

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Сибирский государственный университет геосистем и технологий»
(СГУГиТ)

На правах рукописи

Никитин Андрей Вячеславович



Теория и методы геодезического обеспечения
дорожной транспортной инфраструктуры

25.00.32 – Геодезия

Диссертация на соискание учёной степени доктора
технических наук

Научный консультант –
доктор технических наук,
профессор
Карпик Александр Петрович

Новосибирск – 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ МЕТОДОВ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ РАБОТ ДЛЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ, ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ И МОСТОВ.....	13
1.1 Перспективы развития дорожной инфраструктуры Дальнего Востока...	13
1.2 Методы инженерно-геодезических работ при проектировании и строительстве автомобильных дорог.....	15
1.2.1 Вопросы проектирования автомобильных дорог.....	15
1.2.2 Контроль геометрических параметров автомобильных дорог.....	21
1.3 Обеспечение геопространственными данными при определении площадей объектов автомобильных, железных дорог и мостов.....	25
1.4 Способы получения геопространственных данных в мостостроении....	33
1.5 Технология геодезических работ на железных дорогах, станциях и узлах.....	43
2 РАЗРАБОТКА БАЗЫ ДАННЫХ МЕТОДОВ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ РАБОТ ДЛЯ ОБЪЕКТОВ ДОРОЖНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ.	49
2.1 Основные понятия формирования геопространственных данных для автомобильных дорог, железных дорог и мостов.....	49
2.2 Разработка и исследование базы данных (базы знаний) методов геодезических работ.....	54
2.3 Теория способа определения пространственной длины трассы при проектировании автомобильных дорог.....	61
2.4 Оценка точности определения пространственной длины трассы.....	70
3 ТЕОРИЯ СПОСОБА ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ИДРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ВОДОПРОПУСКНЫХ СООРУЖЕНИЙ.....	75
3.1 Теория способа определения физической площади земельных участков для автомобильных, железных дорог и мостов.....	75

3.2 Повышение точности расчётов гидрологических характеристик при проектировании транспортных объектов	81
3.3 Определение физической площади земельных и водосборных участков по пространственной геометрической модели местности на основе электронно-цифровой карты.....	85
3.4 Исследование и оценка точности способа определения площадей.....	92
4 ГЕОДЕЗИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ МОСТОВ.....	104
4.1 Система контроля геопространственной информации в мостостроении.	104
4.2 Геодезическое обеспечение строительства опор мостов.....	110
4.3 Контроль вертикальности опор мостов и транспортных объектов.....	128
5 РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ РАБОТ НА АВТОМОБИЛЬНЫХ И ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГАХ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА.	149
5.1 Принципы и методы инженерно-геодезических изысканий железнодорожных станций и узлов	149
5.2 Особенности создания опорной геодезической сети для реконструкции верхнего строения пути участков Забайкальской железной дороги	159
5.3 Инженерно-геодезические изыскания на железнодорожных станциях и узлах Дальневосточной железной дороги.....	163
5.4 Технология создания электронных планов железнодорожных станций и узлов.....	171
5.5 Разработка и оценка точности способов оперативного определения геометрических параметров притрассовых и автомобильных дорог с применением приёмников ГНСС.....	180
5.6 Разработка конструкции геодезического знака для опорных геодезических сетей и реперных систем.....	193
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	201
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ.....	203
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	204

ПРИЛОЖЕНИЕ А (обязательное) АКТ ВНЕДРЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	226
ПРИЛОЖЕНИЕ Б (обязательное) ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО СТАНЦИИ «ЛАНДЫШИ» ДвостЖД.....	229

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Одной из приоритетных целей Транспортной стратегии Российской Федерации (РФ) на период до 2030 года является формирование единого транспортного пространства России.

В настоящее время на Дальнем Востоке активно развивается строительство новых и реконструкция существующих объектов дорожной транспортной инфраструктуры. Это федеральная автомобильная дорога «Чита – Хабаровск – Находка», уникальный вантовый и низководный мосты в г. Владивостоке. Усиливается мощность Транссибирской магистрали, входящей в международный транспортный коридор «Запад-Восток».

Важнейшим фактором для создания транспортного пространства будет качественное обеспечение геопространственными данными изысканий, проектирования, строительства и эксплуатации автомобильных, железных дорог и мостов.

При этом методы получения геопространственных данных (ГПД) и технология выполнения инженерно-геодезических работ для объектов дорожной транспортной инфраструктуры обуславливаются конструктивными особенностями автомобильных и железных дорог.

Для контроля геометрических параметров применяют различные геодезические средства измерений (электронные тахеометры, приемники глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС), системы наземного и воздушного лазерного сканирования, референцные станции, беспилотные летательные аппараты).

В современных условиях отсутствует единая система геопространственного обеспечения дорожной транспортной инфраструктуры с учетом достижений науки, техники и технологий.

Кроме того, необходимо разрабатывать методы геодезических работ, основанные на новых теоретических положениях и позволяющие получать более качественные геопространственные данные.

В РФ проводятся работы по внедрению в производство BIM (Building Information Modeling) технологии трехмерного проектирования инженерных объектов.

Однако современные средства измерений и методики производства геодезических работ не всегда корректно применяются для новых методов проектирования и строительства.

Поэтому существует проблема, вызванная необходимостью разработки базы данных методов геодезических работ для автомобильных, железных дорог и мостов, базирующейся на новой информационной основе и позволяющей принимать правильные решения для процессов управления, мониторинга и технического контроля на объектах дорожной инфраструктуры.

Степень разработанности темы. В производстве и науке накоплен большой объем геодезических знаний для автомобильных, железных дорог и мостов. Разработке способов получения геопространственных данных для автомобильных и железных дорог посвящены работы ученых и специалистов в области геодезии и транспорта. Значительный вклад в развитие теории и практики инженерно-геодезических работ при изысканиях и строительстве железных дорог и мостов внесли Бронштейн Г. С., Коугия В. А., Лютц А. Ф., Матвеев С. И., Райфельд В. Ф. Совершенствованию теории определения площадей земельных участков по геодезическим данным посвящены труды известных ученых: Батракова Ю. Г., Брынь М. Я., Маркузе Ю. И., Неумывакина Ю. К., Москвина В. Н. Разработки в области геодезического контроля и геомониторинга инженерных сооружений приведены в работах Уставича Г. А., Хорошилова В. С., Ямбаева Х. К. Геодезическое информационное обеспечение инженерных изысканий и проектирования автомобильных дорог рассмотрено в научных трудах ведущих отечественных ученых: Бойкова В. Н., Величко Г. В., Карпика А. П., Поспелова П. И., Столбова Ю. В., Скворцова А. В., Федотова Г. А. и др.

Современные ГИС-технологии для автомобильных и железных дорог, основанные на использовании передовых отечественных и зарубежных

программных продуктах, разработаны ведущими организациями, такими как Credo_Dialogue, IndorCAD, Robur.

Вместе с тем, в результатах исследований этих и других разработчиков и ученых в недостаточной степени решены вопросы точности линейных измерений при определении пространственной длины трассы, определения площадей водосбора при проектировании водопропускных сооружений, оптимального определения осей опор мостов с надежных геодезических пунктов.

На данный момент отсутствует единый подход к систематизации научных и практических знаний в области методов геодезических работ для автомобильных, железных дорог и мостов. Создание базы данных методов геодезических работ дает возможность принимать правильные инженерные и управленческие решения при выборе геодезических способов и средств измерений.

Цель и задачи исследований. Целью работы являются теоретические и прикладные исследования по развитию теории и методов геодезического обеспечения дорожной транспортной инфраструктуры.

Для достижения цели исследования были *поставлены следующие основные задачи:*

- провести анализ современного состояния методов инженерно-геодезических работ для автомобильных, железных дорог и мостов;
- на основе систематизации знаний разработать базу данных (базу знаний) теории и методов геодезического обеспечения дорожной транспортной инфраструктуры;
- разработать способ определения пространственной длины трассы при проектировании и строительстве автомобильных дорог;
- разработать способ уточнения физической площади земельных участков для определения площадей водосбора;
- разработать способы определения крена и контроля планового положения опор мостов с одного пункта наблюдений при их возведении;
- разработать рекомендации по применению оптимальных методов геодезического обеспечения дорожной транспортной инфраструктуры на

железнодорожных станциях, которые в дальнейшем можно использовать при создании высокоточной координатной системы (ВКС) с учетом специфики конкретной станции, природно-климатических условий и существующих опорных геодезических сетей.

Объектом исследований являются методы геодезических работ для объектов дорожной транспортной инфраструктуры.

