниковых наблюдений.

[3] Участник предоставил отметки, округленные с точностью до 1 м.

Всего требовалось определить координаты и высоты 39 точек на проезжей части. Практически все точки были определены участниками, за исключением нескольких случаев, когда определение точек было невозможно из-за проезжающих или припаркованных автомобилей.

Отдельно стоит отметить необходимость использования геоида, в случае если необходимо более достоверное определение не только планового положения объекта, а также высотной составляющей.

Как показал анализ представленных материалов, в случае если геоид не использовался происходило плавное накопление ошибок определения отметок точек, по мере удаления от базовой станции (исходной точки). Накопление ошибки на участке протяженностью всего 3 км достигало 20 см.

Как видно из сравнительной таблицы 4, точность определения координат и высот точек на покрытии достаточно высокая, таким образом, при должном уровне контроля результатов съемки системы мобильного лазерного сканирования можно использовать для решения задач в рамках проектно-изыскательских и строительных работ.

Поскольку автоматизированный дорожный сканер «АДС-МАДИ» не предназначен для определения координат и высот объектов, то значения, полученные с его помощью можно считать справочными.

Отмечено, что размер контрольных точек недостаточен для однозначной идентификации центра только по раскрашенным в реальные цвета точкам результатов лазерного сканирования. Ввиду малой площади контрольной точки и малого коэффициента отражения краски при визуализации облака точек результатов лазерного сканирования с раскраской по интенсивности выявить контрольную точку невозможно. Требуются дополнительные исследования для определения оптимальной конфигурации, формы и размера контрольной точки, а также подбор наиболее оптимальной краски с высоким коэффициентом отражения.

### 4.2 Определение координат и высот контрольных точек на местных предметах

На местных предметах в результате подготовительного этапа всего было определено 40 контрольных точек. Контрольные точки были расположены таким образом, чтобы в результате сопоставительных испытаний выявить участки и элементы автомобильных дорог, которые по тем или иным причинам не могут быть идентифицированы на видеофайлах и облаках точек, полученных в результате проезда.

Результаты определения контрольных точек на местных предметах представлены в таблице 9. Данные, приведенные в таблице, являются справочными, поскольку контрольные точки не были явно отмечены на объектах и участниками производился

субъективный выбор точек, что в свою очередь влияет на погрешность определения координат и высот контрольных точек

Таблица 9 — Результаты определения контрольных точек на местных предметах (справочные данные)

| Наименование системы | Процент определения контрольных точек | Средняя точность определения в плане, м |
|---|---|---|
| ДВК-05 | 85 % | 1,53 |
| АГМ-МС7 | 68 % | 0,27 |
| Trimble MX9 | 68 % | 0,27 |
| CHC Navigation Alpha 3D | 76 % | 0,68 |
| АДС-МАДИ | 100 % | 8,69 |
| КП 514 РДТ | – | – |

Как видно из таблицы, определить все контрольные точки удалось только сотрудникам ФГБОУВО «МАДИ» по результатам проездов автоматизированного дорожного сканера «АДС-МАДИ», однако данные были представлены только для одного проезда из трех. Несмотря на то, что были определены все точки, точность их определения оказалась невысокой.

Лаборатория КП 514 РДТ не поддерживает возможность определения координат за пределами земляного полотна автомобильной дороги.

Что касается остальных передвижных лабораторий и систем мобильного лазерного сканирования, участникам удалось определить от 68 % до 85 % контрольных точек. Стоит отметить, что только по данным автоматизированного дорожного сканера «АДС-МАДИ» удалось определить координаты и высоты контрольных точек на водопропускной трубе, однако достоверность данных вызывает сомнение. Таким образом, можно сделать вывод, что определение водопропускных труб, а также объектов, расположенных на подошве высоких насыпей, не представляется возможным ввиду нахождения в теневой зоне. В указанных местах при производстве работ требуется выполнение съемочных работ с применением других методов, или на этапе выполнения проездов необходимо двигаться по обочине.

Часть точек не была определена, так как была закрыта различными объектами и попадала в теневую зону. К таким точка можно отнести дальние углы фундамента стелы и опоры ЛЭП, а также дальний угол стелы «Крымск», попавший в теневую зону самой стелы.

### 4.3 Результаты определения ширин проезжей части, площади покрытия и протяженности

Погрешность определения протяжённости и площади покрытия контрольного участка по основному ходу представлены в таблицах 10 и 11.

Таблица 10 — Погрешность определения протяженности участка

| Наименование системы | Проезд 1 | Проезд 2 | Проезд 3 |
|---|---|---|---|
| ДВК-05 | 0,020 % | 0,020 % | 0,014 % |
| АГМ-МС7 | 0,011 % | 0,011 % | 0,011 % |
| Trimble MX9 | 0,004 % | 0,014 % | 0,010 % |
| CHC Navigation Alpha 3D | 0,019 % | 0,022 % | 0,020 % |
| АДС-МАДИ | 1,768 % | 0,952 % | 2,747 % |
| КП 514 РДТ | 0,217 % | 0,245 % | 0,326 % |

Таблица 11 — Погрешность определения площади покрытия по основному ходу

| Наименование системы | Проезд 1 | Проезд 2 | Проезд 3 |
|---|---|---|---|
| ДВК-05 | 0,5 % | 0,8 % | 1,3 % |
| АГМ-МС7 | 0,6 % | 0,6 % | 0,6 % |
| Trimble MX9 | 0,6 % | 0,6 % | 0,6 % |
| CHC Navigation Alpha 3D | 5,7 % | 5,3 % | 5,2 % |
| АДС-МАДИ | 20,0 % | 20,1 % | 20,0 % |
| КП 514 РДТ | 2,9 % | 3,1 % | 3,0 % |

Средние погрешности определения ширин проезжей части контрольного участка представлены в таблице 12.

Таблица 12 — Средняя погрешность определения ширин проезжей части

| Наименование системы | Проезд 1 | Проезд 2 | Проезд 3 |
|---|---|---|---|
| ДВК-05 | 1,62 % | 1,77 % | 1,69 % |
| АГМ-МС7 | 1,38 % | 1,46 % | 1,35 % |
| Trimble MX9 | 1,42 % | 1,38 % | 1,50 % |
| CHC Navigation Alpha 3D | 3,39 % | 3,47 % | 2,96 % |
| АДС-МАДИ[1] | – | – | – |
| КП 514 РДТ | 5,86 % | 5,85 % | 5,77 % |

Стоит отметить, что в местах, где кромка проезжей части автомобильной дороги была загрязнена, ширины в некоторых случаях были определены на 30–40 см меньше фактических. Таким образом, в случае если кромка засыпана или загрязнена, имеются некоторые ограничения на использования данных технологий.

[1] Определение ширин не производилось.

### 4.4 Результаты определения поперечной ровности покрытия

По результатам проведения полевой части сопоставительных испытаний участниками были предоставлены результаты определения поперечной ровности в виде, который позволяет выдавать используемое программное обеспечение.

По результатам определения поперечной ровности на всем участке сопоставительных испытаний сотрудниками АО «СНПЦ РДТ» предоставлены ведомости в формате EXEL по поперечникам с шагом 20 метров.

Сотрудниками ООО «НПО Регион» также были представлены ведомости в формате EXEL со значением колейности на 100-метровых участках.

Сотрудники ООО «АГМ Системы» представили графики определения колейности в створе контрольных точек в виде изображения в растровом формате.

Ввиду отсутствия единообразия в подходах к определению поперечной ровности (колейности) у участников сопоставительных испытаний, а также при нормативном состоянии участка автомобильной дороги сопоставление результатов определения келейности не проводилось.

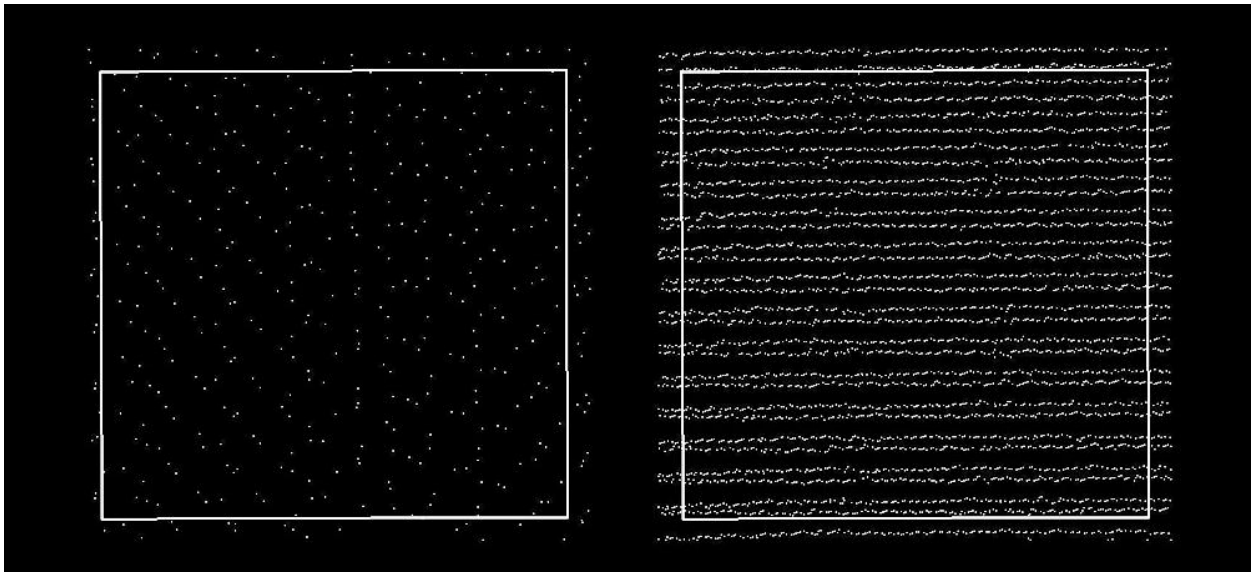
### 4.5 Рисунок и плотность облака точек

По результатам сопоставительных испытаний уравненные облака точек были представлены ООО «НПО Регион» (ДВК-05), ООО «АГМ Системы» (АГМ-МС7), АО «Прин» (CHC Navigation Alpha 3D) и ООО «Технокауф» (Trimble MX9). Ввиду того что на АДС-МАДИ впервые был установлен лазерный сканер, работающий в экспериментальном режиме, сотрудники ФГБОУВО «МАДИ» не успели подготовить уравненное облако точек. Облако точек, полученное с помощью передвижной дорожной лабораторииДВК-05, не было раскрашено в реальные цвета.

Количество, тип измерительных устройств и расположение лазерного сканера, а также скорость движения автомобиля, в конечном счете, влияют на рисунок облака точек (рисунок 36). Так, наименьшей плотностью, обладает облако точек, полученное по результатам проезда передвижной дорожной лаборатории ДВК-05.

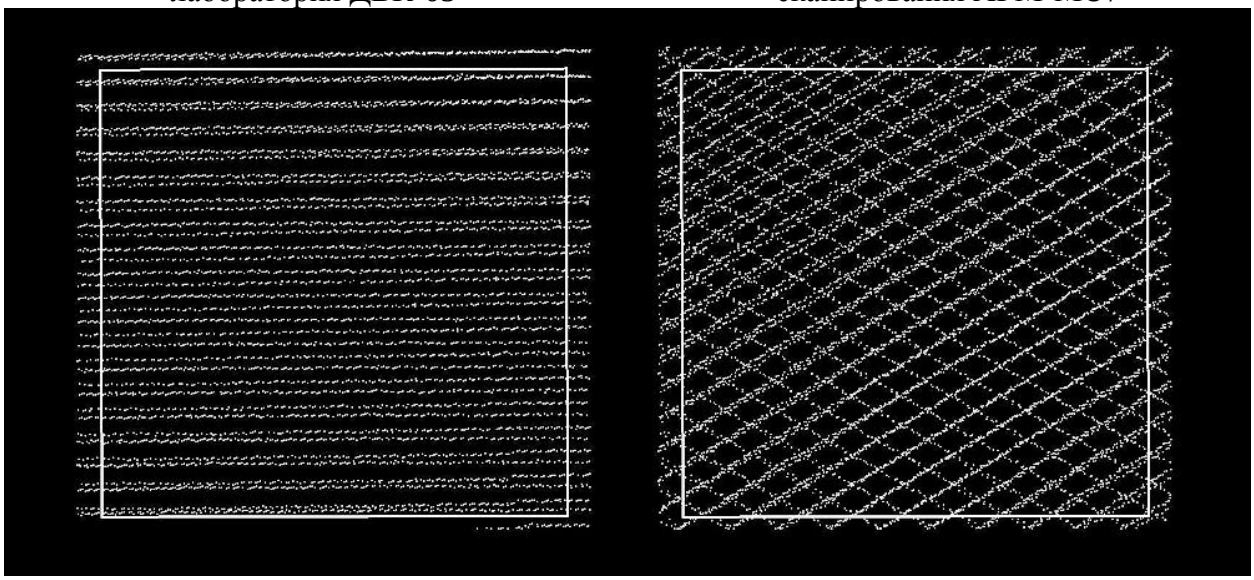
Для лазерных сканеров, расположенных перпендикулярно оси движения автомобиля, характерна очень высокая плотность точек в поперечном направлении (рисунок 36 б, в). При этом плотность точек в продольном направлении напрямую зависит от скорости движения автомобиля. Чем выше скорость, тем выше расстояние между профилями. Наиболее равномерная плотность точек, как в поперечном, так и продольном направлении отмечена у систем, имеющих два лазерных сканера, расположенных под углом к оси движения автомобиля (рисунок 36 а, г).

Полнота данных облака точек (рисунок 37) в большей степени будет зависеть от диапазона измерений и расположения лазерного сканера. Так, для передвижной дорожной лаборатории ДВК-05 на облаке точек присутствует только проезжая часть автомобильной дороги, объекты обустройства и частично элементы насыпи (рисунок 37, а). Для системы мобильного лазерного сканирования АГМ-МС7, использующей фазовый принцип измерения расстояния, возможно получение только первого отражения от объектов. Для систем CHC Navigation Alpha 3D и Trimble MX9, использующих импульсный принцип измерения расстояния, отражения получены, в том числе и за лесополосой (рисунок 38 в, г).