Предмет исследования – методологические и теоретические разработки и решения для базы данных методов геодезических работ при изысканиях, проектировании, строительстве и эксплуатации автомобильных, железных дорог и мостов.

Научная новизна:

– предложена база данных (база знаний) методов геодезических работ для объектов дорожной транспортной инфраструктуры, включающая в себя существующие методы, средства и нормативную базу в дорожной отрасли при выполнении инженерно-геодезических изысканий, проектировании и строительстве автомобильных, железных дорог и мостов. База данных доступна для широкого круга пользователей через сеть Интернет и позволяет интерактивно решать ряд локальных задач при развитии дорожной транспортной инфраструктуры;

– разработан способ определения фактической длины трассы при проектировании автомобильных дорог, отличающийся тем, что пространственную длину трассы определяют как сумму пространственных длин прямолинейных участков, горизонтальных и вертикальных кривых;

– разработанный способ определения площадей земельных и водосборных участков позволяет уточнять физическую поверхность территорий на основе учета продольных и поперечных углов наклона участков по взаимно-перпендикулярным направлениям;

– разработанные способы контроля планового положения и определения крена опор моста с одного пункта наблюдений позволяют во время строительства оперативно корректировать их пространственное положение.

Теоретическая и практическая значимость работы. Теоретическая значимость работы заключается в разработке теории новых способов и методик производства геодезических работ для автомобильных, железных дорог и мостов.

Практическая значимость работы заключается в том, что разработанные в диссертации новые способы и методики повышают качество получения геопространственных данных при изысканиях, проектировании, строительстве и эксплуатации объектов дорожной инфраструктуры, а также:

– способ определения пространственной длины трассы на стадии проектирования автомобильных дорог реализует более высокую точность, достигаемую в процессе изысканий, тем самым улучшая качество данных проектирования;

– способ определения физической площади позволяет более надежно определять площадь водосбора;

– при строительстве малых и средних мостов способы разбивки опор мостов и определения крена оперативно определяют пространственное положение конструкций.

Предложенные методы, сочетающие применение традиционных и современных технологий геодезических работ на железнодорожных станциях и узлах, реализованы на производстве. Они учитывают специфику конкретной станции, природно-климатические условия, наличие геодезических пунктов, количество объектов инфраструктуры и поэтому увеличивают производительность и эффективность работ.

Методология и методы исследований. Методологической базой исследования являются методы инженерно-геодезических работ и методы получения геопространственных данных. Теоретической базой исследования служат методы математической обработки результатов измерений и математического моделирования. Эмпирическая база исследования включает продольные профили автомобильных дорог, материалы инженерно-геодезических изысканий при строительстве и эксплуатации мостов, нормативно-технические

документы, регламентирующие геодезические работы, экспериментальные и производственные работы на железнодорожных станциях и узлах Дальневосточного региона.

Положения, выносимые на защиту:

– модель базы данных методов геодезических работ для объектов дорожной транспортной инфраструктуры, включающая в себя существующие методы, средства и нормативную базу в дорожной отрасли при выполнении инженерно-геодезических изысканий, проектировании и строительстве автомобильных, железных дорог и мостов, реализованная в электронном виде и доступная широкому кругу специалистов и ученых через сеть Интернет;

– теория способов определения пространственной длины трассы при проектировании и строительстве автомобильных дорог и уточнения физической площади земельных участков для точного определения площадей водосброса;

– теория способов разбивки и определения крена опор моста с одного пункта наблюдений позволяет значительно сократить время на выполнение полевых работ и повысить точность выноса опоры моста в натуру и определения ее крена;

– экспериментальные и производственные исследования предложенных автором разработок в области теории и методов геодезического обеспечения дорожной транспортной инфраструктуры подтвердили их новизну и эффективность.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности.
Диссертационная работа по содержанию и характеру полученных результатов соответствует области исследования: 6 – Геодезическое обеспечение изысканий, проектирования, строительства и эксплуатации крупных инженерных комплексов, в том числе гидротехнических сооружений, атомных и тепловых электростанций, промышленных предприятий, линейных сооружений. Геодезический контроль ведения технического надзора при строительстве и эксплуатации нефтегазодобывающих комплексов паспорта научной специальности 25.00.32 –

Геодезия, разработанного экспертным советом ВАК Минобрнауки РФ по техническим наукам.

Степень достоверности и апробация результатов исследований. Основные концептуально-теоретические положения, рекомендации и результаты исследований диссертации докладывались и обсуждались на следующих научно-технических конференциях и научных конгрессах: научно-практические конференции, проходившие в Дальневосточном государственном университете путей сообщений (ДВГУПС), Хабаровск, 2004–2016 гг.; Международная научно-практическая конференция «Современные проблемы инженерной геодезии», Санкт-Петербург, 2009 г.; VIII Международная выставка и научный конгресс «ГЕО-Сибирь-2012», Новосибирск, 2012 г.; IX Международная выставка и научный конгресс «Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013» Новосибирск, 2013 г.

Результаты исследований по разработке методов инженерно-геодезических работ на железнодорожных станциях и узлах и способ контроля геометрических параметров притрассовых дорог были внедрены в производство при выполнении хоздоговорных работ, проводимых кафедрой «Изыскания и проектирование железных и автомобильных дорог» ДВГУПС (2005–2012 гг.) на Забайкальской (ЗабЖД) и Дальневосточной железных дорогах (Двост.ж.д). Автор принимал непосредственное участие в выполнении геодезических работ для съемки более 15 железнодорожных станций и узлов, а также в геодезических изысканиях на участках железных дорог общей протяженностью около 400 км в Забайкальском, Приморском, Хабаровском крае и Амурской области, о чем свидетельствует акт о внедрении результатов исследования.

Материалы исследований внедрены в учебный процесс в Тихоокеанском государственном университете для студентов специальностей «Землеустройство и кадастры», «Автомобильные дороги» и в Дальневосточном государственном университете путей сообщения для специальности «Строительство железных дорог, мостов и транспортных тоннелей». По результатам исследований были изданы две монографии и четыре учебных пособия.

Публикации по теме диссертации. Основные теоретические положения и результаты исследований представлены в 43 публикациях, из них 18 – в изданиях, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора наук: 10 статей – в российских рецензируемых научных изданиях, три статьи – в изданиях, входящих в международные реферативные базы данных и системы цитирования, и пять патентов РФ на изобретения.

Структура диссертации. Общий объем диссертации составляет 230 страниц машинописного текста. Диссертация состоит из введения, пяти разделов, заключения, списка литературы из 204 наименований, содержит 20 таблиц, 69 рисунков, два приложения.

Автор выражает глубокую признательность кафедре «Изыскания и проектирование железных и автомобильных дорог» ДВГУПС за плодотворное совместное сотрудничество в области инженерно-геодезических изысканий в реализации целого ряда производственных проектов. Материалы совместно выполненных производственных работ были использованы в диссертации.

1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ МЕТОДОВ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ РАБОТ ДЛЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ, ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ И МОСТОВ

1.1 Перспективы развития дорожной инфраструктуры Дальнего Востока

К инфраструктурным транспортным объектам относят (в соответствии с ФЗ от 03.02.2014 № 15): железные, автомобильные дороги, водные пути; искусственные сооружения.

В том числе мостовые переходы, тоннели, различного вида вокзалы и станции, морские порты и терминалы, объекты систем радиорелейной линий связи и навигации; соответствующее техническое оборудование для обеспечения функционирования сопутствующего комплекса технических и промышленных зданий и устройств.

Данное диссертационное исследование посвящено только некоторым объектам транспортной инфраструктуры. А именно дорожной транспортной инфраструктуре: *автомобильным, железным дорогам и мостам*. Выбор этих объектов обусловлен несколькими причинами. Автор диссертации в течение 25 лет участвовал в выполнении инженерно-геодезических работ на участках автомобильных и железных дорог Дальнего Востока и накопил большой объем производственного материала. Кроме того дороги относятся к категории линейных сооружений, однако методы выполнения инженерно-геодезических работ на них отличаются в связи с конструктивными особенностями. При этом мосты служат связующим звеном между объектами транспортной системы. В перспективе необходимо создание единого геопространства для линейных сооружений. Поэтому задача разработки системы геодезических методов для автомобильных и железных дорог, которую в дальнейшем можно импортировать

в различные ГИС инженерного назначения является актуальной. В дальнейшем под термином «объекты дорожной инфраструктуры» будут иметься в виду автомобильные, железные дороги и мосты.

В РФ существует достаточно развитая транспортная сеть. Она включает 86 000 км железных дорог общего пользования, 38 000 км путей промышленного железнодорожного транспорта и 903 000 км автомобильных дорог (в том числе с твёрдым покрытием 711 000) [77]. Кроме того в неё входят воздушные линии, магистральные газо- и нефтепроводы а также морской и речной транспорт. Структура российского грузо-и пассажирооборота представлена на рисунке 1.1.