а) передвижная дорожная лаборатория ДВК-05

б) система мобильного лазерного сканирования АГМ-МС7



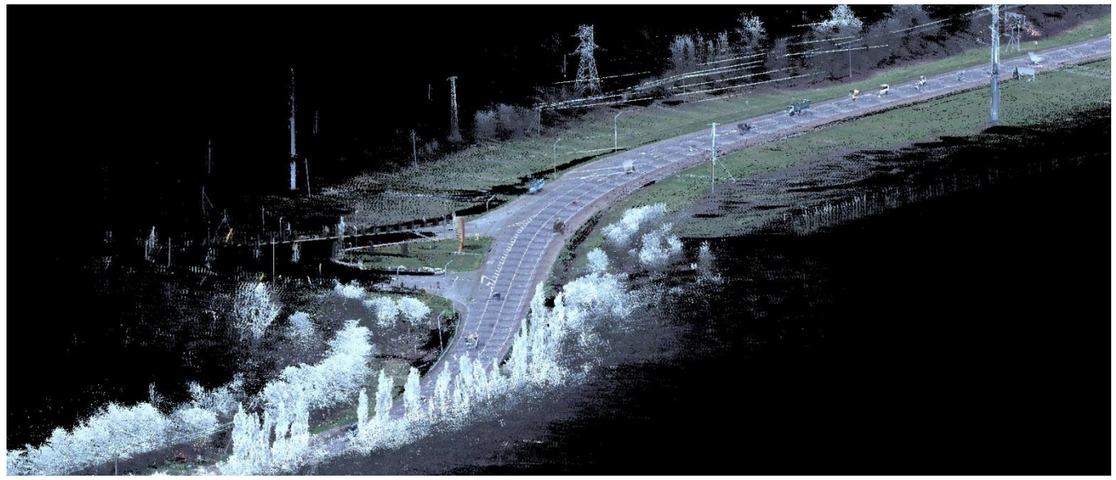
в) система мобильного лазерного сканирования CHC Navigation Alpha 3D

г) система мобильного лазерного сканирования Trimble MX9

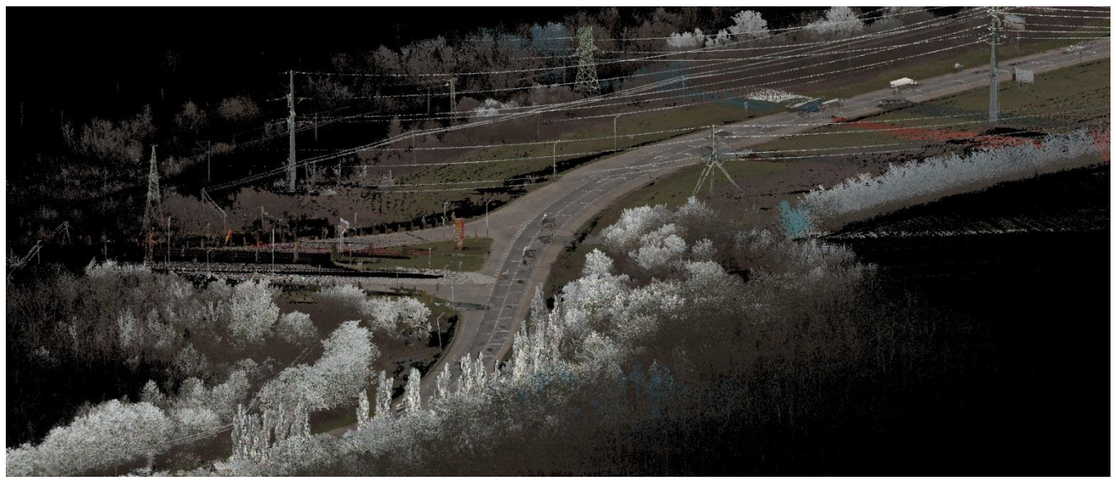
Рисунок 36 — Рисунок облака точек по оси автомобильной дороги для участка площадью 1 м$^2$

Кроме того, плотность облаков точек напрямую определяет возможность распознавания различных объектов на облаках точек (рисунок 39). На облаках точек, полученных передвижной дорожной лабораторией ДВК-05, интерпретация объектов невозможна (рисунок 39, а). Также стоит отметить наличие проводов на облаках точек, полученных системами CHC Navigation Alpha 3D и Trimble MX9 (рисунок 39 в, г).

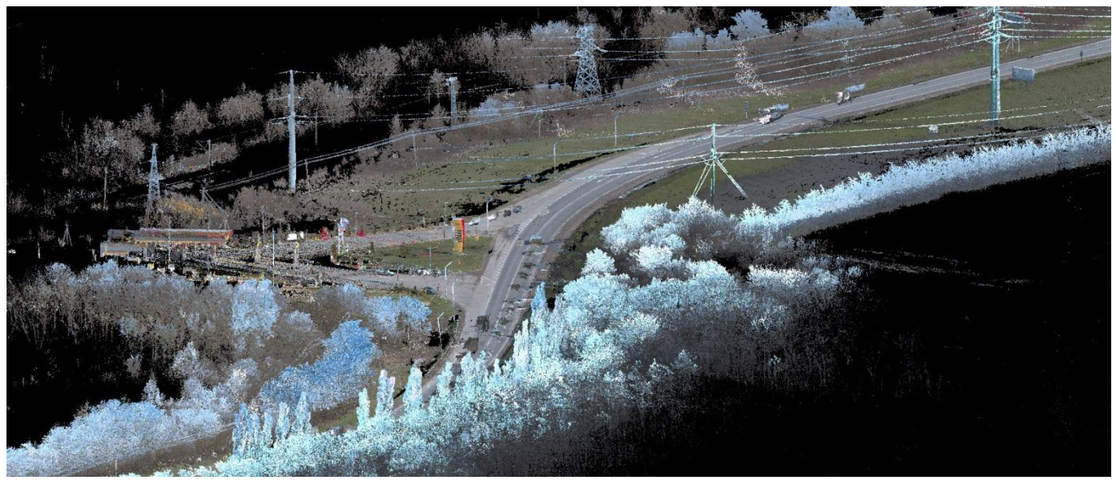
а) передвижная дорожная лаборатория ДВК-05



б) система мобильного лазерного сканирования АГМ-МС7

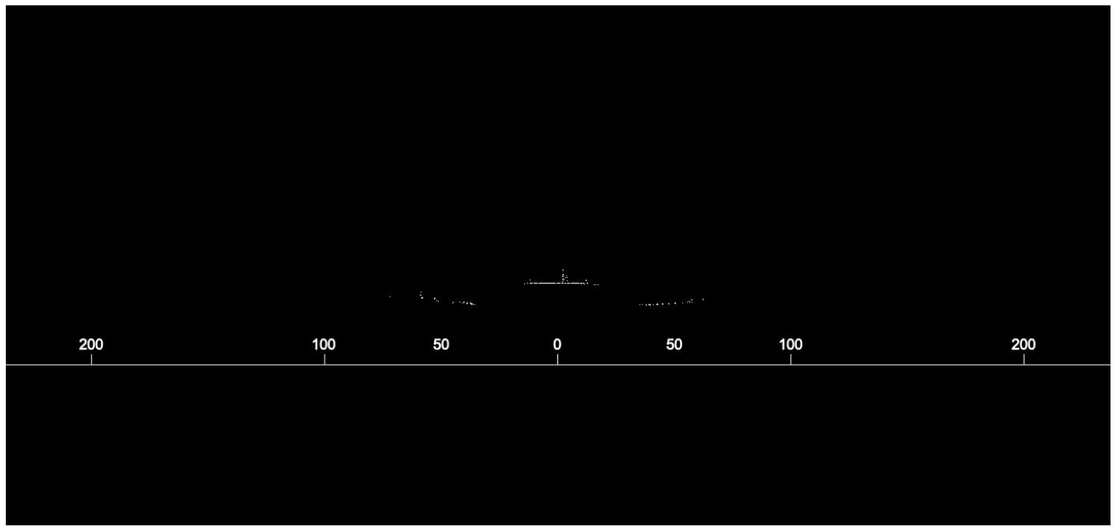


в) система мобильного лазерного сканирования CHC Navigation Alpha 3D

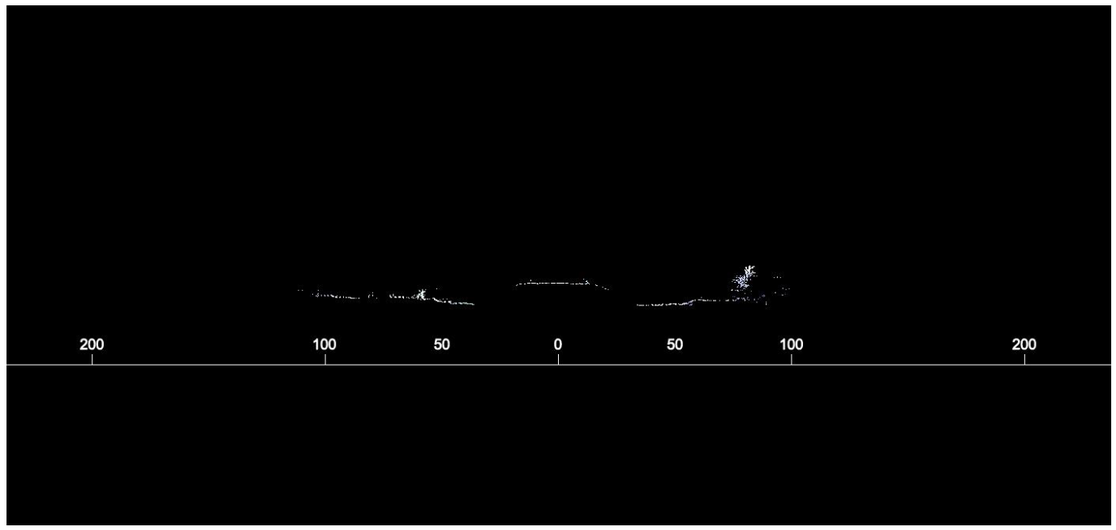


г) система мобильного лазерного сканирования Trimble MX9

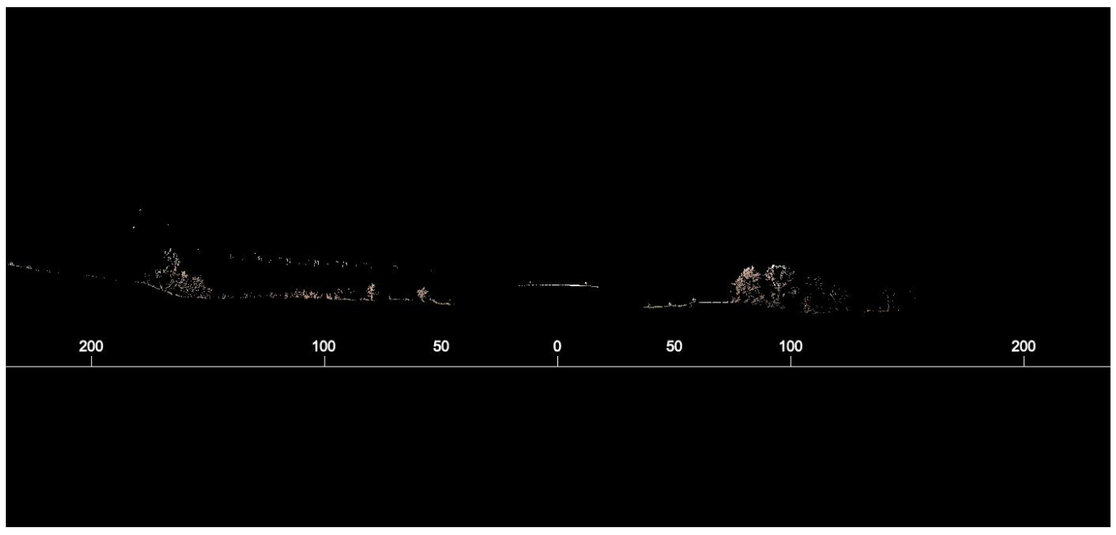
Рисунок 37 — Общий вид участка автомобильной дороги на облаках точек, полученных различными системами



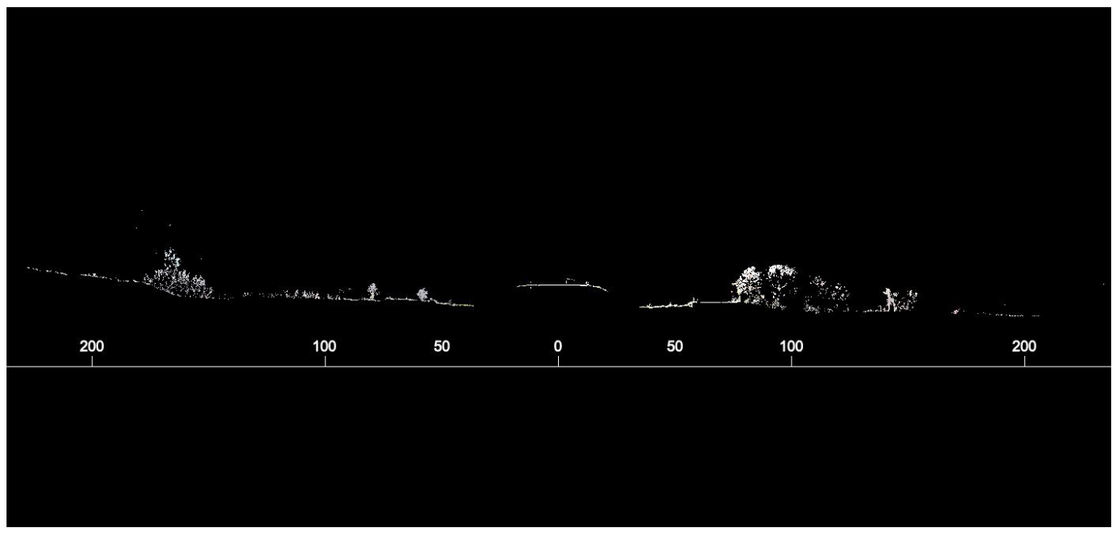

а) передвижная дорожная лаборатория ДВК-05




б) система мобильного лазерного сканирования АГМ-МС7

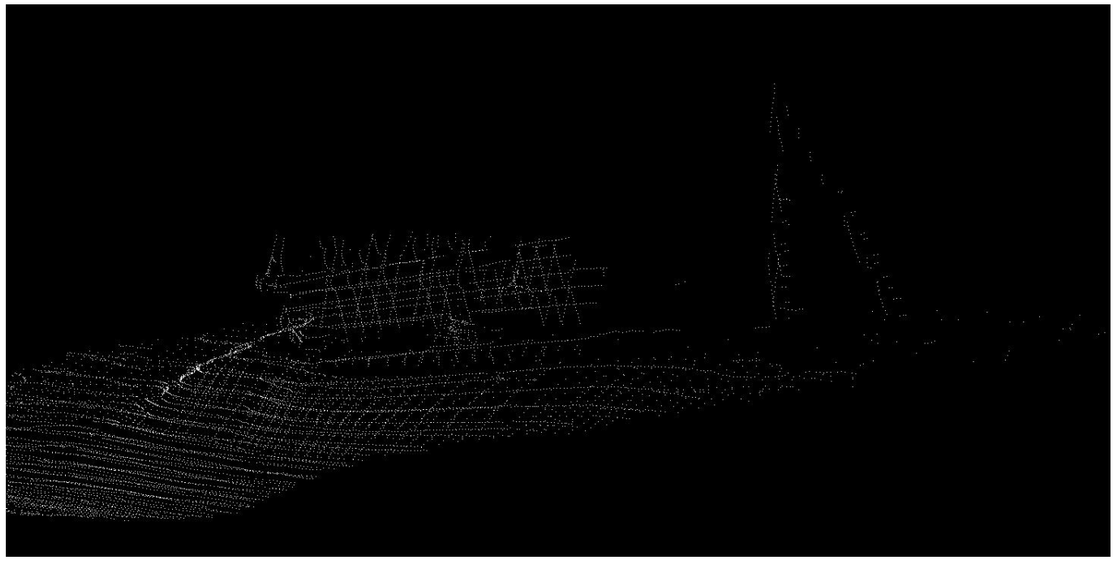



в) система мобильного лазерного сканирования CHC Navigation Alpha 3D




г) система мобильного лазерного сканирования Trimble MX9

Рисунок 38 — Поперечное сечение облаков точек, полученных различными системами



а) передвижная дорожная лаборатория ДВК-05

б) система мобильного лазерного сканирования АГМ-МС7

в) система мобильного лазерного сканирования CHC Navigation Alpha 3D

г) система мобильного лазерного сканирования Trimble MX9

Рисунок 39 — Общий вид различных сооружений на облаках точек, полученных различными системами

### 4.6 Выявленные ограничения систем

Измерения всеми представленными системами желательно выполнять при отсутствии осадков. Связано это в первую очередь с тем, что на линзах и защитных покрытиях оптических устройств остаются капли воды (рисунок 40), влияющие на качество получаемого результата.

Рисунок 40 — Капли воды на линзах панорамной камеры

В то же время технология лазерного сканирования имеет ограничения, связанные с рассеиванием и преломлением луча при отражении от мокрых поверхностей и воды.

Размеры и положение частично засыпанных или заросших травой объектов по фотопанорамам и облакам точек могут быть некорректно определены. Таким образом, при подсчете площади покрытия и определении ширины проезжей части могут потребоваться дополнительные методы контроля.

Кроме того, расположение МЛС и траектория движения транспортного средства влияет на область видимости сканера. Так, например, на откосах насыпей и бровках высоких выемок могут образовываться теневые зоны (рисунок 41). При съемке насыпей следует двигаться как можно ближе к бровке земляного полотна, что в свою очередь может значительно снизить скорость съемки.