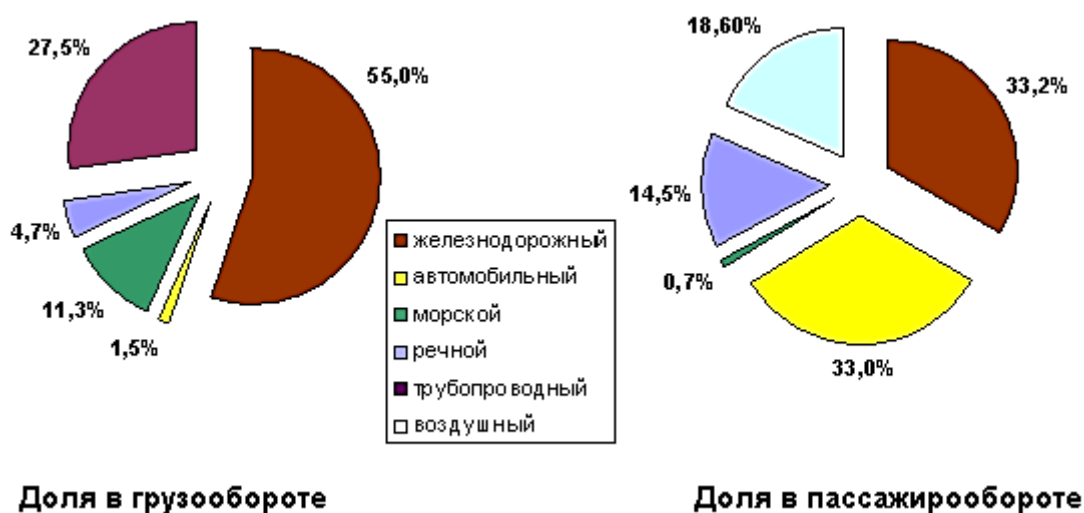


Рисунок 1.1– Структура российского грузо-и пассажирооборота

Большое значение для развития транспортной сети играет транспортный коридор (ТК) «Запад-Восток». Транссибирская магистраль является основой транспортной системы страны, при этом обеспечивает перевозку более 50 % экспорта России. В регионах, по которым проходит магистраль, сосредоточено 80 % промышленного потенциала страны. Эти территории являются основным источником природных ресурсов.

Дальневосточный федеральный округ занимает 40 % территории России и имеет в настоящем слабо развитую транспортную сеть. Это является одной из главных причин, сдерживающих его экономическое развитие.

Территориальное расположение Дальнего Востока должно способствовать развитию международных торговых связей. Так как регионы имеют непосредственный выход к морским портам. При частичном переводе части перевозок с Транссиба на БАМ значительно уменьшаются проходимые расстояния.

Главными задачами развития автомобильных и железных дорог на Дальнем Востоке будут заключаться в том, что:

- завершат создания магистральной железнодорожной сети, а для этого будет выполнена модернизация Транссиба и окончательное возведение БАМа и АЯМа;
- создадут вместе с автодорожным транспортом технологические и экономические условия для инвестирования в РЖД международных транзитных потоков (МТК «Транссиб», «Приморье – 1», «Приморье – 2»);
- будут развивать перегрузочные мощности базовых материковых портов – Владивостока, Находки, Восточного, Ванино, Посыета, Зарубино.
- создадут опорную магистральную дорожную сеть и завершат строительства автодорог «Чита – Хабаровск – Находка» и «Лидога – Ванино».

1.2 Методы инженерно-геодезических работ при проектировании и строительстве автомобильных дорог

1.2.1 Вопросы проектирования автомобильных дорог

Рассматривая методы получения пространственных данных, следует уточнить области применения инженерно-геодезических работ для автомобильных, железных дорог и мостов. Для этой цели автором разработана структурная схема, показанная на рисунке 1.2.

Основополагающим этапом в этой системе является производство инженерных изысканий, которые служат базой для следующих производственных этапов.

Главной задачей изысканий является информация о местности с точностью и полнотой, отвечающей требованиям выбора оптимальной трассы и мостовых переходов. Созданное геодезическое обоснование в процессе изысканий должно служить основой для последующего выноса проекта на местность.



Рисунок 1.2 – Области применения инженерно-геодезических работ для объектов дорожной транспортной инфраструктуры

Информация о результатах изысканий должна обрабатываться и выдаваться в таком виде, который обеспечивал бы автоматизированное проектирование. Установление информационной ёмкости материалов, получаемых в процессе изысканий, их представление в виде ГИС является важной задачей. Под трассой понимается пространственное положение продольной оси автомобильной дороги. Положение трассы должно оптимальным и обеспечивать процесс строительства и эксплуатации дорог с проектными характеристиками, а также удовлетворять нормативным ограничениям, накладываемым нормами проектирования и иметь соответствующие технические показатели и критерий эффективности. Обычно

трасса представляется в виде ее проекции на горизонтальную (план) и вертикальную (продольный профиль) плоскости.

Геометрия трассы определяется рельефом местности, продольный профиль характеризуется отметками земли в точках перелома и пикетов, а проектная линия бровки земляного полотна – рабочими отметками в тех же точках.

В сечении трассы нормальной плоскостью получают поперечный профиль, на котором проектируют земляное полотно, дорожную одежду и искусственные сооружения. Выбор трассы должен соответствовать техническим требованиям, изложенным в строительных нормах и правилах. В СНиП 2.05.02–85* [159] ограничиваются уклоны трассирования, величины разностей уклонов в местах перелома проектной линии профиля, длина минимального элемента профиля, отметки проектной линии в фиксированных точках. В плане ограничиваются углы поворота трассы, радиусы круговых кривых, расстояние между началом и концом круговых и переходных кривых, величина радиуса вертикальных кривых, длина переходных кривых.

Можно выделить основные принципы проектирования автомобильных дорог, изложенные в работах [153, 154, 189]:

- а) нахождение рационального положения трассы и ее объектов относительно окружающего ландшафта;
- б) получение оптимальных условий эксплуатации дороги;
- в) разработка рациональных параметров объектов;
- г) определение объемов и стоимости строительства.

Информация о местности должна обладать также и такими характеристиками, как объективность, необходимая точность, полнота, детальность.

В состав технического проекта строительства автомобильных дорог входит план трассы, на котором фиксируются горизонтальные положения пикетов, плюсовых точек, главных точек кривых, по которым определяется длина отдельных участков и трассы в целом. Также продольный профиль трассы, включающий графы «пикеты» и «расстояния», где указаны горизонтальные

проложения прямых участков и горизонтальных закруглений трассы. Дальнейшие расчеты и составление соответствующей документации осуществляется относительно пикетажа и горизонтальных расстояний, указанных на плане и профиле. Однако реальное положение строящейся дороги является пространственным, и ее истинная (фактическая) длина не указывается в продольном профиле, и её не учитывают в соответствующей нормативно-проектной документации. Поэтому, при выполнении геодезических работ, а именно *линейных измерений*, погрешность в измерении расстояний будет больше нормативных требований. А это приводит к не корректному определению местоположения объектов, а также к уменьшению объемов земляных работ и дорожной одежды.

По этой же причине при исполнительных и контрольных съемках выявляются отклонения проектных и фактических данных, что особенно существенно проявляется в холмистой, предгорной и горной местности. Значительное влияние на несоответствие проектной и фактической длины трассы оказывает и отсутствие в проекте учета длин вертикальных кривых, так как в пикетаже плана и продольного профиля они учитываются как прямые горизонтальные участки, а в ведомости «прямых и кривых», где определяется длина трассы, вообще отсутствуют.

Задача выбора оптимального положения трассы решается также и в трехмерном пространстве, но ее однозначное решение аналитически в настоящее время не разработано.

В монографии Ловягина В.Ф. рассмотрены геоинформационные технологии в инженерных изысканиях трасс линейных сооружений [80]. Автор предлагает применять в инженерных изысканиях методы математического моделирования состояния ограниченных участков местности с применением информационных технологий и метода дискретной оптимизации пространственных параметров альтернативных вариантов трасс. В работе решение поставленной проблемы выполнено на инновационной методологической основе системно-структурного и объектно-ориентированного

подходов к обработке и интерпретации разнородных геодезических и геолого-геофизических данных измерений. Для линий электропередач исследованы погрешности определения длины трассы на электрические, конструктивно-технические и сметно-финансовые расчеты. Сделан научно-обоснованный вывод о том, что нормативная погрешность в определении строительной длины трассы ($\Delta L/L = 1/300$) искажает результаты сметно-финансовых расчетов, и эта ошибка может достигать 60 % от стоимости выполнения топографо-геодезических работ (стр. 120). Так как предложенные в работе технологии и оптимальные методы проектирования применимы для инженерных линейных сооружений первой группы (линии электропередач, нефте- и газопроводы) на стадии технико-экономического обоснования, в связи с этим необходимо разрабатывать методику, учитывающую пространственную длину трассы на стадии проектирования автомобильных дорог.