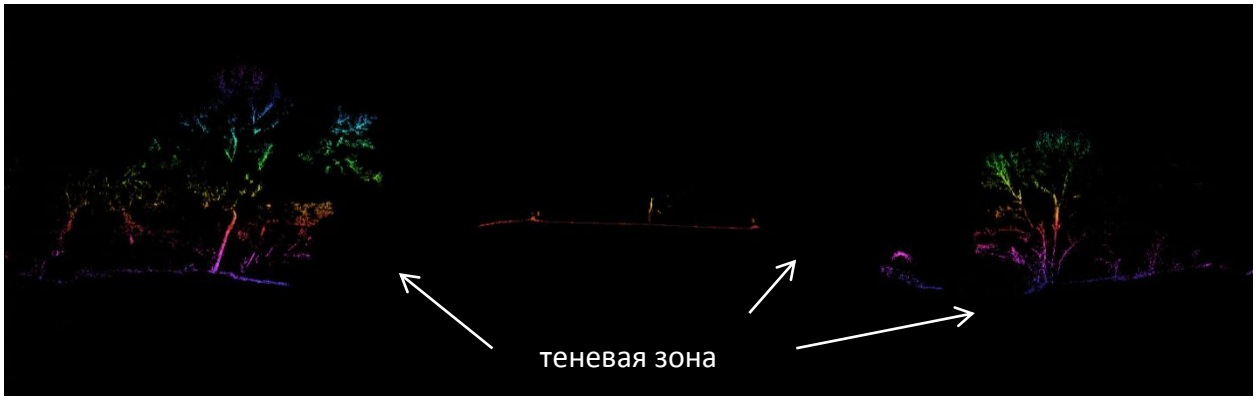



Рисунок 41 — Пример теневой зоны на откосах насыпи.

Некоторые системы, например, АГМ-МС7 имеют к тому же конструктивные ограничения по области съемки, таким образом, необходимо планировать маршрут движения с учетом необходимого перекрытия между проездами.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сотрудниками ФАУ «РОСДОРНИИ» при участии представителей организаций, производящих и продающих измерительное и диагностическое оборудование на территории Российской Федерации, были проведены сопоставительные испытания систем мобильного лазерного сканирования и передвижных дорожных лабораторий для оценки их возможностей и определения области применения указанных систем. Итоговые результаты определения контрольных значений представлены в таблице 13.

Таблица 13 — Результаты сопоставительных испытаний систем мобильного лазерного сканирования и передвижных дорожных лабораторий

| Характеристики | Наименование системы | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | ДВК-05 (ООО НПО «Регион») | АГМ-МС7 (ООО «АГМ Системы») | Trimble MX9 (ООО «Технокауф») | CHC Navigation Alpha 3D (АО «Прин») | АДС-МАДИ (ФГБОУВО «МАДИ») | КП 514 РДТ (АО «СНПЦ РДТ») |
| Определение координат: | | | | | | |
| – заявленная погрешность, мм | До 10 м | 30 | 25 – 50 | 25 – 30 | Н/д | ± 1” |
| – мин. СКО на покрытии, мм | 37 | 18 | 30 | 10 | 8600 | 3000 |
| – макс. СКО на покрытии, мм | 68 | 23 | 37 | 13 | | 3620 |
| – средняя погрешность на местных предметах, м | 1,53 | 0,27 | 0,27 | 0,68 | 8,69 | – |
| – количество определенных точек на местных предметах | 85 % | 68 % | 68 % | 76 % | 100 % | 0 % |
| Определение высотных отметок: | | | | | | |
| – заявленная погрешность, мм | Н/д | 30 | 25 – 50 | 25 – 30 | Н/д | – |
| – мин. СКО на покрытии, мм | 31 | 10 | 23 | 8 | 1800 | – |
| – макс. СКО на покрытии, мм | 33 | 29 | 26 | 19 | – | – |
| погрешность измерений: | | | | | | |
| – протяженности участка, не более | 0,20 % | 0,11 % | 0,14 % | 0,22 % | 2,7 % | 0,3 % |
| – площади покрытия | 1,3 % | 0,6 % | 0,6 % | 5,7 % | 20,1 % | 3,1 % |
| – ширин проезжей части | 1,77 % | 1,46 % | 1,50 % | 3,47 % | – | 5,85 % |

На основании полученных данных можно сделать следующие выводы:

1. В результате проведения сопоставительных испытаний выявлена проблема отсутствия единой методики выполнения работ. Частными проблемами ее отсутсвия являются:

– отсутствие требований к форме, размеру и расстоянию между контрольными точками;

– отсутствие методики перехода из системы координат WGS-84 в местные системы координат и нормальную систему высот, применяемые на территории Российской Федерации;

– отсутствие методики и критерии оценки точности и контроля результатов лазерного сканирования.

Указанные обстоятельства требуют проведения дополнительных исследований и разработки соответствующих методических документов.

2. В настоящее время не все передвижные лаборатории обеспечивают высокую точность планово-высотной привязки результатов измерений, обусловлено это в первую очередь тем, что по-прежнему приоритетным способом привязки данных является линейная привязка к километровым знакам. Указанная проблема может вызывать некоторые трудности при занесении результатов диагностики в ГИС в виде пространственных данных.

3. Традиционные диагностические лаборатории в своем составе имеют специализированное измерительное оборудование, позволяющее определять такие транспортно-эксплуатационные характеристики, как продольная ровность покрытия автомобильной дороги (индекс IRI), колейность и некоторые другие в виде готовых результатов. Системы мобильного лазерного сканирования по результатам съемки получают пространственную информацию в цифровом виде для решения широкого перечня задач на этапе эксплуатации автомобильной дороги, в т.ч. на основании таких данных могут решаться задачи определения транспортно-эксплуатационных характеристик.

4. Для оценки возможности определения транспортно-эксплуатационных параметров по результатам диагностики автомобильных дорог, а также погрешности измерений всеми системами целесообразно провести второй этап сопоставительных испытаний на аттестованном полигоне.

5. Системы мобильного лазерного сканирования можно использовать в рамках проектно-изыскательских работ. Однако возможность применения систем для высотной съемки покрытия автомобильной дороги требует разработки методики выполнения и контроля работ, которая в настоящее время отсутствует.

6. Для получения цифровой модели не только поверхности земли и сооружений, но и подповерхностного строения необходима интеграция систем мобильного лазерного сканирования и георадара. Из представленного перечня сканирующих систем

полноценную поддержку георадарного оборудования уже обеспечивают дорожные лаборатории АДС-МАДИ, ДВК-05 и КП 514 РДТ. Сотрудники АО «Прин» (МЛС CHC Navigation Alpha 3D) и ООО «Технокауф» (МЛС Trimble MX9) в отчетных материалах отметили возможность интеграции внешних устройств, которыми могут являться в т. ч. и георадары.

7. Лаборатория ДВК-05 (ООО НПО «Регион») обладает возможностями для производства комплекса работ по созданию цифровой модели. Точность определения координат объектов до 7 см, высот — до 4 см. Лаборатория имеет возможности для обеспечения механизмов выгрузки результатов диагностики в СКДФ. Лаборатория характеризуется наименьшей плотностью облака точек лазерного сканирования и дальностью съемки по сравнению с другим аналогичным оборудованием.

8. Лаборатория КП 514 РДТ (АО «СНПЦ РДТ») обеспечивает возможности сбора данных в рамках диагностики автомобильных дорог с линейной привязкой к километровым знакам. Погрешность определения пространственных координат более 1 м, возможность определения высотных отметок объектов не поддерживается. Для поддержки механизмов выгрузки результатов диагностики в СКДФ с погрешностью менее 1 м требуется доработка блока навигационного оборудования и программного обеспечения производителя.

9. Лаборатория АДС-МАДИ (ФГБОУВО «МАДИ») обеспечивает возможности сбора данных в рамках диагностики автомобильных дорог с линейной и координатной привязкой. Погрешность определения координат и высот более 1 м.

10. Система АГМ-МС7 (ООО «АГМ Системы») обладает возможностями для производства комплекса работ по созданию цифровой модели. Точность определения координат объектов до 3 см, высот — до 2 см. Система имеет возможности для обеспечения механизмов выгрузки результатов диагностики в СКДФ. Система характеризуется средними показателями плотности облака точек лазерного сканирования и дальности съемки по сравнению с другим аналогичным оборудованием.

11. Система CHC Navigation Alpha 3D (АО «Прин») обладает возможностями для производства комплекса работ по созданию цифровой модели. Точность определения координат объектов до 2 см, высот — до 2 см. Система имеет возможности для обеспечения механизмов выгрузки результатов диагностики в СКДФ. Система характеризуется средними показателями плотности облака точек лазерного сканирования и высокими показателями дальности съемки по сравнению с другим аналогичным оборудованием.

12. Система Trimble MX9 (ООО «Технокауф») обладает возможностями для производства комплекса работ по созданию цифровой модели. Точность определения координат объектов до 4 см, высот — до 3 см. Система имеет возможности для обеспечения механизмов выгрузки результатов диагностики в СКДФ. Система характеризуется высокими показателями плотности облака точек лазерного сканирования и дальности съемки по сравнению с другим аналогичным оборудованием.

13. С учетом результатов проведенных сопоставительных испытаний в рамках общеотраслевого центра компетенции для работ по созданию цифровой модели автомобильных дорог могут применяться все представленные на сопоставительных испытаниях системы мобильного лазерного сканирования. Однако при сопоставимых показателях точности, исходя из критериев дальности съемки и возможности фиксации множества отражений, за счет использования импульсного способа определения расстояния при реализации капиталоемких мероприятий, проектно-изыскательских и строительных работах более предпочтительным является применение систем CHC Navigation Alpha 3D и Trimble MX9.

14. Для целей диагностики и последующего совмещения результатов диагностики с цифровой моделью из передвижных дорожных лабораторий наиболее подходящим показало себя решение от ООО «НПО Регион» — ДВК-05.

15. В результате проведенных сопоставительных испытаний собраны данные по каждому из участников в части методики проведения полевых работ, используемого программного обеспечения, его возможностей, а также информация по порядку проведения камеральных работ. Учитывая то обстоятельство, что требования к цифровым моделям автомобильных дорог до конца не определены, комплексный анализ программного обеспечения и технических средств применительно к задачам федерального проекта «Общесистемные меры развития дорожного хозяйства» будет проведен в рамках разработки «Концепции создания цифровой модели автомобильных дорог (участков автомобильных дорог) общего пользования федерального, регионального или межмуниципального значения, порядка, предусматривающего применение современных методов диагностики и механизмы выгрузки результатов такой диагностики в СКДФ».

16. Результаты настоящих сопоставительных испытаний могут быть учтены при разработке нормативно-технических и методических документов по диагностике и лазерному сканированию автомобильных дорог.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ


1. Об утверждении Комплексного плана модернизации и расширения магистральной инфраструктуры на период до 2024 года [Электронный ресурс]: распоряжение Правительства Российской Федерации 30 сентября 2018 года № 2101-р. – Режим доступа: Система «Техэксперт».

2. О первоочередных задачах по модернизации строительной отрасли и повышению качества строительства [Электронный ресурс]: поручение Президента Российской Федерации от 19 июля 2018 г. № ПР-1235. – Режим доступа: Система «Техэксперт».

3. Паспорт национального проекта «Безопасные и качественные автомобильные дороги» [Электронный ресурс] – URL: http://static.government.ru/media/files/rBdyoIr3S9IDP8Q87lXXYaktpKWGc0NY.pdf (дата обращения: 16.05.2019).

4. Технический отчет по результатам сопоставительных испытаний лабораторий мобильного лазерного сканирования [Текст]. – Москва, 2013. – 40 с.

5. Еремин Р.А. Совместное применение методов лазерного сканирования / Р.А. Еремин, А.О. Кузнецов // Мир дорог. Межремонтные сроки 24 года – 2018. – № 111. – с. 35–39.

6. ГОСТ 32869-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Требования к проведению топографо-геодезических изысканий [Электронный ресурс] / ГОСТ 32869-2014. – Введ. – 2015.07.01. – Режим доступа: Система «Техэксперт».

7. EFT-CORS [Электронный ресурс] – URL: https://eft-cors.ru/ (дата обращения: 16.05.2019).

8. Global geoid models in Trimble format [Электронный ресурс] – URL: https://www.trimble.com/globalTRL.asp?Nav=Collection-22914 (дата обращения: 16.05.2019).

9. ГКИНП (ОНТА)-02-262-02. Инструкция по развитию съемочного обоснования и съемке ситуации и рельефа с применением глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС и GPS [Электронный ресурс] / ГКИНП (ОНТА)-02-262-02. – Введ. – 2002.03.01. – Режим доступа: Система «Техэксперт».

10. CHC History [Электронный ресурс] – URL: http://www.chcnav.com/index.php/about/history?cid=26 (дата обращения: 09.03.2019).

11. Отчет о выполнении работ на участке 1-го этапа сопоставительных испытаний комплексов мобильного лазерного сканирования и передвижных дорожных лабораторий [Текст]. – Москва, 2019. – 53 с.

12. Дорожные лаборатории и программное обеспечение. Техническое описание. НПО Регион [Текст]. – 40 с.

13. О компании [Электронный ресурс] – URL: https://rosdorteh.ru/about/ (дата обращения: 09.03.2019).

14. АГМ Системы [Электронный ресурс] – URL: https://www.agmsys.ru/about/ (дата обращения: 15.02.2019).

15. АГМ Паноскан [Электронный ресурс] – URL: https://www.agmsys.ru/mscan/panoscan (дата обращения: 16.05.2019).

16. Отчет описание системы Trimble MX9 и технологического процесса [Текст]. – Москва, 2019. – 24 с.

17. Борщ В.В. Модифицированный алгоритм вычисления поперечной ровности дороги и планирования ремонтно-строительных работ / В.В. Борщ // Механизация строительства. – 2014. – № 10 (844). – с. 39–43.

18. Приложение к свидетельству №54764 об утверждении типа средств измерений. [Электронный ресурс] – URL: https://fgis.gost.ru/fundmetrology/api/downloadfile/df674182-0e5a-4647-8829-b5111da7fc33 (дата обращения: 16.05.2019).

19. Приложение к свидетельству №56331 об утверждении типа средств измерений. [Электронный ресурс] – URL: https://fgis.gost.ru/fundmetrology/api/downloadfile/184c2634-c49b-4796-adcd-42235fee1790 (дата обращения: 16.05.2019).

20. LMS5xx LMS511-10100 PRO, Online data sheet [Электронный ресурс] – URL: https://www.sick.com/media/pdf/1/41/941/dataSheet_LMS511-10100_PRO_1046135_en.pdf (дата обращения: 16.05.2019).

21. Velodyne LiDAR PUCK™ Puck Data Sheet [Электронный ресурс] – URL: https://go.pardot.com/l/208822/2018-02-23/6t1jp?File_Name=DataSheetPuck&File_Code=DataSheetPuck (дата обращения: 16.05.2019).

22. Trimble MX9 MOBILE MAPPING SOLUTION [Электронный ресурс] – URL: https://geospatial.trimble.com/sites/default/files/2019-04/022516-357F_Trimble%20MX9_DS_USL_0319_LR%20-%20SEC.pdf (дата обращения: 16.05.2019).

23. Trimble AP60 [Электронный ресурс] – URL: https://www.applanix.com/downloads/products/specs/AP60_DS_NEW_0406_YW.pdf (дата обращения: 19.02.2019).

24. СИСТЕМА МОБИЛЬНОГО КАРТОГРАФИРОВАНИЯ TRIMBLE MX9 [Электронный ресурс] – URL: https://www.prin.ru/lazernoe_skanirovanie/mobil_noe/trimble/sistema_mobil_nogo_kartografiro

vaniya_trimble_mx9/ (дата обращения: 19.02.2019).

25. Alpha 3D Mobile mapping solution [Электронный ресурс] – URL: http://www.chcnav.com/index.php/service/download?id=523 (дата обращения: 09.03.2019).

26. Приложение к свидетельству №62629 об утверждении типа средств измерений. [Электронный ресурс] – URL: https://fgis.gost.ru/fundmetrology/api/downloadfile/1b56f367-3b8b-4a5e-891f-466ed6ee21fd (дата обращения: 16.05.2019).

27. Система мобильного сканирования АГМ-МС7.2100 [Электронный ресурс] – URL: https://www.agmsys.ru/mscan/ms7-2100 (дата обращения: 17.02.2019)

28. Система инерциального позиционирования АГМ-ПС [Электронный ресурс] – URL: https://www.agmsys.ru/mscan/ps (дата обращения: 19.02.2019).

29. NovAtel Inertial Explorer® [Электронный ресурс] – URL: https://www.NovAtel.com/products/software/inertial-explorer/ (дата обращения: 24.02.2019).

30. ГОСТ Р 8.736-2011. Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения [Электронный ресурс] / ГОСТ Р 8.736-2011. – Введ. – 2013.01.01. – Режим доступа: Система «Техэксперт».

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### Свидетельства о поверке оборудования

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РЕГИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР СТАНДАРТИЗАЦИИ, МЕТРОЛОГИИ И ИСПЫТАНИЙ В Г. МОСКВЕ» (ФБУ «РОСТЕСТ - МОСКВА»)

АТТЕСТАТ АККРЕДИТАЦИИ № RA.RU.311341

**СВИДЕТЕЛЬСТВО О ПОВЕРКЕ**

№ СП 2048703

Действительно до «09» июля 2019 г.

Средство измерений Тахеометры электронные TCR1203, Госреестр №
*наименование, тип, модификация, регистрационный номер в Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений*

27978-04
*(если в состав средства измерений входят несколько автономных измерительных блоков, то приводится их перечень и заводские номера)*

075308474
*серия и номер знака предыдущей поверки (если такие серия и номер имеются)*

заводской номер (номера) 217611

поверено в соответствии с методикой поверки
*наименование величин, диапазонов, на которых поверено средство измерений (если предусмотрено методикой поверки)*

поверено в соответствии с МИ 2798-03
*наименование документа, на основании которого выполнена поверка*

с применением эталонов: 3.1.ZMA.0303.2015, 3.1.ZMA.0300.2015
*наименование, тип, заводской номер,*

*регистрационный номер (при наличии), разряд, класс или погрешность эталона, применяемого при поверке*

при следующих значениях влияющих факторов: температура +20,3/+17°С,
*приводят перечень влияющих факторов,*

относительная влажность 57%,атмосферное давление 740 мм рт.ст.
*нормированных в документе на методику поверки, с указанием их значений*

и на основании результатов первичной (периодической) поверки признано соответствующим установленным в описании типа метрологическим требованиям и пригодным к применению в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений.

Знак поверки

Начальник лаборатории № 445 — А.Б.Авдеев
*Должность руководителя подразделения* — *Подпись* — *Инициалы, фамилия*

За начальника лаборатории по приказу от 12.03.18 № 80 заместитель А.В. Болотников

Поверитель — А.А.Назаров
*Подпись* — *Инициалы, фамилия*

Дата поверки «10» июля 2018 г.

МЕТРОЛОГИЧЕСКИЙ ЦЕНТР
ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ
«АВТОПРОГРЕСС-М»
АТТЕСТАТ АККРЕДИТАЦИИ № RA.RU.311195
ФЕДЕРАЛЬНОЙ СЛУЖБЫ ПО АККРЕДИТАЦИИ (РОСАККРЕДИТАЦИЯ)

# СВИДЕТЕЛЬСТВО О ПОВЕРКЕ

## № АПМ 0211770

Действительно до *«13» июня 2019 г.*

Средство измерений *Тахеометр электронный ES-50,*
*наименование, тип, модификация, регистрационный номер в Федеральном*
*модификация ES-55, Госреестр № 64459-16*
*информационном фонде по обеспечению единства измерений (если в состав средства измерений*
*входят несколько автономных измерительных блоков, то приводится их перечень и заводские номера)*

серия и номер знака предыдущей поверки (если такие серия и номер имеются) *отсутствуют*
заводской номер (номера) *WL1789*
поверено *в соответствии с методикой поверки*
*наименование величин, диапазонов, на которых поверено средство измерений (если предусмотрено методикой поверки)*
поверено в соответствии с *МП АПМ 15-16*
*наименование документа, на основании которого выполнена поверка*
*"Тахеометры электронные ES-50. Методика поверки"*
с применением эталонов: *Тахеометр электронный Leica TS30 зав. № 360070 1-го разряда,*
*наименование, тип, заводской номер (регистрационный номер*
*Стенд универсальный коллиматорный ВЕГА УКС № 011 рег. № 3.2.АЦМ.0010.2014 1-го разряда*
*(при наличии), разряд, класс или погрешность эталона, применяемого при поверке*
при следующих значениях влияющих факторов:
*Температура воздуха 21,0 °С, относительная влажность 70%, атмосферное давление 99,1 кПа*
*приводят перечень влияющих факторов, нормированных в документе на методику поверки, с указанием их значений*
и на основании результатов первичной (периодической) поверки признано соответствующим установленным в описании типа метрологическим требованиям и пригодным к применению в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений

Знак поверки

Руководитель лаборатории _____ *В.Н. Абрамов*
*Подпись* *Инициалы, фамилия*

Поверитель _____ *С.А. Куликов*
*Подпись* *Инициалы, фамилия*

*«14» июня 2018 г.*

Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии

ФЕДЕРАЛЬНОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
"ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РЕГИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР СТАНДАРТИЗАЦИИ, МЕТРОЛОГИИ И ИСПЫТАНИЙ В РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ"
(ФБУ "РОСТОВСКИЙ ЦСМ")
Аттестат аккредитации № RA.RU.311306

# СВИДЕТЕЛЬСТВО О ПОВЕРКЕ

**№ 05.014447.18**

Действительно до 19.11.2019г.

**Средство измерений:** Нивелир оптико-механический с компенсатором Leica Jogger32, 47519-11
*наименование, тип, модификация, регистрационный номер в Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений (если в состав средства измерений входят несколько автономных блоков, то приводят их перечень и заводские номера)*

17001660909
*серия и номер знака предыдущей поверки(если такие серия и номер имеются)*

**заводской номер(номера):** 34820269

**поверено:** в соответствии с описанием типа
*наименование величин, диапазонов, на которых поверен эталон (средство измерений) (если предусмотрено методикой поверки)*

**поверено в соответствии с:** документом МП АПМ 07-2011 "Нивелир оптико-механический с компенсатором Leica Jogger. Методика поверки."
*наименование документа, на основании которого выполнена поверка*

**с применением эталонов:**
*наименование, тип, заводской номер, регистрационный номер (при наличии),*

Установка автоколлимационная для поверки нивелиров и теодолитов АУПНТ, №06070, рег. №3.1.ZBP.0564.2015, 3 разряд, ПГ 0,6"
*разряд, класс или погрешность эталона, применяемого при поверке*

**при следующих значениях влияющих факторов:** температура окружающей среды 23 °С; относительная влажность воздуха 65 %; атмосферное давление 101.2 кПа
*приводится перечень влияющих факторов, нормированных в документе на методику поверки, с указанием их значений*

и на основании результатов периодической поверки признано соответствующим установленным в описании типа метрологическим требованиям и пригодным к применению в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений.

Знак поверки

| | | |
|---|---|---|
| Начальник отдела | | Гончарова Н.В. |
| должность руководителя подразделения | подпись | фамилия, инициалы |
| Поверитель | | Прядкин А.О. |
| | подпись | фамилия, инициалы |

Дата поверки
20.11.2018г.

Свидетельство о поверке не может быть воспроизведено полностью или частично без письменного разрешения ФБУ "Ростовский ЦСМ"

МЕТРОЛОГИЧЕСКИЙ ЦЕНТР
ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ
«АВТОПРОГРЕСС-М»
АТТЕСТАТ АККРЕДИТАЦИИ № RA.RU.311195
ФЕДЕРАЛЬНОЙ СЛУЖБЫ ПО АККРЕДИТАЦИИ (РОСАККРЕДИТАЦИЯ)

# СВИДЕТЕЛЬСТВО О ПОВЕРКЕ

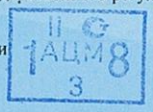
## № АПМ 0208204

Действительно до *«30» мая 2019 г.*

Средство измерений *Рейка нивелирная телескопическая VEGA TS5M*
*наименование, тип, модификация, регистрационный номер в Федеральном*
*Госреестр № 51835-12*
*информационном фонде по обеспечению единства измерений (если в состав средства измерений*
*входят несколько автономных измерительных блоков, то приводится их перечень и заводские номера)*

серия и номер знака предыдущей поверки (если такие серия и номер имеются) *отсутствуют*
заводской номер (номера) *5012*
поверено *в соответствии с методикой поверки*
*наименование величин, диапазонов, на которых поверено средство измерений (если предусмотрено методикой поверки)*
поверено в соответствии с *МП РТ 1769-2012 "Рейки нивелирные*
*наименование документа, на основании которого выполнена поверка*
*телескопические VEGA TS3M, VEGA TS4M, VEGA TS5M. Методика поверки"*
с применением эталонов: *Линейка контрольная с отсчётными лупами КЛ,*
*наименование, тип, заводской номер (регистрационный номер*
*зав. № 79703 3-го разряда*
*(при наличии), разряд, класс или погрешность эталона, применяемого при поверке*
при следующих значениях влияющих факторов:
*Температура воздуха 21,0 °С, относительная влажность 70%, атмосферное давление 99,4 кПа*
*приводят перечень влияющих факторов, нормированных в документе на методику поверки, с указанием их значений*
и на основании результатов первичной (периодической) поверки признано соответствующим установленным в описании типа метрологическим требованиям и пригодным к применению в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений

Знак поверки



Руководитель лаборатории _____ *В.Н. Абрамов*
*Подпись* *Инициалы, фамилия*

Поверитель _____ *С.А. Куликов*
*Подпись* *Инициалы, фамилия*

*«31» мая 2018 г.*

МЕТРОЛОГИЧЕСКИЙ ЦЕНТР
ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ
«АВТОПРОГРЕСС-М»
АТТЕСТАТ АККРЕДИТАЦИИ № RA.RU.311195
ФЕДЕРАЛЬНОЙ СЛУЖБЫ ПО АККРЕДИТАЦИИ (РОСАККРЕДИТАЦИЯ)

# СВИДЕТЕЛЬСТВО О ПОВЕРКЕ

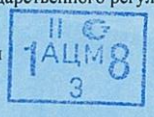
## № АПМ 0206816

Действительно до *«23» мая 2019 г.*

Средство измерений *Аппаратура геодезическая*
*наименование, тип, модификация, регистрационный номер в Федеральном*
*спутниковая SOKKIA GRX2, Госреестр № 64260-16*
*информационном фонде по обеспечению единства измерений (если в состав средства измерений*
*входят несколько автономных измерительных блоков, то приводится их перечень и заводские номера)*

серия и номер знака предыдущей поверки (если такие серия и номер имеются) *отсутствуют*
заводской номер (номера) *1377-10449*
поверено *в соответствии с методикой поверки*
*наименование величин, диапазонов, на которых поверено средство измерений (если предусмотрено методикой поверки)*
поверено в соответствии с *МП АПМ 87-15 "Аппаратура геодезическая*
*наименование документа, на основании которого выполнена поверка*
*спутниковая TOPCON NET-G5, TOPCON GR-5, TOPCON Hiper V, SOKKIA GRX2. Методика поверки"*
с применением эталонов: *Тахеометр электронный Leica TS30*
*наименование, тип, заводской номер (регистрационный номер*
*зав. № 360070 1-го разряда*
*(при наличии), разряд, класс или погрешность эталона, применяемого при поверке*
при следующих значениях влияющих факторов:
*Температура воздуха 23,0 °С, относительная влажность 50%, атмосферное давление 100,2 кПа*
*приводят перечень влияющих факторов, нормированных в документе на методику поверки, с указанием их значений*
и на основании результатов первичной (периодической) поверки признано соответствующим установленным в описании типа метрологическим требованиям и пригодным к применению в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений

Знак поверки



Руководитель лаборатории _____ *В.Н. Абрамов*
*Подпись* *Инициалы, фамилия*

Поверитель _____ *С.А. Куликов*
*Подпись* *Инициалы, фамилия*

*«24» мая 2018 г.*

МЕТРОЛОГИЧЕСКИЙ ЦЕНТР
ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ
«АВТОПРОГРЕСС-М»
АТТЕСТАТ АККРЕДИТАЦИИ № RA.RU.311195
ФЕДЕРАЛЬНОЙ СЛУЖБЫ ПО АККРЕДИТАЦИИ (РОСАККРЕДИТАЦИЯ)

# СВИДЕТЕЛЬСТВО О ПОВЕРКЕ
## № АПМ 0206817

Действительно до *«23» мая 2019 г.*

Средство измерений *Аппаратура геодезическая*
наименование, тип, модификация, регистрационный номер в Федеральном
*спутниковая SOKKIA GRX2, Госреестр № 64260-16*
информационном фонде по обеспечению единства измерений (если в состав средства измерений
входят несколько автономных измерительных блоков, то приводится их перечень и заводские номера)

серия и номер знака предыдущей поверки (если такие серия и номер имеются) *отсутствуют*
заводской номер (номера) *1377-10450*

поверено *в соответствии с методикой поверки*
наименование величин, диапазонов, на которых поверено средство измерений (если предусмотрено методикой поверки)

поверено в соответствии с *МП АПМ 87-15 "Аппаратура геодезическая*
наименование документа, на основании которого выполнена поверка
*спутниковая TOPCON NET-G5, TOPCON GR-5, TOPCON Hiper V, SOKKIA GRX2. Методика поверки"*

с применением эталонов: *Тахеометр электронный Leica TS30*
наименование, тип, заводской номер (регистрационный номер
*зав. № 360070 1-го разряда*
(при наличии), разряд, класс или погрешность эталона, применяемого при поверке

при следующих значениях влияющих факторов:
*Температура воздуха 23,0 °С, относительная влажность 50%, атмосферное давление 100,2 кПа*
приводят перечень влияющих факторов, нормированных в документе на методику поверки, с указанием их значений
и на основании результатов первичной (периодической) поверки признано соответствующим установленным в описании типа метрологическим требованиям и пригодным к применению в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений

Знак поверки

Руководитель лаборатории — Подпись — *В.Н. Абрамов* (Инициалы, фамилия)

Поверитель — Подпись — *С.А. Куликов* (Инициалы, фамилия)

*«24» мая 2018 г.*

к. 11745

**Федеральное бюджетное учреждение**
**"ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РЕГИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР СТАНДАРТИЗАЦИИ, МЕТРОЛОГИИ И ИСПЫТАНИЙ В РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ"**
**(ФБУ "Ростовский ЦСМ")**

*Federal Budgetary Institution "State Regional Centre of Standardization, Metrology and Testing in Rostov Region" (FBI "Rostov CSM")*

ФБУ «Ростовский ЦСМ» аккредитован Федеральной службой по аккредитации
Аттестат аккредитации № 311615
*FBI "Rostov CSM" is accredited by the Federal Accreditation Service. Accreditation certificate № 311615*

# СЕРТИФИКАТ О КАЛИБРОВКЕ № К05.011618.18
## Calibration Certificate

**Объект калибровки** Курвиметр "Nedo"
*Item calibrated*

**Заводской номер** 018
*Serial number*

**Заказчик** Северо-Кавказский филиал ФАУ "РОСДОРНИИ", ИНН7743937082
*Customer*

**Место проведения калибровки** ФБУ "Ростовский ЦСМ"
*Calibration venue*

**Документ, в соответствии с которым проводилась калибровка**
*Document in comliance with which the calibration was made*

Методика поверки находится в эксплуатационной документации.