В России автоматизированным проектированием автомобильных дорог занимаются большое количество научно-производственных организаций [13, 67, 187, 189]. Наибольшее распространение получили программные продукты фирм Gredo_Dialogue (г. Минск), IndorCAD (г. Томск, МАДИ), РОСДОРНИИ (г. Москва).

Физическую сущность автоматизированного проектирования плана и продольного профиля рассмотрим на примере программы «Кредо – Дороги» [14], фрагмент профиля, показан на рисунке 1.3. Проектируемые 3D полилинии основной оси трассы проекта состоят, как правило, из двух 2D полилиний, каждая из которых является моделью плана или продольного профиля. Каждая из этих моделей определена в своей системе прямоугольных координат: XY – для плана оси; ПК и Н – для профиля оси.

При этом пространственная длина 2D полилиний профилей этих объектов вычисляется так же, как и длина 2D полилиний их плана, а именно – как сумма длин элементов, составляющих геометрические модели (отрезки прямых, дуги окружностей и парабол 2-й и более высоких степеней, бикубические сплайны, дугами разнообразных переходных кривых).

Поэтому в продольном профиле длина полилинии 2D будет отличаться и быть, как правило, больше длины 2D полилинии плана.

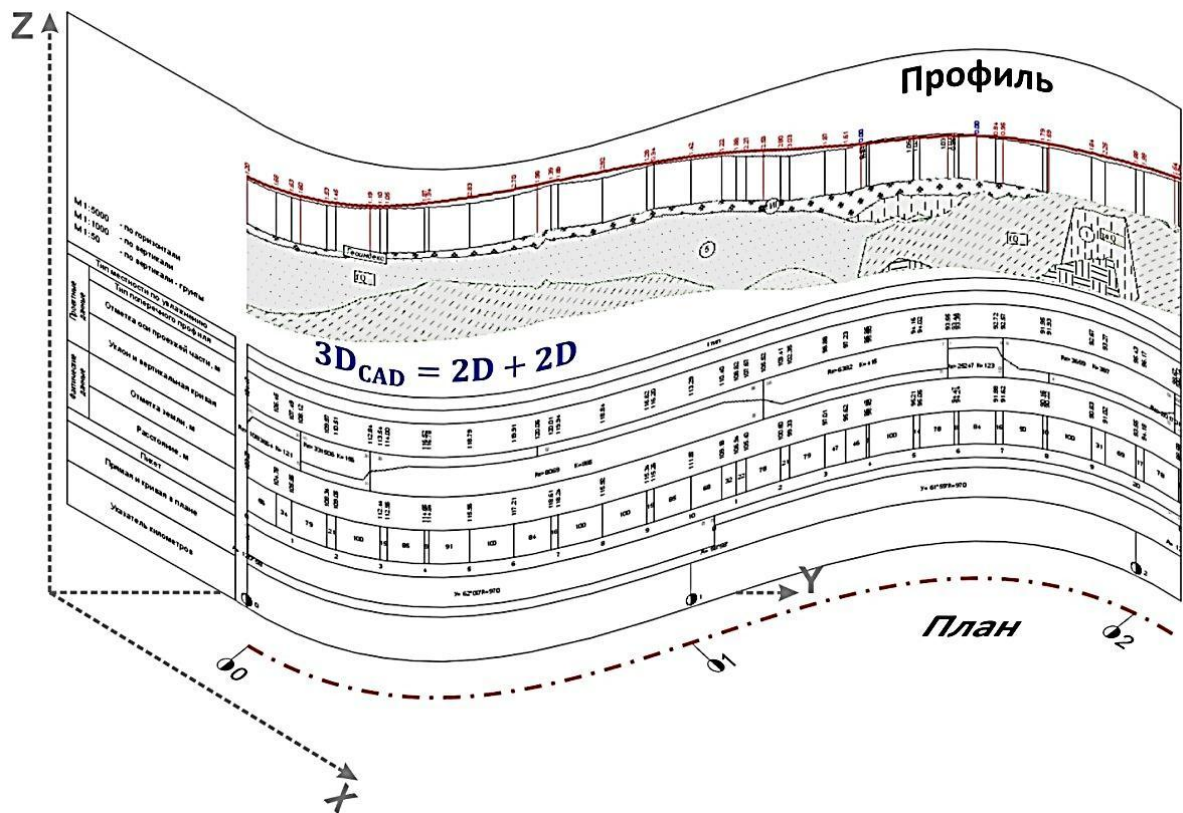


Рисунок 1.3 – 3D полилиния оси дороги проектируемой в Credo

В настоящее время в РФ изменяют внутренние стандарты при проектировании автомобильных дорог, руководствуясь требованиями Европейского соглашения о международных автомагистралях (ЕЭК ООН) и на основании Межправительственного соглашения по сети азиатских автомобильных дорог (ЭСКАТО ООН) [32]. Очевидно, что назрела необходимость для разработки способа повышения точности геодезических (линейных) измерений на стадии проектирования автомобильных дорог, который следует в дальнейшем рекомендовать для включения в нормативные документы при проектировании и строительстве автомобильных дорог.

1.2.2 Контроль геометрических параметров автомобильных дорог

В настоящее время интенсивно развиваются и применяются современные методы и средства геодезических измерений (электронные тахеометры, приёмники ГНСС) при изысканиях, строительстве и эксплуатации автомобильных дорог. Эти технологии должны обеспечивать: оперативность получения информации, ее достоверность, быстроту и простоту обработки за счет применения современных программных средств и компьютерной техники. Проведение полевых работ должно выполняться с применением высокопроизводительных приборов и оборудования. При этом существующие требования к точности геодезических работ, отражённые в СНиП 11.02.96* и СП 11.104.97 не всегда отвечают требованиям современного производства.

Обоснованием необходимой точности плановых и высотных геодезических измерений при изысканиях трасс линейных сооружений приведено во многих литературных источниках, наиболее полно такое обоснование выполнено в работах [97, 154].

При топографических съемках масштаб составляемого плана является определяющим показателем его точности. Однако при составлении трассировочного плана масштаб не является основным показателем точности, которая зависит от степени обобщения снимаемых элементов – рельефа и ситуации. Если при изысканиях ставится задача создания трассировочного плана, то после завершения составления технического проекта и рабочих чертежей, возникают потребности выноса проекта на местность, исполнительные съемки, наблюдения деформаций сооружений дороги. Поэтому в практике дорожного строительства геодезическое обоснование на разных этапах строительства и эксплуатации приходится создавать по несколько раз для решения конкретных задач на каждом этапе, что приводит к необоснованным затратам. Многими исследованиями [17] доказывается необходимость создания постоянной геодезической сети по трассе, способной по точности обеспечить все виды работ на разных этапах строительства и эксплуатации дорог и сооружений.

На современном этапе развития геодезического приборостроения, когда в проектно-изыскательские организации поступают новые средства измерений, становится вполне возможной и реальной идея создания на стадии изысканий многоцелевого геодезического обоснования, надежно закрепленного постоянными знаками вдоль всей трассы, способного обеспечить все виды геодезических и разбивочных работ на этапах строительства и эксплуатации автомобильных дорог и инженерных сооружений. Для этих целей перспективно использование референчных базовых станций.

Точки постоянного закрепления следует располагать не реже чем через 300–500 метров по внешним границам полосы отвода, желательно за пределами производства земляных работ, в хорошо просматриваемых местах, находящихся в непосредственной близости от предполагаемых выемок и насыпей, а также у логов и водотоков. Для криволинейных участков автомобильных дорог закрепленные точки следует располагать с внешней стороны закругления, чтобы обеспечить более точную разбивку кривой.

Погрешности получения точек постоянного закрепления, находящихся в стороне от магистрального хода и получаемые с точек хода в основном методом прямой линейной или угловой засечками будут несколько больше, чем в магистральном ходе. При этом они по своей абсолютной величине будут несущественно превышать ошибки в точках хода, что обеспечивает весь комплекс геодезических и разбивочных работ при строительстве дорог и искусственных сооружений.