**Калибровка выполнена с помощью**
*Calibration was made using*

Рулетка измерительная металлическая Р20УЗК, №10051, регистрационный №3.1.ZBP.0451.2015, 3 разряд, ПГ 0,5 мм

**Условия калибровки** температура окружающей среды 23 °С; относительная влажность воздуха 45 %
*Calibration conditions*

**Дата калибровки** 16.11.2018г.
*Calibration date*

| Начальник отдела | | Гончарова Н.В. |
|---|---|---|
| Должность лица, утверждающего Сертификат о калибровке<br>*Position of the person approving the calibration certificate* | подпись<br>*Signature* | фамилия, инициалы<br>*Full name* |

Система менеджмента качества сертифицирована на соответствие требованиям ГОСТ Р ИСО 9001-2015
*Quality Management System is certified for the compliance with ГОСТ Р ИСО 9001-2015*

Система менеджмента безопасности труда и охраны здоровья сертифицирована на соответствие требованиям ГОСТ Р 54934-2012/OHSAS 18001:2007
*Occupational Health & Safety Management System is certified for the compliance with ГОСТ Р 54934-2012 / OHSAS 18001: 2007*

**ПРИЛОЖЕНИЕ Б**

**Схема расположения контрольных точек на проезжей части автомобильной дороги**

## ПРИЛОЖЕНИЕ В

### Перечень контрольных точек на местных предметах

Рисунок В.1 — Стойка забора (КМ 109+850, справа)

Рисунок В.2 — Угол бетонного основания (КМ 109+850, справа)

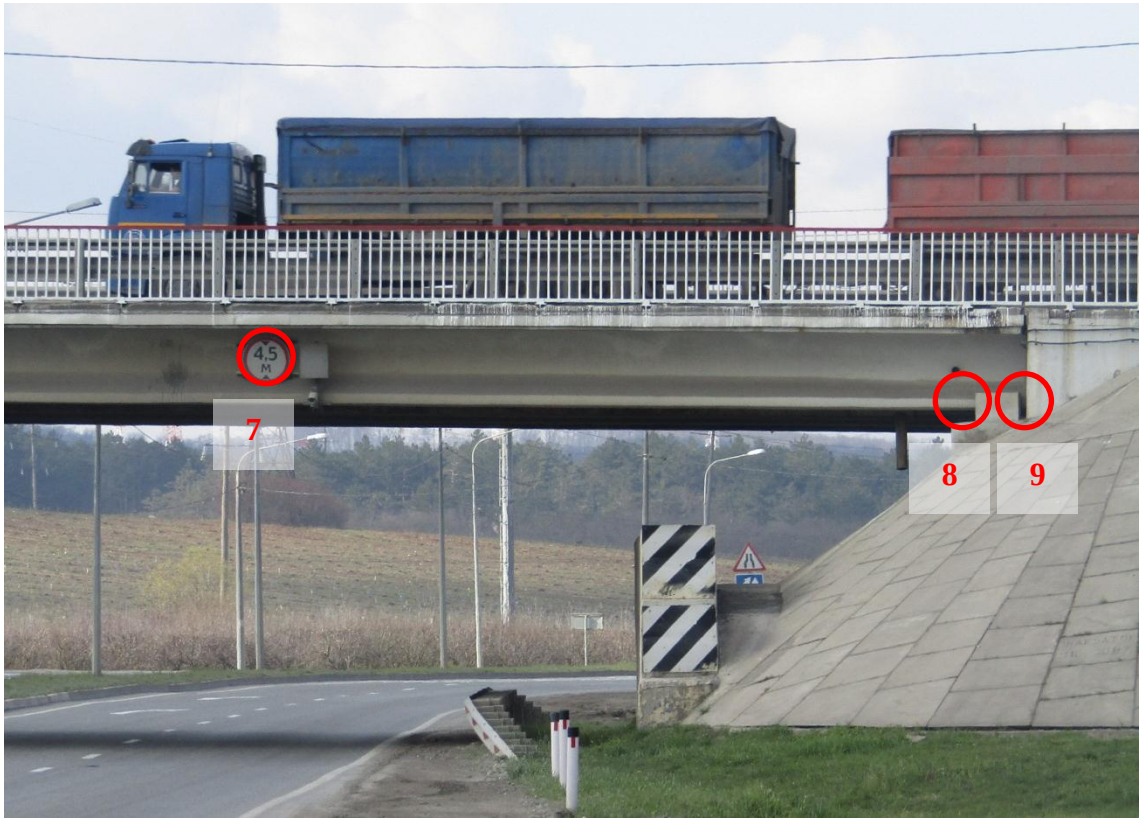



Рисунок В.3 — Запятая между цифрами 4 и 5 на дорожном знаке, ригель опоры (со стороны начала участка) (КМ 110+280, справа)

Рисунок В.4 — Ригель опоры (со стороны начала участка) (КМ 110+280, слева)

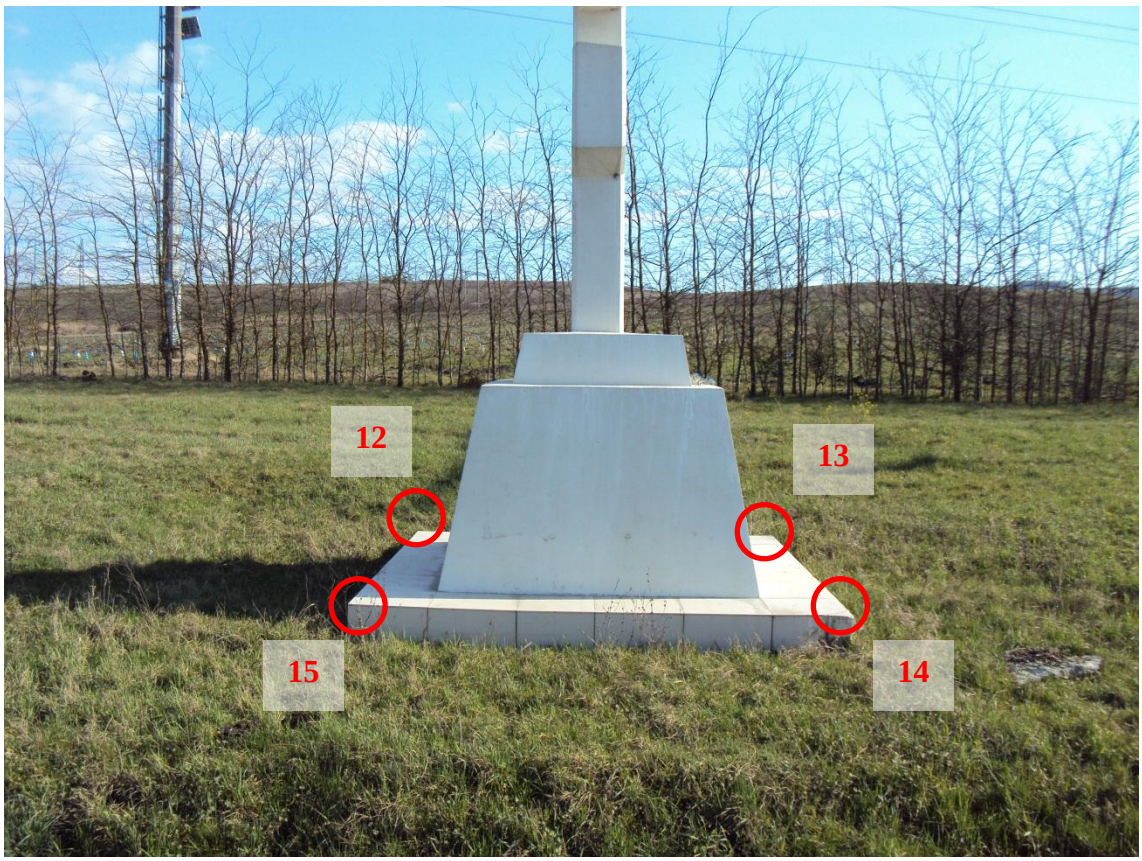



Рисунок В.5 — Углы фундамента стелы (КМ 110+870, слева)

Рисунок В.6 — Нижний угол фланцевого соединения фермы (со стороны конца участка) (КМ 111+000)

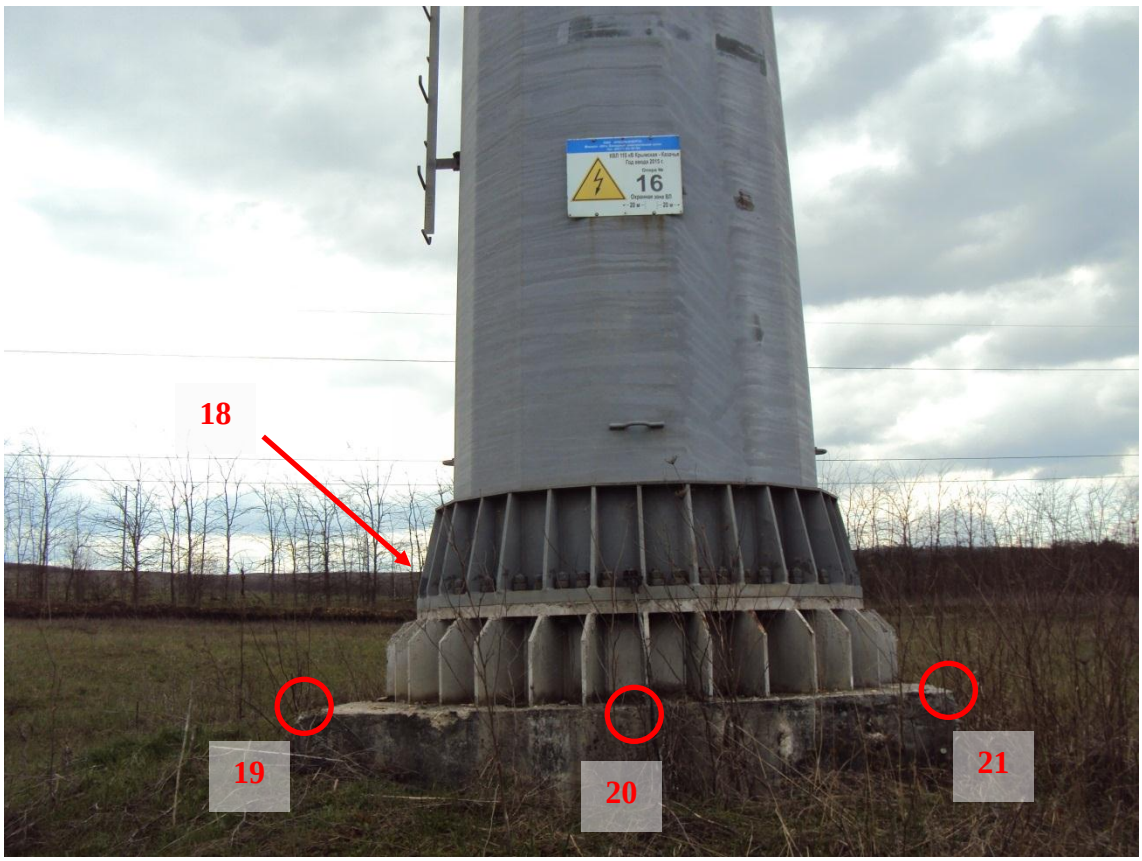



Рисунок В.7 — Углы фундамента опоры №16 (КМ 111+220, слева)

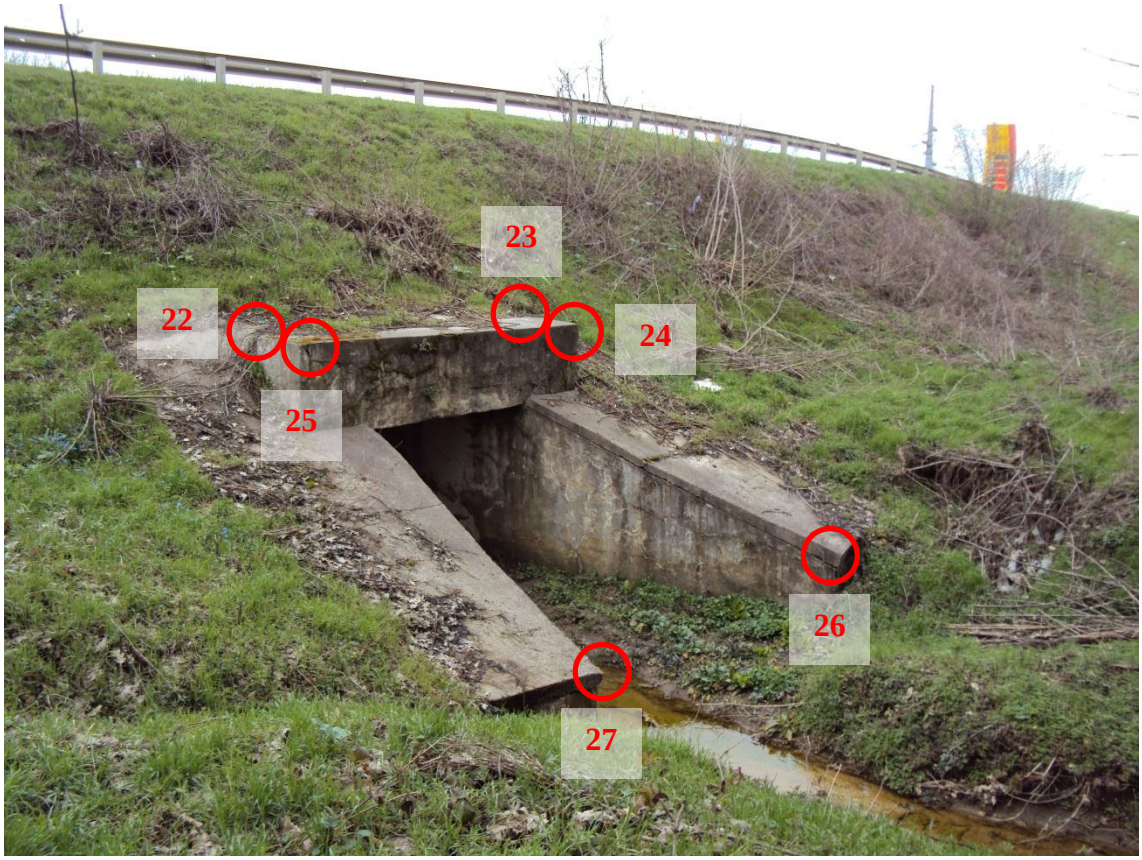



Рисунок В.8 — Водопропускная труба (КМ 111+500, слева)

Рисунок В.9 — Ковер газовой трубы (КМ 112+220, справа)

Рисунок В.10 — Фундамент дорожного знака (КМ 112+450, справа)

Рисунок В.11 — Угол бетонного парапета (КМ 112+500, справа)

Рисунок В.12 — Угол стелы (КМ 112+680, слева)

Рисунок В.13 — Опора ЛЭП (КМ 113+000, слева)

**ПРИЛОЖЕНИЕ Г**

## ПРОТОКОЛ ПРОВЕДЕНИЯ ПОЛЕВОЙ ЧАСТИ СОПОСТАВИТЕЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ СИСТЕМ МОБИЛЬНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ И ПЕРЕДВИЖНЫХ ДОРОЖНЫХ ЛАБОРАТОРИЙ

Дата проведения 27-28 марта 2019 г.

| № п.п. | Наименование организации | Используемое оборудование | Замечания к проведению испытаний | Представители компании | Подпись |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | АО "СНПЦ РДТ" | КП-514 РДТ "RDT-Line" | нет | Бакаев В.А. | [signature] |
| 2 | ООО НПО „Ремон" | ДЬК-05 | нет | Кишмаков В.И. | [signature] |
| 3 | МАДИ | АДС-МАДИ | нет | [signature] Ю.Э. | [signature] |
| 4 | ООО „АГМ системы" | АГМ-МС7.2100 | 28 марта на участках трассы отсутствовал ГНСС сигнал | Брусило В.А. | [signature] |
| 5 | ООО „Технокауф" | Trimble MX9 | нет | Цупанов В.Г. | [signature] |
| 6 | АО „Прим" | СНС Alpha 3D | нет | Банников О.Р. | [signature] |

Представители ФАУ «РОСДОРНИИ»:

[signature] / В. П. Мирошок

[signature] / Ермаков М.А.

[signature] / Еремин Р.А.

## ПРИЛОЖЕНИЕ Д

### Оценка точности траекторий проезда

В приложении приведены графики оценки точности вычисления траекторий движения, представленные участниками сопоставительных испытаний.

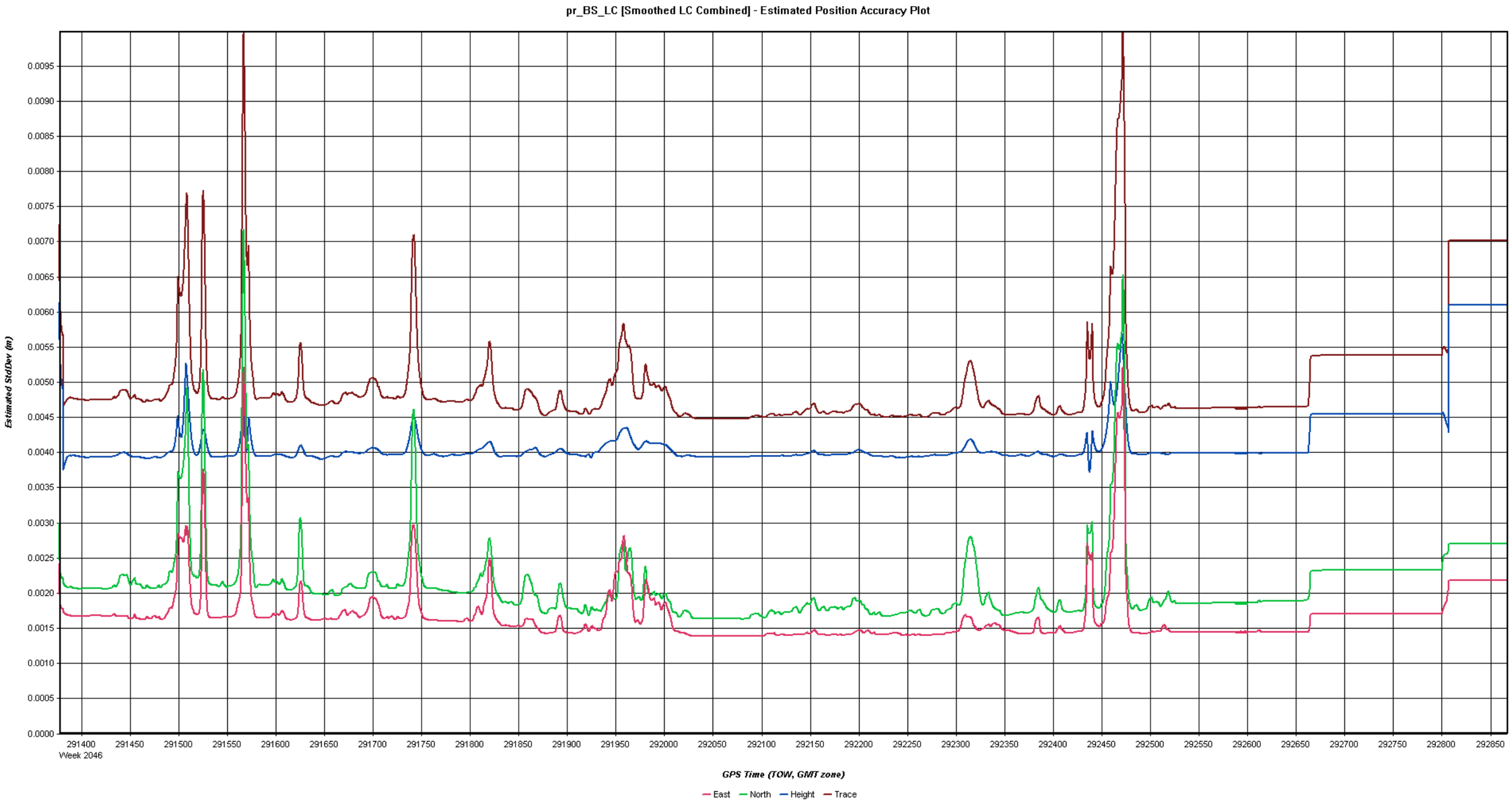



Рисунок Д.1 — Оценка точности вычисления траектории первого проезда передвижной дорожной лаборатории ДВК-05

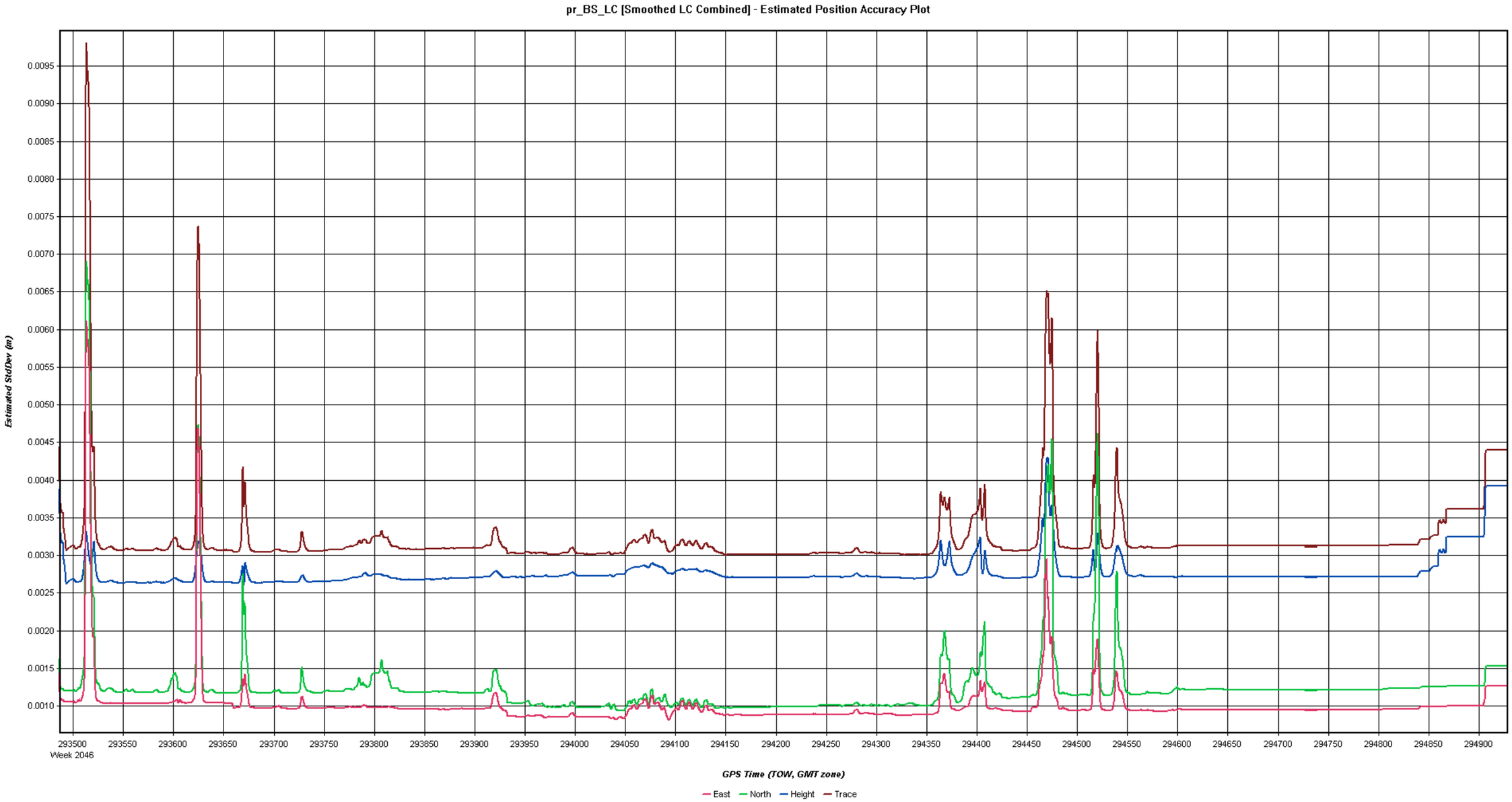



Рисунок Д.2 — Оценка точности вычисления траектории второго проезда передвижной дорожной лаборатории ДВК-05

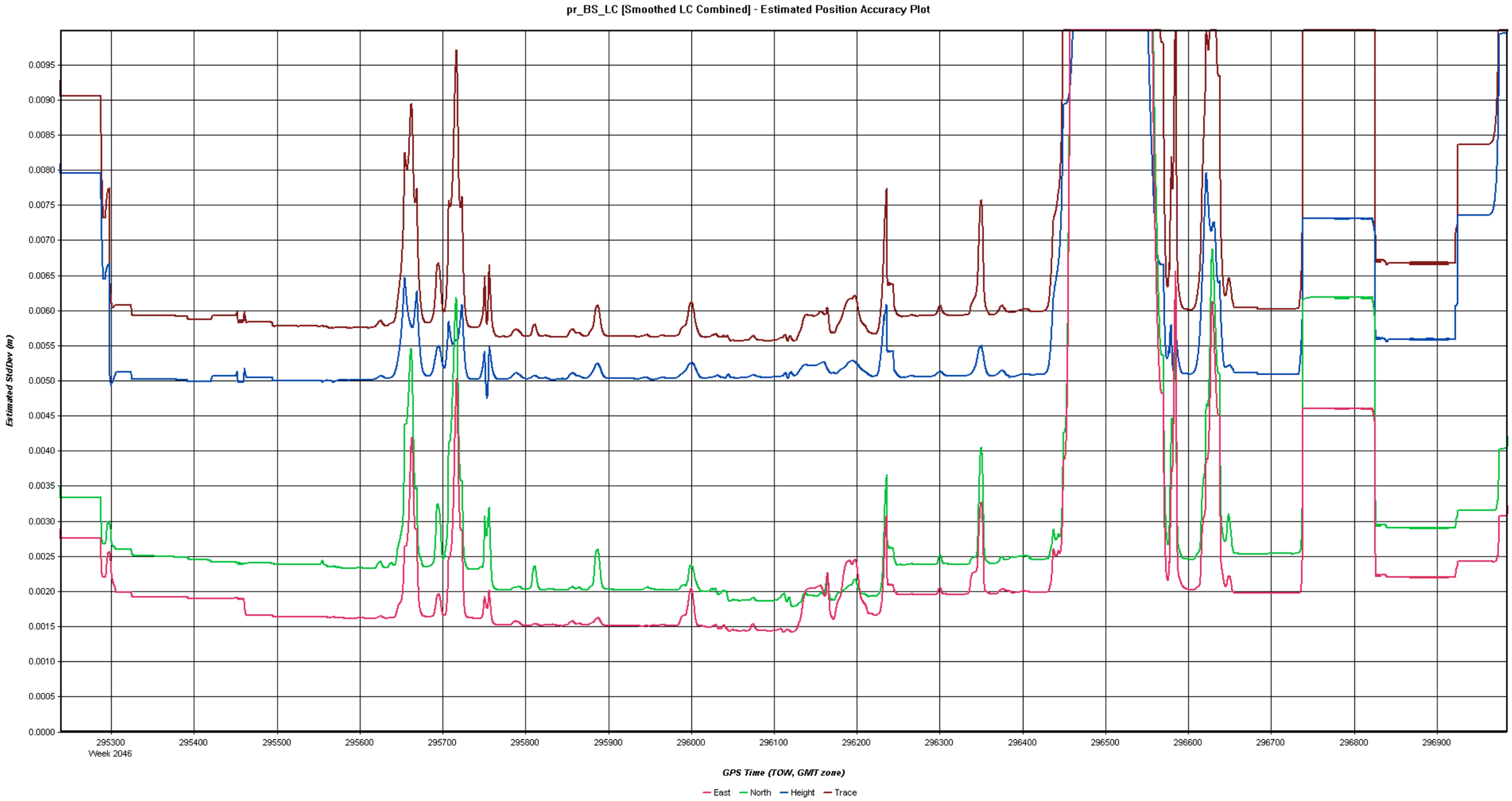



Рисунок Д.3 — Оценка точности вычисления траектории третьего проезда передвижной дорожной лаборатории ДВК-05

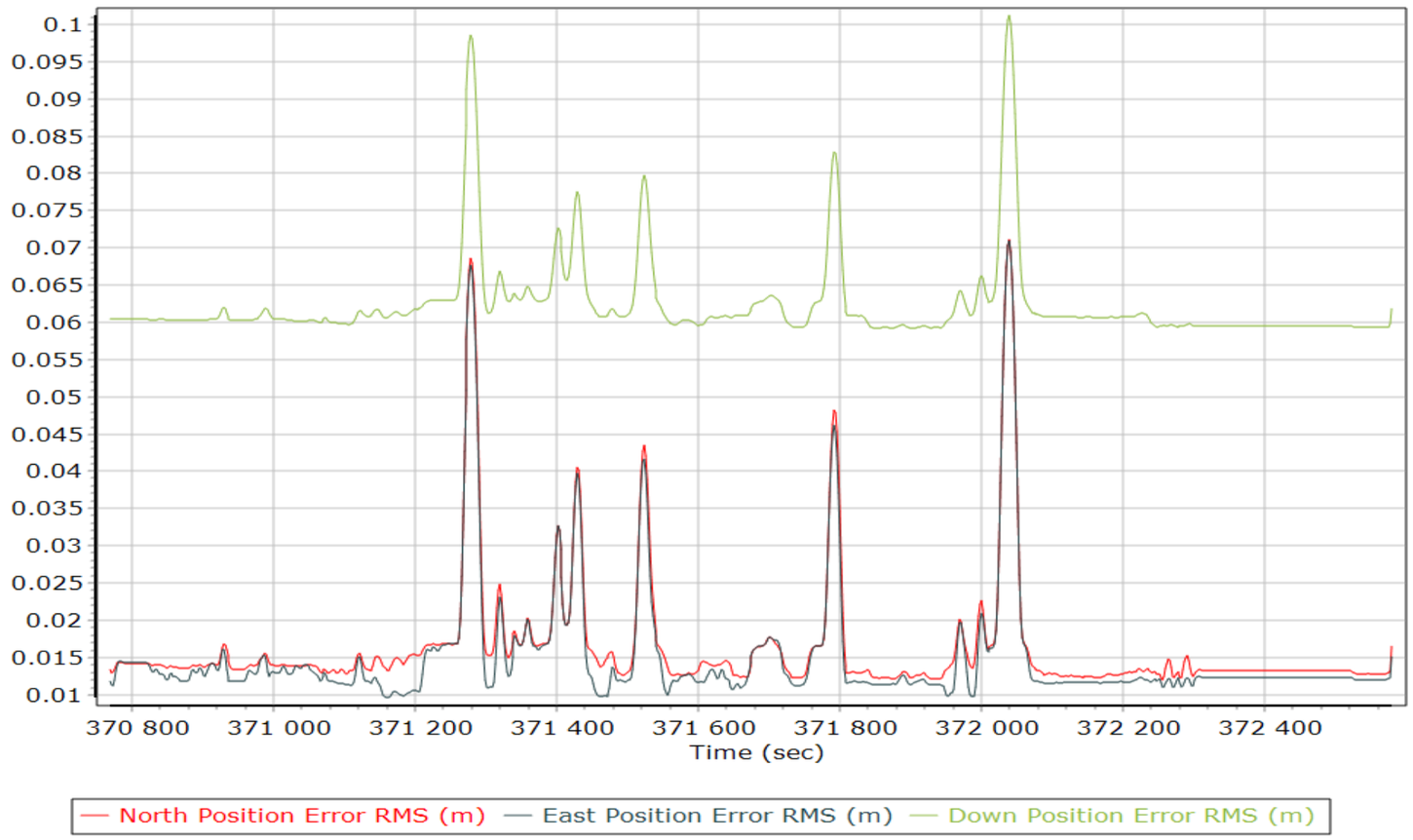



Рисунок Д.4 — Ошибки определения траектории первого проезда системы мобильного лазерного сканирования Trimble MX9