Полученные данные приближенных расчетов, опубликованные в работах автора [104, 106, 119] позволяют утверждать, что с внедрением в производство новой технологии с использованием электронной тахеометрии, точность инженерно-геодезических работ возрастает на порядок. Что позволяет ставить вопрос о пересмотре инструктивных документов по геодезическому обеспечению строительства, увязав его с пересмотром требований к допускам строительномонтажных работ с учетом погрешностей на изготовление и монтаж строительных конструкций.

Вся полученная и закреплённая на местности геодезическая сеть должна быть доступна широкому кругу пользователей. Координаты пунктов могут быть в дальнейшем использованы не только для строительства дороги, но и для создания различных ГИС территориального или ведомственного назначения. Примером могут служить ГИС дорог для Московской области, показанные в работах [1, 158, 188].

Одной из наиболее важных задач при строительстве, эксплуатации, паспортизации автомобильных дорог является геодезические съёмочные работы для определения параметров криволинейных участков. Для этого требуется определить необходимые геометрические элементы трассы: радиус, длину круговой и переходной кривой, тангенс и биссектрису.

Геометрические параметры в реальных производственных условиях определяют способами, представленными в Инструкциях [21, 52]. В одном из разработанных способов восстанавливают местоположение вершин углов поворота с помощью створного метода. Суть которого заключается в том, что следует продолжить створ прямых участков, расположенных перед и после круговой кривой и в дальнейшем измерить угол поворота и биссектрису. После чего вычислить радиус кривой и другие параметры. К недостаткам рассмотренного способа относится то, что в сложных условиях местности не всегда представляется возможным в короткие временные отрезки выполнить измерения. Поэтому область его применения крайне ограничена.

В следующе описанном способе для определения радиуса необходимо измерить хорду и стрелу прогиба. Однако в предгорных и горных районах измерить данные параметры довольно сложно и не всегда возможно. На основании этого можно сделать вывод о малой эффективности способа.

Также для определения радиусов кривых и других геометрических параметров используют способы, основанные на применении механизированных и автоматизированных методов диагностирования автомобильных дорог. Основной целью диагностики автомобильных дорог является получение всесторонней и максимально достоверной информации о техническом состоянии

дорожного покрытия при различных условиях эксплуатации. Кроме того при данной технической операции выявляют уровень несоответствия технических параметров нормативным требованиям и инструкциям.

В Российской Федерации для диагностики и проверки качества автомобильных дорог, земляного полотна и дорожного покрытия используют передвижные лаборатории типа КП - 514МП на базе автомобиля ГАЗ 3221 «Газель», выпускаемые Саратовским научно-производственным центром РОСДОРТЕХ [44, 45, 148]. Автомобили оснащают приёмниками систем ГЛОНАСС/GPS. Анализ полученных результатов показывает, что на достоверность данных оказывают влияния неровность дорожного покрытия, сложность определения границ круговых и переходных кривых.

Оригинальные технические конструкции для диагностики дорог разработаны в СГУПС (г. Новосибирск) [10, 35, 196], а программное обеспечение предложено в диссертации Кунца Р.И. [74]. Конструкция лаборатории показана на рисунке 1.4.



Рисунок 1.4 – Передвижная дорожная лаборатория

Дорожная передвижная лаборатория (ДПЛ) СГУПС предназначена для определения геометрических параметров автомобильных дорог и может быть использована в процессе паспортизации и диагностики дорог. Так же лаборатория применяется для определения технико-эксплуатационных показателей, таких как

дефекты дорожной одежды; дислокация дорожных знаков; мониторинг инженерных объектов.

Состав ДПЛ СГУПС может быть опционально расширен для конкретных потребностей и задач. Также некоторые модули могут быть использованы отдельно от лаборатории. Типовое оснащение ДПЛ СГУПС включает: компьютер, контроллер, спутниковый приемник геодезического класса точности, датчики пути и поперечного угла наклона, толчкомер для измерения ровности, прикладное программное обеспечение в виде пакета программ для обработки данных.

Дополнительно в состав оборудования входят: дорожная рейка, геодезические средства измерений, прибор для сбора дорожной информации «Куратор», установка динамического нагружения «Дина-3М», прибор для измерения коэффициента сцепления (ППК – МАДИ) и другое вспомогательное оборудование.

Однако использование ДПЛ для модернизации (реконструкции) дорог представляется сложной задачей. Так как процесс изысканий, как правило, предусматривает проведения работ за границами дорожного полотна. Также вызывает сомнение погрешность в определении радиусов дорог в 1м, таблица 2 [10].

Становится очевидным необходимость *разработки универсального способа* определения геометрических параметров автомобильных дорог, *позволяющего оперативно определять радиусы*, как в процессе строительства, так и эксплуатации.

1.3 Обеспечение геопространственными данными при определении площадей объектов автомобильных, железных дорог и мостов

Вопросы определения и фиксации на местности полосы отвода земель под строительство автомобильных, железных дорог, мостов и искусственных сооружений становятся особо актуальными в условиях рыночной экономики, так как связаны с

изъятием земель из активного сельскохозяйственного оборота, из лесного фонда, территорий городской черты.

В научной и справочной литературе недостаточно освещены вопросы отвода земель, маркировки на местности полосы отвода и определения водосборных площадей при строительстве автомобильных, железных дорог и других инженерных сооружений. Частично вопросы демаркации границ полосы отвода для автомобильных и железных дорог рассмотрены в работе Визирова Ю. В. [18] и определены нормативными документами [157].

Площадь земельных участков является важной пространственной характеристикой инженерного объекта. Она определяет и величину земельного налога, и стоимость участков.

Как отмечено в работе [33] в современных условиях площадь земельного участка определяют с определённой погрешностью. Поэтому для доказательства корректности начисления платежей за землю необходимо, чтобы погрешности измерений минимизировались в процессе производства работ. В тоже время повышенная сумма начислений может не правильно восприниматься с фискальной функцией государства.

То есть следует соблюдать баланс между пользователем и государством, а для этого важно обеспечение требуемой точности измерений и нормативных требований по межеванию земель.

Для соблюдения таких условий следует применять адаптированную к местным условиям технологию работ. Кроме того следует оптимизировать конечную величину погрешности геодезических построений на местности.

При установлении границ автомобильных и железных дорог определяют площади земельных участков, которые являются площадью геометрической фигуры, образованной проекцией границ земельного участка на горизонтальную плоскость на основании требований ФЗ №221 и Инструкции по межеванию земель [55]. Однако в действительности *эта площадь отличается от фактической* (физической).

При проектировании искусственных сооружений для определения

гидрологических характеристик также необходимо знать *площадь водосбора*. В этом случае так же используют геодезическую площадь.

Площадь земельного участка определяют используя координаты межевых знаков. При этом среднюю квадратическую погрешность (СКП) m_p определения площади находят из выражения

$$m_p = m_t \sqrt{P} \cdot \sqrt{\frac{1+K^2}{2K}}, \quad (1.1)$$

где P – площадь земельного участка;

K – коэффициент вытянутости;

m_t – СКП положения межевого знака.

В соответствии с классификацией, приведенной в работах [84, 85, 86, 98], способы определения площадей подразделяются на аналитический, графический и механический.

Для вычисления площади с помощью аналитического метода используют данные угловых и линейных измерений. Координаты получают непосредственно на местности, или как функцию измеренных углов и расстояний, используя при этом геометрические и тригонометрические зависимости. Из трёх способов аналитический способ является самым точным, так содержит только погрешности полевых геодезических измерений. На точность определения площадей с помощью графического и механического способа оказывают влияние погрешности, получаемые при составлении топографических планов и карт и деформация бумаги.

В практике геодезических и землеустроительных работ также применяют комбинированные способы определения площадей. Например, площадь земельных участков, закрепляют на местности граничными столбами и определяют координаты точек с помощью аналитического способа, а площади внутри участка отдельных сельскохозяйственных угодий и контуров механическим способом.

В настоящее время в практику геодезии активно внедряются методы,

позволяющие определять площади земельных участков по цифровой карте (ЦК) и электронной карте (ЭК) на основе ЦММ.

ЦК – это "цифровая модель карты" [62, 78]. В настоящее время цифровая карта получается после преобразования картографических материалов с бумажных носителей в цифровые путём сканирования и векторизации. То есть цифровая модель отображает исходную графическую карту.

ЭК – это цифровое картографическое изображение в растровом формате, которое генерируется компьютером и предназначенное для вывода на экран дисплея, принтер, плоттер. Для этих целей также применяют специализированные прикладные программы, предназначенные для работы с растровыми изображениями [79].

Определение площади различных объектов зависит от вида программного продукта (векторизатора), а также, в какой геоинформационной системе (ГИС) используется отсканированное изображение. Определение площади производится автоматически при замыкании контура любого объекта.