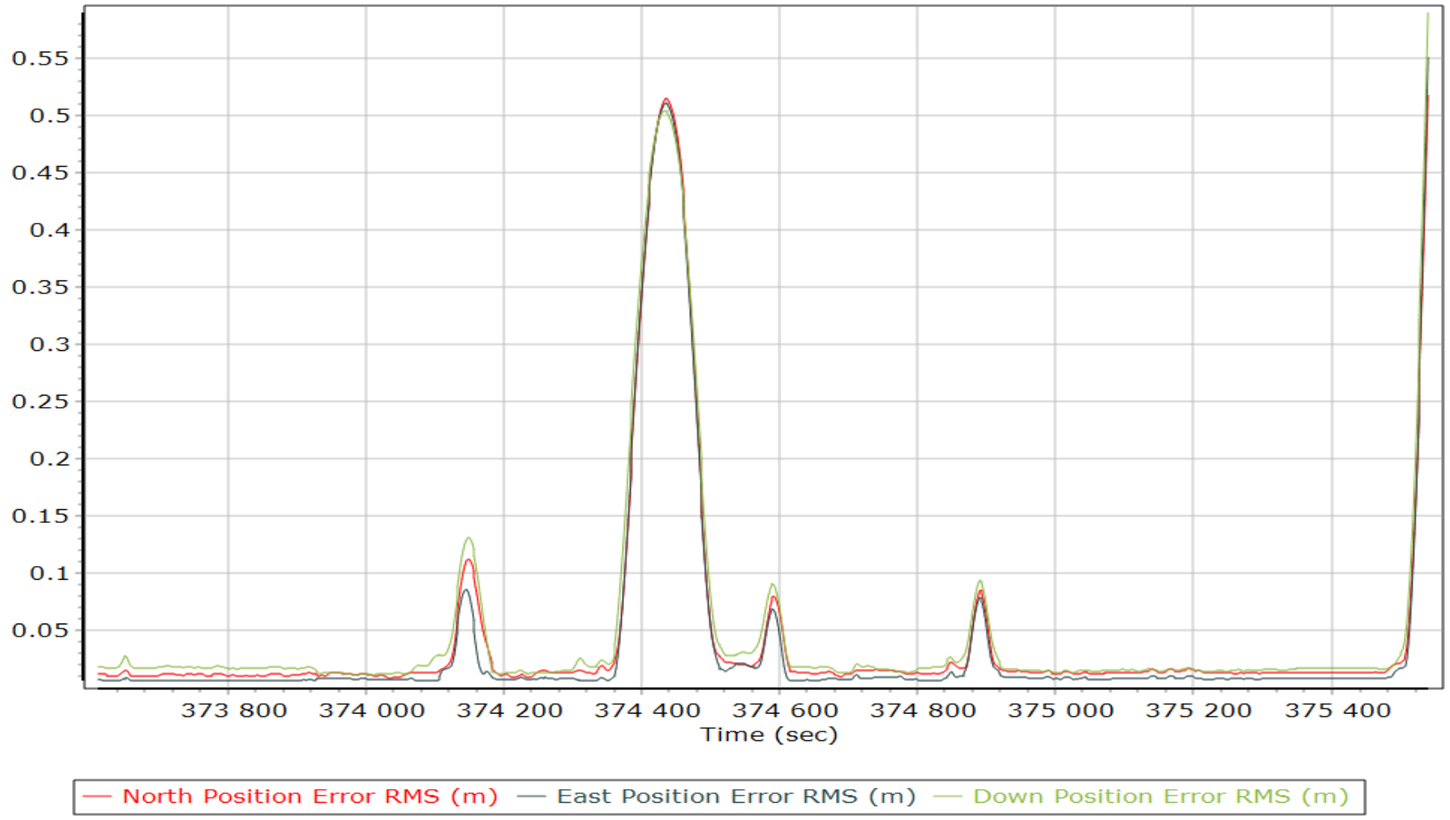



Рисунок Д.5 — Ошибки определения траектории второго проезда системы мобильного лазерного сканирования Trimble MX9

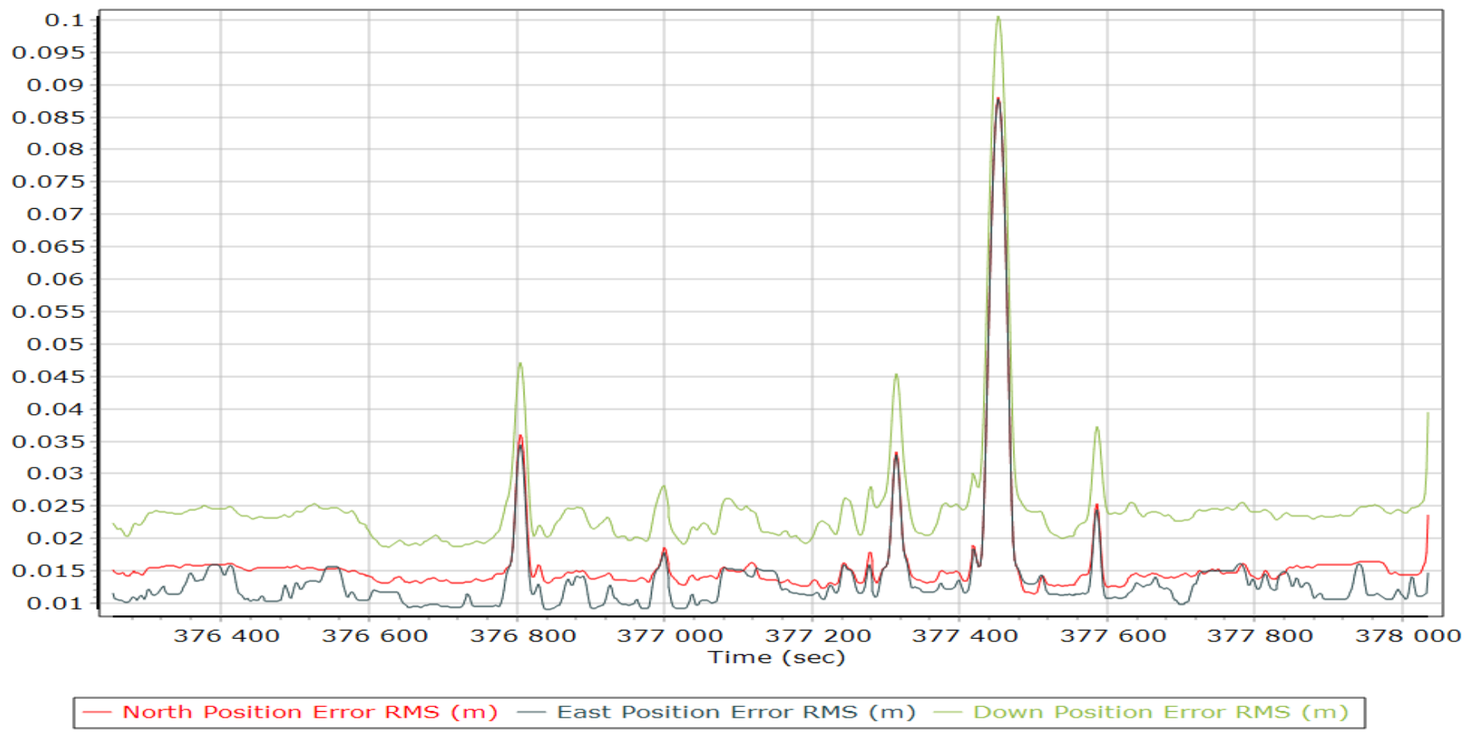



Рисунок Д.6 — Ошибки определения траектории третьего проезда системы мобильного лазерного сканирования Trimble MX9

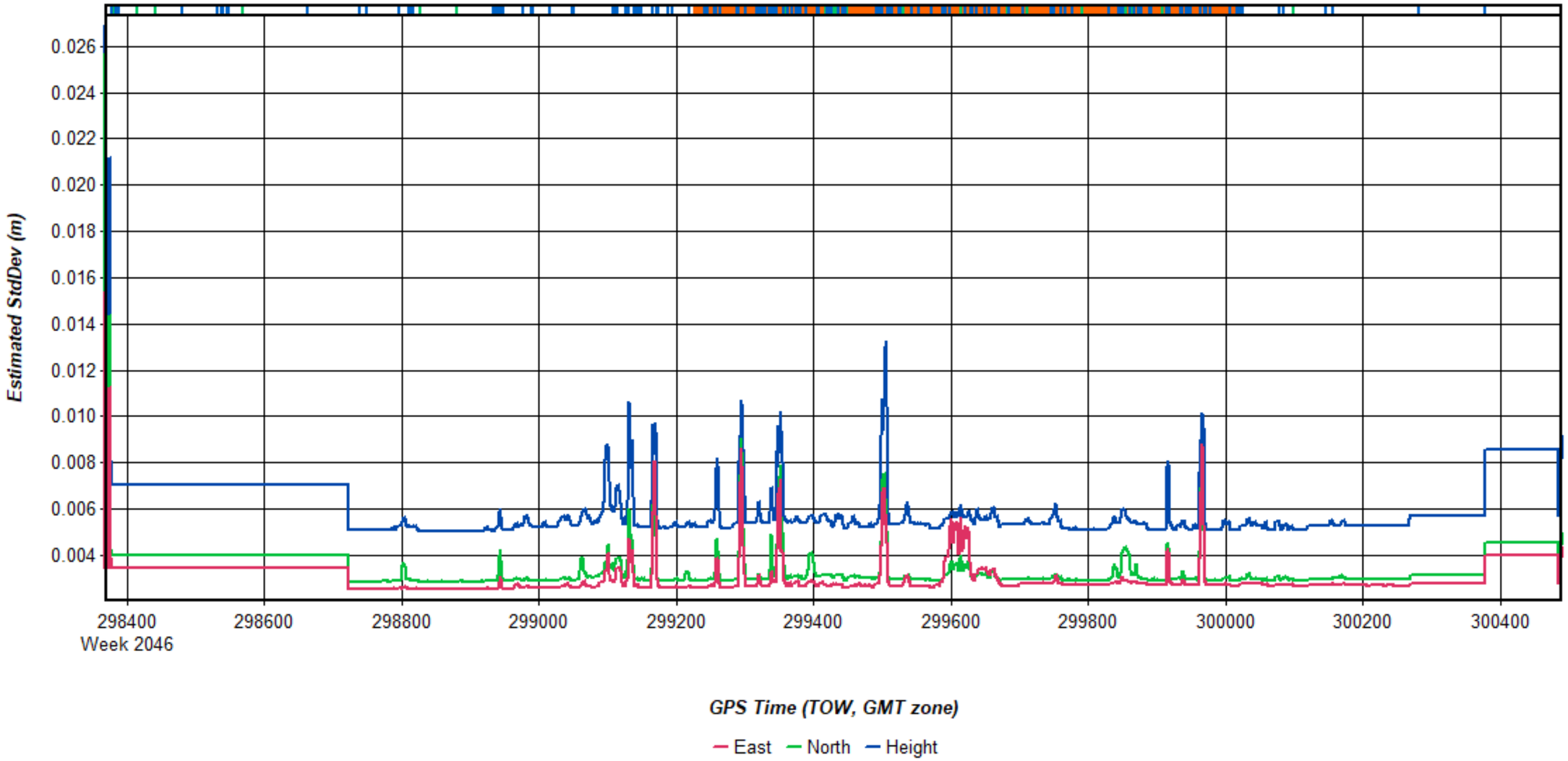



Рисунок Д.7 — Оценка точности вычисления траектории первого проезда системы мобильного лазерного сканирования CHC Navigation Alpha 3D с использованием точных эфемерид

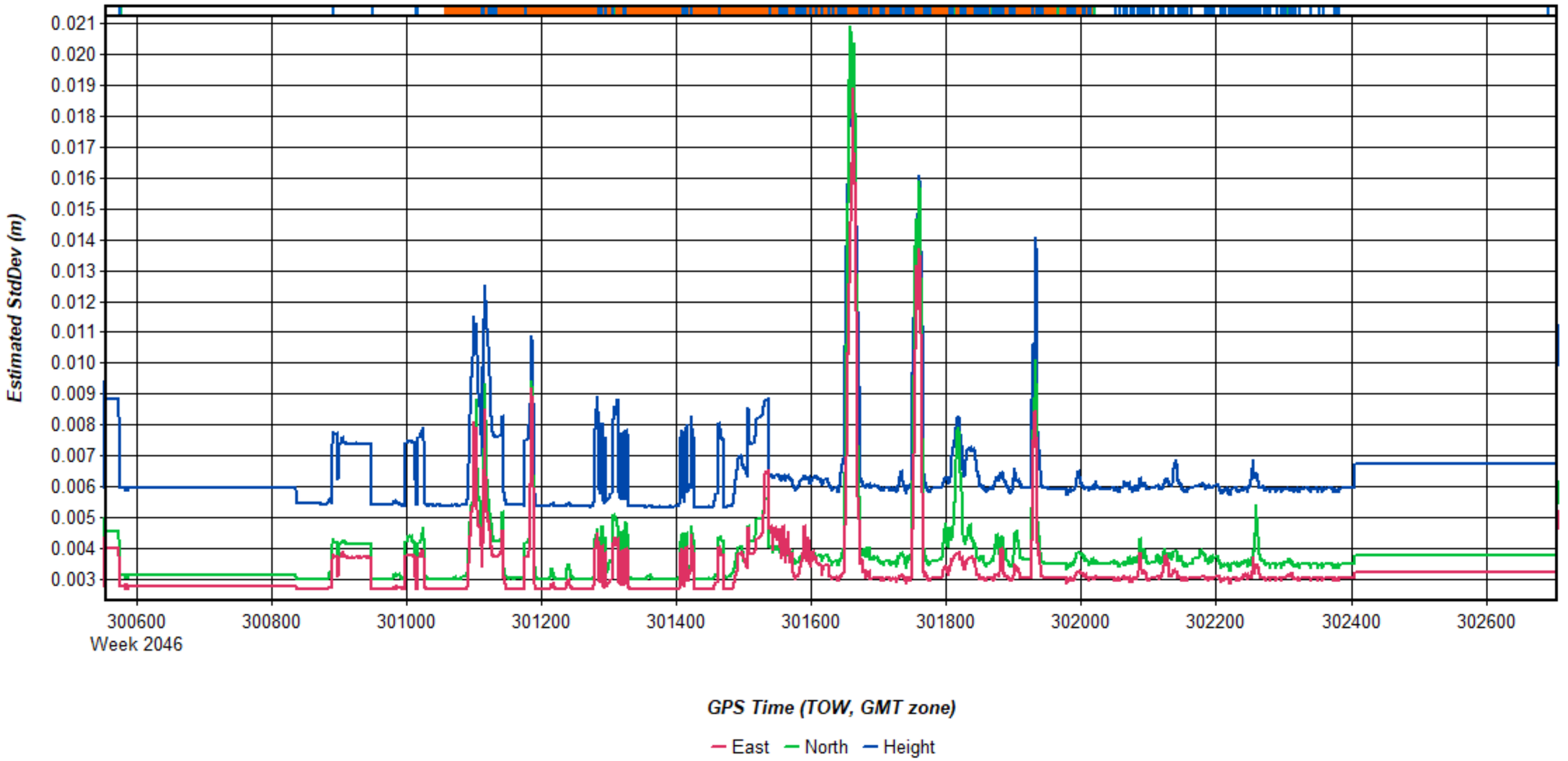



Рисунок Д.8 — Оценка точности вычисления траектории второго проезда системы мобильного лазерного сканирования CHC Navigation Alpha 3D с использованием точных эфемерид

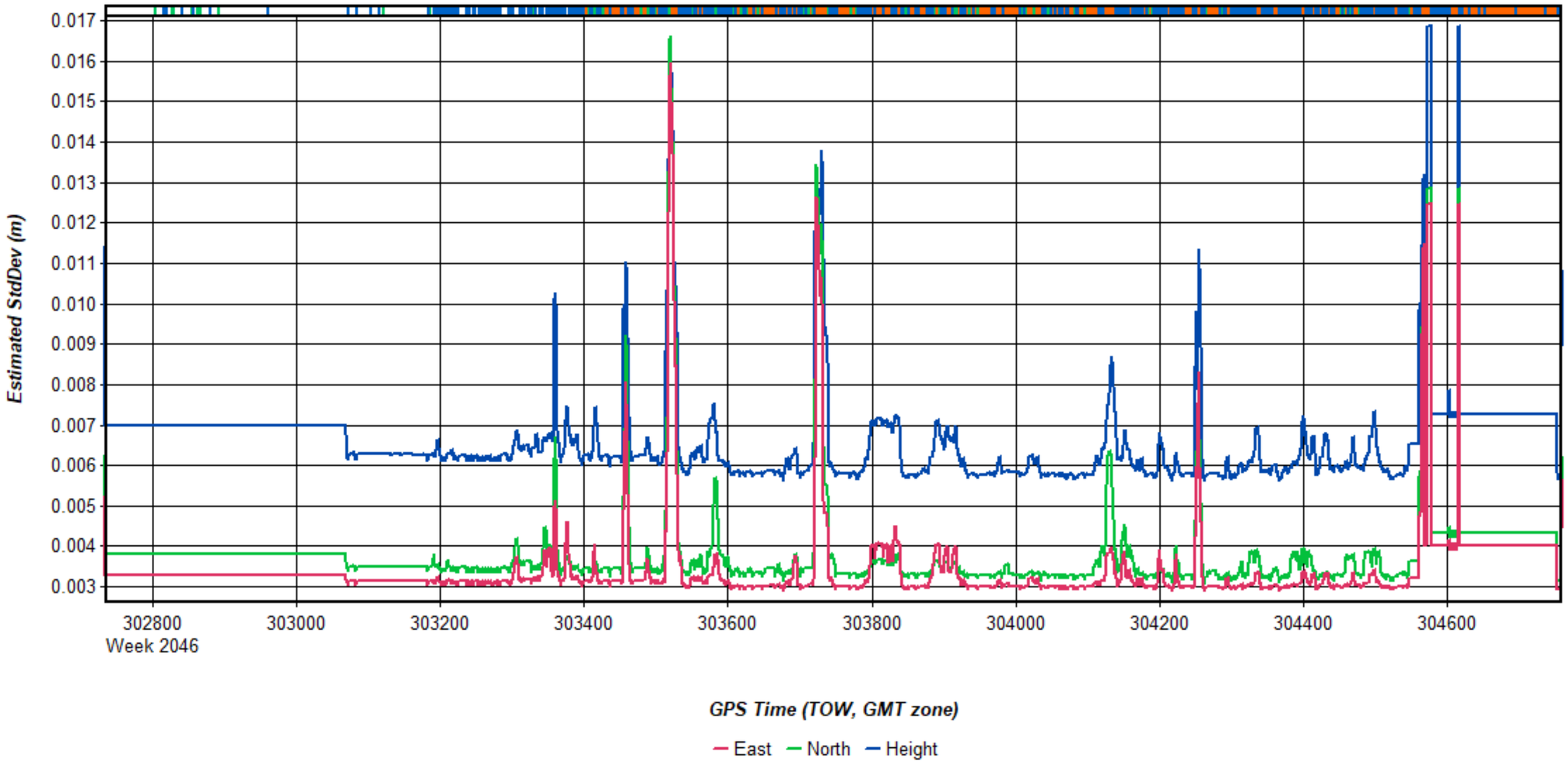



Рисунок Д.8 — Оценка точности вычисления траектории третьего проезда системы мобильного лазерного сканирования CHC Navigation Alpha 3D с использованием точных эфемерид

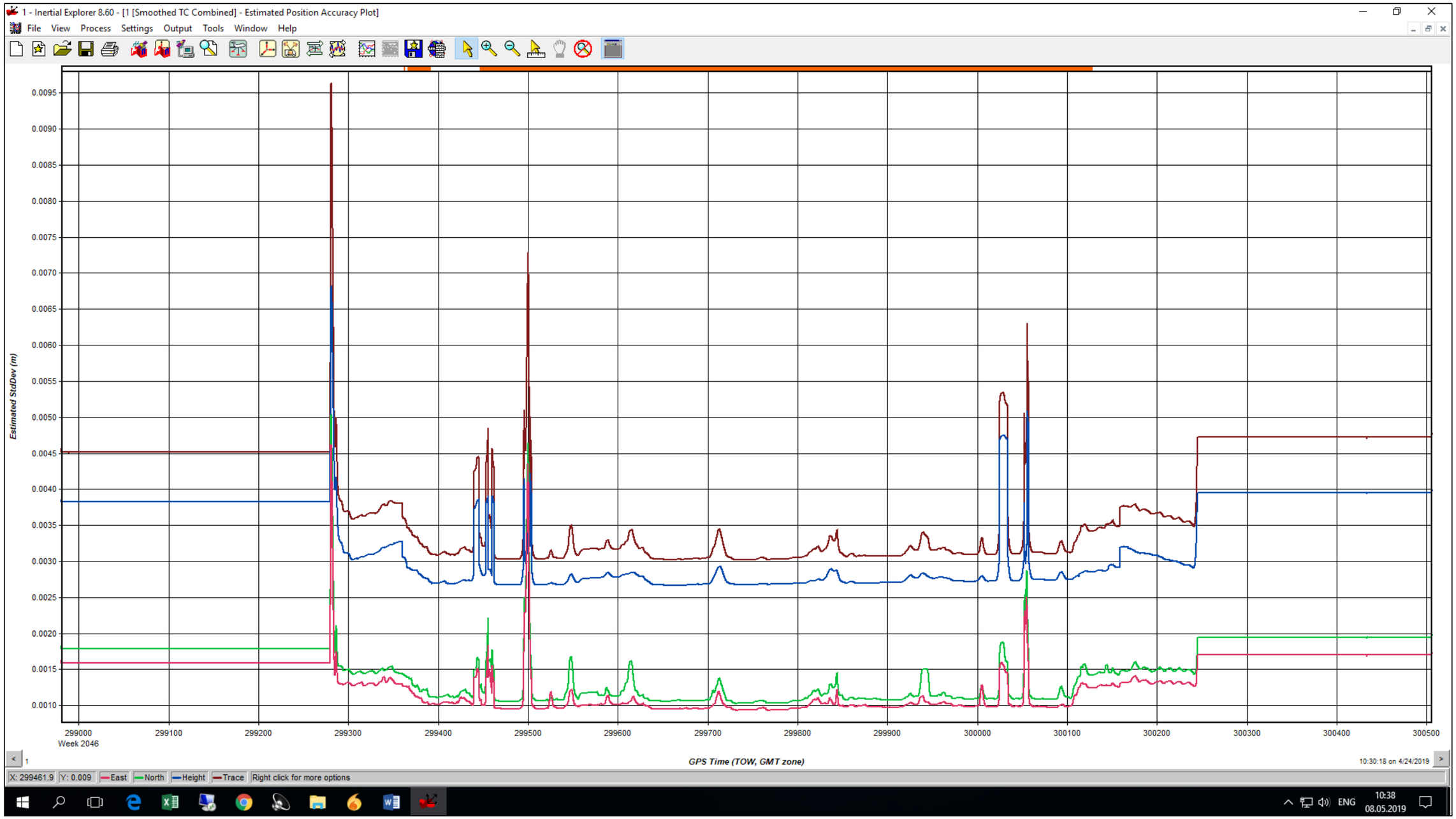



Рисунок Д.9 — Оценка точности вычисления траектории первого проезда системы мобильного лазерного сканирования АГМ МС-7

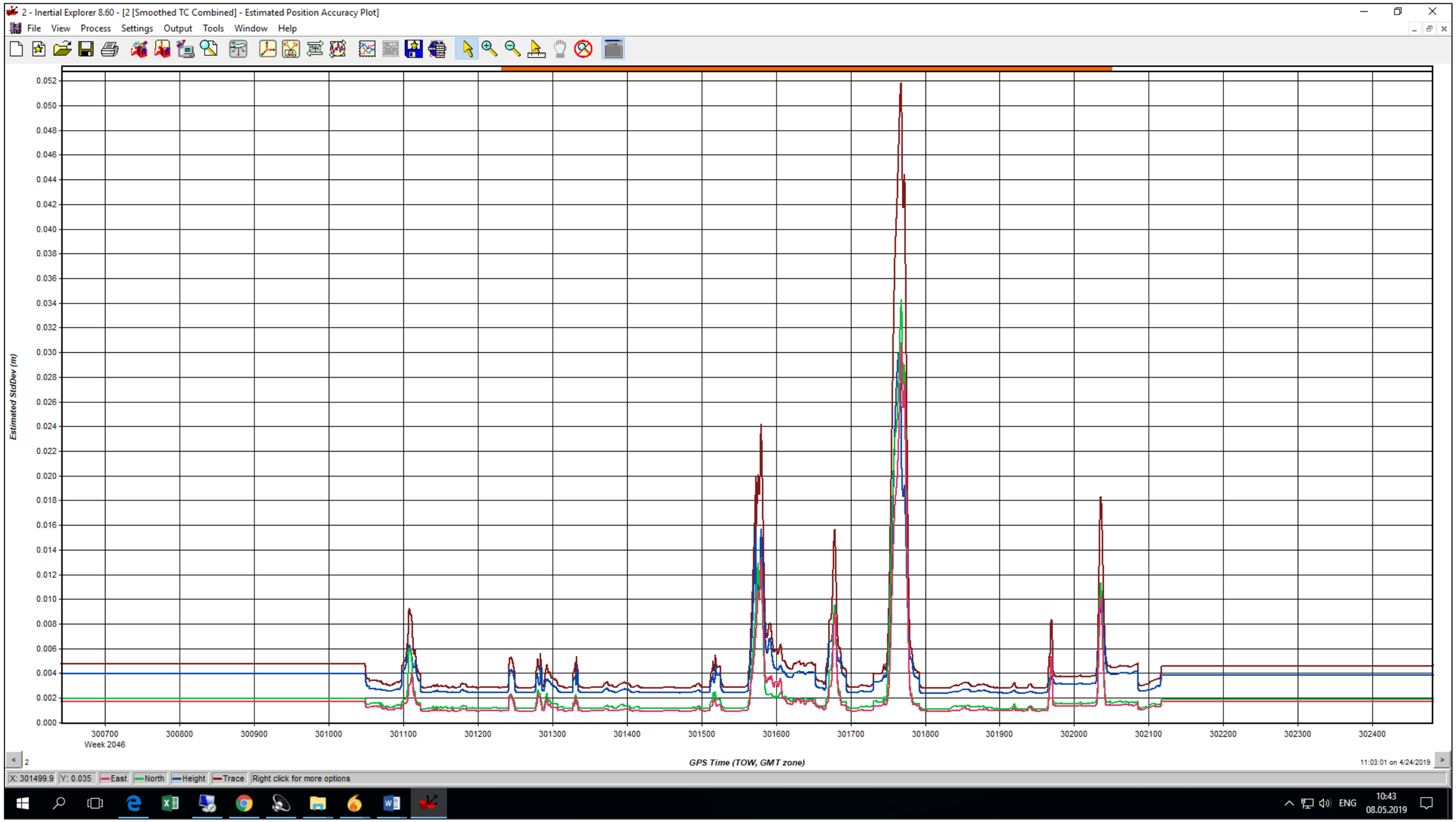



Рисунок Д.10 — Оценка точности вычисления траектории второго проезда системы мобильного лазерного сканирования АГМ МС-7

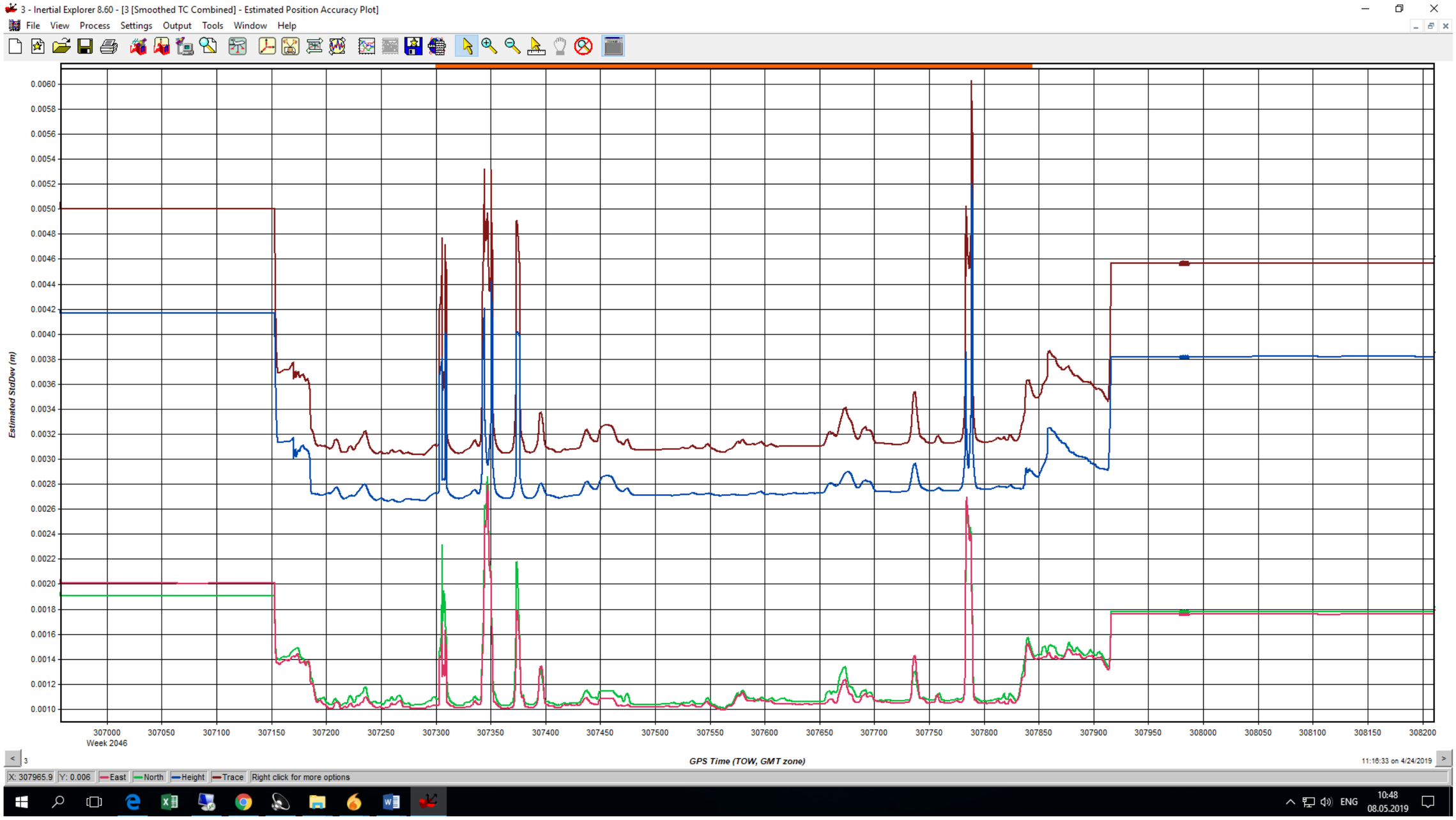



Рисунок Д.11 — Оценка точности вычисления траектории третьего проезда системы мобильного лазерного сканирования АГМ МС-7