При этом для решения различных задач в геодезии также применяют и классические способы определения площадей земельных участков.

Если участок имеет форму прямоугольника и трапеции, то применяют формулу Герона

$$\left. \begin{aligned} P &= \sqrt{(q-a)(q-b)(q-c)(q-d)}; \\ q &= \frac{a+b+c+d}{2}, \end{aligned} \right\} \quad (1.2)$$

где a, b, c, d – стороны четырехугольника;

q – полупериметр четырехугольника.

При отличии длин сторон четырёхугольника более чем на 2 %, его разделяют на треугольники и определяют площадь, используя формулы Брахмагупты

$$\left. \begin{aligned} P &= \sqrt{(q-a)(q-b)(q-c)q}; \\ q &= \frac{a+b+c}{2}, \end{aligned} \right\} \quad (1.3)$$

где a, b, c – длина соответствующей стороны треугольника;

q – полупериметр треугольника.

В статье [76] рассмотрены возможности применения данных формул для вычисления площадей приусадебных участков и показана их эффективность.

В работе сделан вывод о том, что определять площадь территорий возможно по топографическим планам и картам, которые представляют собой модель, отображающую поверхность земли на плоскость. В реальности форма поверхности земельного участка имеет разнообразный рельеф и поэтому её надо рассматривать как величину пространственную.

Учитывать рельеф при определении площадей земельных участков в той или иной форме предпринимались ранее.

Так в книге [86] рассмотрен способ определения площади физической поверхности земельного участка. Сущность способа поясняется на рисунке 1.5.

На рисунке $ABCD - P_\phi$ физическая поверхность, имеющая угол наклона ν к горизонтальной поверхности $AbcD (P)$.

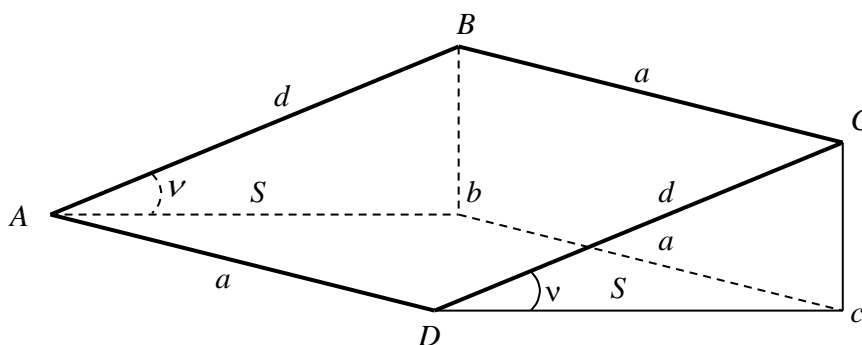


Рисунок 1.5 – Определение физической площади участка

Участок, имеющий горизонтальную площадь P , будет равен

$$P = P_0 + P_0 \frac{2H}{R}, \quad (1.4)$$

где P_0 – площадь участка;

H – средняя отметка участка;

R – радиус Земли;

$\frac{2H}{R}$ – поправочный коэффициент к площади при переходе от поверхности

эллипсоида к горизонтальной поверхности.

В работе отмечено, что горизонтальное положение участка всегда меньше его площади физической поверхности.

Физическая площадь с учётом поправки δP будет определяться из выражения

$$P_\phi = a d = a \frac{\delta P}{\cos v} = \frac{P}{\cos v}. \quad (1.5)$$

Способ имеет логически правильное теоретическое обоснование. При этом в реальном измерительном пространстве возможны постоянно меняющиеся формы поверхности земли и рельефа, и не всегда земельные участки можно заменить на плоскость, наклонённую к горизонтальной поверхности под одним углом.

Другой способ определения физической площади земельных участков предложен в статье [6].

Существующая поверхность земли представлена в современном производстве на бумажных носителях и в цифровом виде. Для цифрового моделирования и определения площади методом итераций разбивают земельный участок на простейшие геометрические фигуры, оптимальной из которых будет треугольник.

На рисунке 1.6 представлен земельный участок, имеющий наклон, который может быть представлен треугольником ABC . Проекцией данной фигуры на

горизонтальную плоскость будет треугольник abc . В треугольнике ABC на местности должны быть измеренными следующие параметры: угол наклона линий ν_1 и ν_2 ; горизонтальный угол β_0 ; длина линий D_1 и D_2 .

Площадь наклонного участка ABC может быть определена по формуле

$$P_{\phi} = \frac{D_1 D_2 \sin \beta}{2}. \quad (1.6)$$

Так как в предложенной формуле величину пространственного угла β в треугольнике ABC необходимо определить, то после преобразований, приведённых в статье, значение угла определится из выражения

$$\beta = \arccos(\cos \beta_0 \cos \nu_1 \cos \nu_2 + \sin \nu_1 \sin \nu_2). \quad (1.7)$$

После определения величины пространственного угла β в треугольнике ABC , можно получить физическую площадь наклонного треугольника.

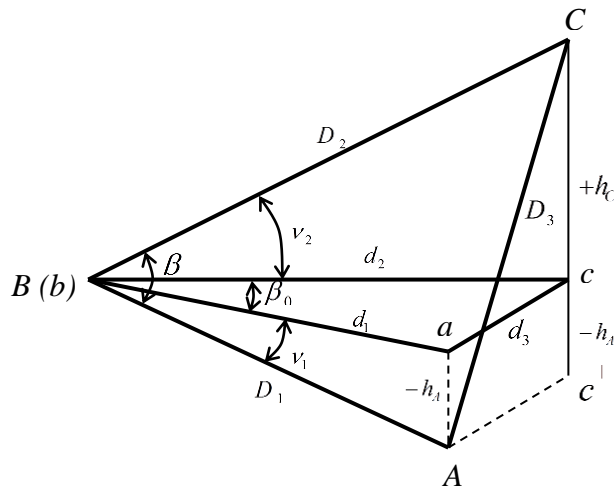


Рисунок 1.6 – Схема наклонного участка в виде треугольника

В данном научном исследовании разработана методика для определения физической площади, учитывающая тот факт, что на границах участков возможно установлены различные искусственные ограждения и межевые знаки.

Поэтому могут возникнуть сложности с производством на местности геодезических измерений и для определения площадей рекомендуется заменить участок на эквивалентную по площади центральную систему, состоящую из треугольников.

Предложенный способ позволяющий определять площадь земельных участков с помощью наклонных треугольников теоретически обоснован. Однако область его практического применения не высокая. Так как в реальных условиях не представляется возможным построить центральную систему на местности и в дальнейшем разбить её на треугольники, имеющие одинаковый уклон. При этом определение площадей является частью работ по геодезическому обеспечению землеустроительных и кадастровых работ и, следовательно, необходимо применять способы которые могут одновременно выполнять и другие задачи.

В монографии [139] приводится формула для вычисления физической площади земельного участка по базовой формуле аналитической геометрии и формула Герона для вычисления пространственной площади треугольника, однако, учитывая, что эта формула верна лишь для равнобедренных и равносторонних треугольников, область её использования ограничена.

В работе [19] приведена технология по определению площади территорий, расположенных на поверхности эллипсоида, имеющего определённые параметры с учётом использования пространственной криволинейной системы координат и телесного угла. Для решения этих задач предложен алгоритм математических вычислений, использующий двойной интеграл. Далее необходимо определить длину геодезической линии на эллипсоиде и вычислить значение геометрических параметров нового эллипсоида в зависимости от абсолютной высоты объекта. Данные технические решения следует применять для определения площади на больших территориях. Для определения площадей объектов автомобильных и железных дорог необходимость в таких задачах отсутствует. Приведённые исследования обладают большой сложностью математического аппарата, а это в большинстве случаев не является необходимым и целесообразным для

инженерных задач по определению площади водосбора при проектировании мостов и труб.

В статье [60] авторами предложена методика для предельной оценки отличия площади физической поверхности земельных участков относительно её плоской или сферической поверхности. Полученные результаты целесообразно применять для больших территорий. Однако использование разработанных формул и методик при трёхмерном моделировании рельефа и определения физических площадей земельных участков представляется не корректным.

Анализируя способы определения площадей земельных участков для получения действительных и качественных геопространственных данных необходимо *разработать способ позволяющий уточнять фактическую площадь земельных участков с максимально возможной степенью приближения при определении физической площади. Причём способ должен быть реализован для различных производственных задач, в том числе и для определения площадей водосбора в ЭЦК.*

1.4 Методы получения геопространственных данных в мостостроении

В 2012 г. в г. Владивостоке сданы в эксплуатацию уникальные мосты – это вантовый мост через бухту Золотой Рог и низководный мост через Амурский залив. Технология строительства этих внеклассных сооружений требовала разработки соответствующего проекта производства геодезических работ, учитывающего специфику и технические особенности конструкций. Также в настоящее время возводятся и сдаются в эксплуатацию мосты на автомобильных дорогах «Чита – Хабаровск – Находка» и «Селихино – Ванино».

Комплекс геодезических работ при изысканиях, строительстве и эксплуатации мостов регламентируется СНиП [162, 163, 164, 165].

Геодезическое обеспечение используют в следующих видах работ:

- гидрометрические изыскания;
- геологические изыскания;

- морфометрические исследования;
- определение длины мостового перехода;
- разбивка центров опор мостов и осей регуляционных сооружений;
- создание планово – высотного обоснования
- контроль строительства опор мостов и пролётных строений;
- исполнительная съёмка возведённых объектов;
- обследование и испытание мостов.

Для выполнения гидрометрических работ применяются и аэрофотосъёмочные методы. Наиболее полно технология работ с применением аэрометодов изложена в работе [78]. С помощью аэрометодов можно определять скорости и направления поверхностных течений, расходы воды, глубины, отметки уровней воды, направления судовых ходов и движения льдин [42].

Состав, содержание и технология геодезических работ при строительстве мостов изложена в книгах и инструкциях [29, 69, 81, 94,]. К сожалению, в данных классических книгах не отражён уровень современного мостостроения.

Представляет научный и практический интерес работа авторов из СПбГУПС [137], в которой приведены результаты исследований контроля планово-высотного положения вантового моста в г. Владивосток.

Геодезическое обеспечение мостостроения включает весь комплекс работ при изысканиях, строительстве и эксплуатации мостовых переходов. Для соблюдения соответствия геометрических параметров мостов нормативным требованиям применяют различные способы геодезических разбивочных работ, являющиеся частью технического контроля на каждом производственном этапе.

Различают основные и детальные геодезические разбивочные работы. Основные разбивки имеют своей целью вынос в натуру и закрепление основных осей сооружений, а детальная разбивка выполняется для выноса в плане и по высоте частей и элементов конструкции, на основе вынесенных ранее осей сооружения. Разбивочная опорная сеть создаётся в тех случаях, когда геодезическое обоснование, созданное при изысканиях мостового перехода, либо не сохранилось, либо не соответствует заданной точности разбивки. В традиционных технологиях разбивочная сеть

мостового перехода создаётся специально. Разбивочная опорная сеть состоит из пунктов планового обоснования и высотных реперов, при этом часто плановые и высотные пункты совмещены, то есть плановые пункты имеют отметки, а реперы – координаты. При разбивке больших мостов создаётся высокоточная опорная сеть в виде мостовой триангуляции или специальных построений, отражающих специфику местных условий на мостовом переходе.

Все разбивочные работы при строительстве мостов и других искусственных сооружений выполняют на основе проекта сооружения, плана мостового перехода с нанесёнными осями сооружений, схемы расположения геодезических пунктов и их описания, каталога координат и высот геодезических пунктов; знаков геодезической основы, закреплённых на местности и фиксирующих продольную ось сооружения.

Одним из главных критериев для оценки качества возведения искусственных сооружений будет точность необходимая при изготовлении конструкций для последующего перемещение объектов в положение, соответствующие проектному. Это будет необходимым условием прочности, надёжности и долговечности конструкций.

В соответствии с ГОСТ 21778–81 точность каждого отдельно взятого размера X_i характеризуется величиной действительного отклонения δX_i , определяемого из зависимости

$$\delta X_i = X_i - X_{ном}, \quad (1.8)$$

где X_i – действительное отклонение;

$X_{ном}$ – номинальное отклонение.

Другой нормативной характеристикой точности является допуск. ΔX Допуск представляет собой разновидность между наименьшими и наибольшими предельными размерами и определяется по формуле

$$\Delta X = X_{\max} - X_{\min} \quad (1.9)$$

Производственные допуски соблюдаются при выполнении технологических процессов, а именно при изготовлении элементов конструкций, выполнении геодезических разбивочных работ, монтаже конструкции. Установленная проектом точность определяется допуском, а достигнутая точность оценивается СКП. Допуски на основные виды строительного-монтажных работ в мостостроении, приведены в таблице 1.1.

Т а б л и ц а 1.1 – Допуски на строительного-монтажные и разбивочные работы

Вид работ и возможные допуски	Возведение $\Delta\phi$, мм	Изготовление Δu , мм	Разбивка Δz , мм
Смещение осей конструкций в плане относительно разбивочных:			
– осей фундаментов в открытых котлованах (плит свайных ростверков)	± 40		
– осей опор в уровне обреза фундамента	± 20		± 5
– осей опор в уровне подферменников	0,004h, но не >50		0,002h, но не >25
– осей стоек в нижнем сечении	± 10		± 3
Отклонение от вертикали	± 40		± 10
– опор выше обреза фундамента	0,002h, но не >25		0,001h, но не >13
Отклонение отметок обрезов фундаментов, верха подферменных площадок	± 30		± 8
Отклонение в размерах конструкций в плане:			
– фундаментов в открытых котлованах		± 100	
– опор выше обреза фундамента		± 100	

При расчёте норм точности возникает задача определения соотношения между функциональными (конструктивными) допусками $\Delta\phi$ и геодезическими допусками Δ_r .

В большинстве работ и нормативных документов [46, 48, 117, 179, 182] принято определять допустимую ошибку разбивки из соотношения

$$\begin{aligned}\Delta_r &= (0,3 - 0,4) \Delta\phi, \\ m_r &= (0,3 - 0,4) m_\phi,\end{aligned}\tag{1.10}$$

где m_r – СКП разбивки;

m_ϕ – суммарная СКП.

На точность производства работ в мостостроении влияют несколько факторов, основными из которых являются точность геодезической разбивки, изготовление конструктивных элементов, строительно-монтажные работы.

В процессе строительства моста на различных этапах неизбежно возникают ошибки положения различных конструктивных элементов, которые обусловлены погрешностями разбивки, изготовления и монтажа. С целью уменьшения влияния этих ошибок и повышения общей точности возведения сооружения необходима поэтапная корректировка положения элементов моста суть, которой заключается в уменьшении влияния ошибок предыдущих этапов работ при переходе к последующим. Решение задачи корректировки рассмотрены в работах [50, 78]. Смысл решения задачи сводится к отысканию нового положения элементов при условиях максимального соответствия проектным размерам и минимальных отклонений от действительного положения, полученного на предыдущем этапе. Для этого устанавливается зона варьирования элемента, ограниченная допуском, и определяется его оптимальное положение в этой зоне.

Методика поэтапной корректировки положения элементов моста базируется на методе динамического программирования с созданием микроблуждающей системы координат. А метод динамического программирования основан на идее

последовательного анализа вариантов с целью отыскания оптимального решения.

Исходными данными для решения задачи корректировки служат результаты исполнительной съёмки предшествующего этапа работ, проектные данные по сооружению и допустимые величины (допуски) корректирования, полученные в соответствии с расчётами элементов на прочность и устойчивость.

На рисунке 1.7 приведена схема корректировки положения центров опор моста на уровне обреза фундаментов в направлении оси мостового перехода.

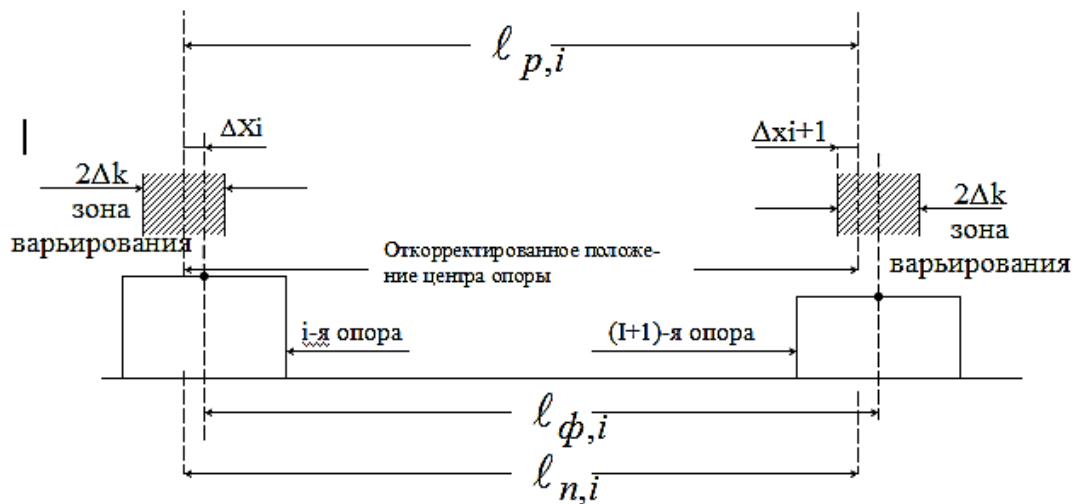


Рисунок 1.7 – Схема корректировки опор мостов

Корректировка центров опор выполняется в следующей последовательности:

– по результатам обмеров верхней поверхности фундаментов определяются фактические центры (C_i, C_{i+1}) опор моста, и между ними измеряются (непосредственно или косвенно) расстояния $(\hat{l}_{\phi,i}, \hat{l}_{\phi,i+1})$.

– составляется уравнение целевой функции в виде зависимости общей длины моста от расстояний между центрами опор

$$f_x = \sum_{i=1}^n f_i(l_{\phi}; l_n; l_p), \quad i=1,2,\dots,n, \quad (1.11)$$

где n – количество пролётов;

ℓ_ϕ, ℓ_n и ℓ_p – соответственно фактические, проектные и полученные по результатам корректировки расстояния между центрами опор.

Компоненты целевой функции находят из условий

$$\sum_{i=1}^n [\ell_{p,i} - \ell_{n,i}]^2 \Rightarrow \min, \sum_{i=1}^n [\Delta X_i]^2 \Rightarrow \min, \quad (1.12)$$

где ΔX – величина корректировки, подбираемая из условия $|\Delta X| \leq \Delta k$;

Δk – допуск корректировки.

Решением задачи корректировки положения центров опор служат числовые значения величин ΔX , на которые затем смещаются фактические центры опор. Новые положения центров опор закрепляются на поверхности фундамента. От этих точек выполняется разбивка тела опоры. В аналогичном порядке выполняется корректировка положения остальных частей опоры.

Решением задачи корректировки положения центров опор служат числовые значения величин ΔX , на которые затем смещаются фактические центры опор. Новые положения центров опор закрепляются на поверхности фундамента. От этих точек выполняется разбивка тела опоры. В аналогичном порядке выполняется корректировка положения остальных частей опоры.

Если в общем случае суммарная средняя квадратическая погрешность возведения опоры определяется из выражения

$$m_{\Sigma оп} = \sqrt{m_\phi^2 + m_{T.O}^2 + m_{Puz}^2 + m_{O.ч}^2}, \quad (1.13)$$

то при условии поэтапной корректировки

$$m_{\Sigma оп,к} = \sqrt{\left(\frac{m_\phi}{K_\phi}\right)^2 + \left(\frac{m_{T.O}}{K_{T.O}}\right)^2 + \left(\frac{m_{Puz}}{K_{Puz}}\right)^2 + \left(\frac{m_{O.ч}}{K_{O.ч}}\right)^2}, \quad (1.14)$$

где $m_{\phi}, m_{TO}, m_{Puz}, m_{B.ч}$ – соответственно СКП положения центра опоры на уровне фундамента, тела опоры, ригеля и опорных частей;

K – коэффициент корректировки на соответствующем этапе возведения опоры.

В общем случае коэффициент корректирования может быть вычислен по формуле

$$K = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (\Phi_i - \Pi_i)^2}{\sum_{i=1}^n (P_i - \Pi_i)^2} \right]^{\frac{1}{2}}, \quad (1.15)$$

где Φ_i, Π_i, P_i – соответственно фактический, проектный и откорректированный элемент (длины пролёта, положения центров фундаментов, тела опоры, опорных частей);

n – число элементов ($i = 1, 2, \dots, n$).

Предложенная методика корректировки не позволяет принимать оперативного решения в процессе строительства мостов (отсутствуют правила точного определения коэффициентов корректировки и реализация на компьютере) и контролировать вертикальность возводимых конструкций.

Геодезическое обеспечение и активный геодезический контроль процесса строительства мостов традиционными оптическими и электронными геодезическими приборами и методами достаточно трудоёмкие. Существенно повышается эффективность таких работ с применением лазерных приборов, задающих основные и вспомогательные оси сооружения световыми линиями и плоскостями, что позволяет перенести измерительные операции на строительные горизонты непосредственно к монтируемым элементам.

Перспективным является метод разбивочных работ при сооружении моста с использованием электронных тахеометров и приёмников ГНСС. Используя электронный тахеометр при сооружении опор моста, быстро и с высокой

точностью получают, например, фактические координаты центров опор на фундаменте, сравнивают их с проектными значениями, а затем рассчитывают фактические длины пролётов и получают другие данные, необходимые для поэтапной корректировки.

Контрольные операции по геодезическому обеспечению строительно-монтажных работ при возведении мостов относятся к особому виду геодезической продукции. Объём этих работ обширен, но их результаты лишь косвенно фиксируются в материалах исполнительных съёмок, а непосредственной продукцией являются геометрические параметры сооружений, которые обусловлены как качеством геодезического обеспечения, так и качеством изготовления и монтажа конструктивных элементов сооружения.

Результаты исследований долевого соотношения ошибок геодезических разбивок, изготовления конструктивных элементов и их монтажа, изложенные в многочисленных работах позволяют наметить основной путь обеспечения общей точности строительства, а именно – повышение точности монтажных операций. На их долю приходится основной объём дополнительных строительно-монтажных работ, связанных с устранением дефектов производства работ, большинство которых приходится на монтаж элементов фундамента и тела опоры.

Геодезическое обеспечение монтажных работ сводится к таким измерениям, как задание створа, линейные измерения, нивелирование, наблюдение за вертикальностью и прямолинейностью.

Выполнение перечисленных видов работ традиционными геодезическими способами обладает рядом недостатков, в частности, таких как эпизодичность контроля, оторванность наблюдателя от места производства монтажных работ. В определённой степени эти недостатки устраняются применением лазерных геодезических приборов. Исследования по лазерным геодезическим приборам и устройствам приведены в работах [12, 120, 200, 201]. Все типы лазерных приборов можно разделить на два вида:

- 1) лучевые приборы, в которых в качестве референтного направления

используется ось коллимирующего лазерного луча с помощью оптических формирователей;

2) дифракционные и интерференционные (по схеме опыта Юнга; с использованием многощелевых дифракционных решеток; зонных пластин и других средств когерентной оптики).

При возведении опор мостов существуют многокритериальные задачи, и в связи с этим возникает необходимость применения приборов многоцелевого назначения. Определённый интерес представляет лазерный теодолит (ЛТ) многоцелевого назначения [120], разработанный при участии автора, позволяющий задавать лазерные лучи любой ориентации и при этом формировать различные геометрические фигуры.

Устройство прибора показано на рисунке 1.8. Прибор состоит из основания 1, расположенного на нём корпуса 2. В корпусе последовательно установлены: лазерный источник света 3, коллимирующая система 4 и система оптических элементов 5, 7.

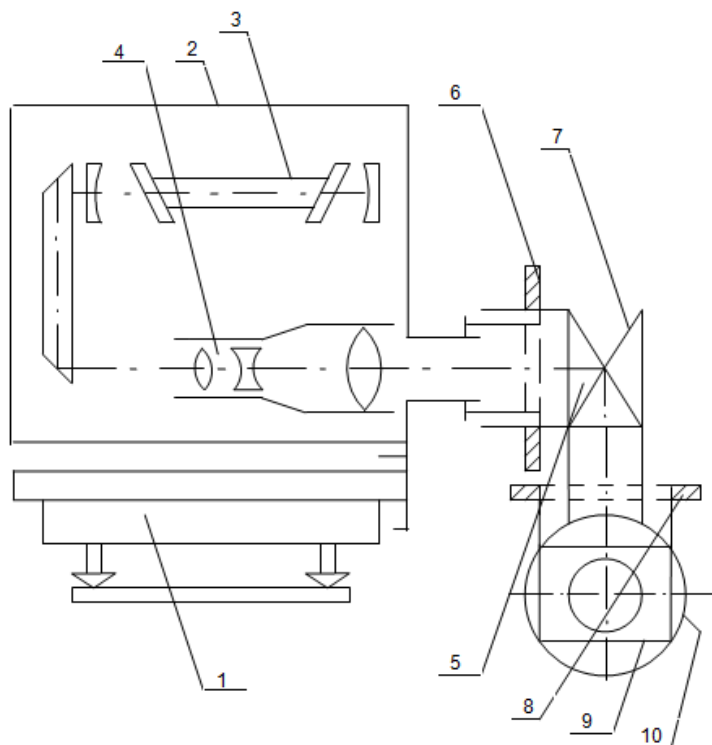


Рисунок 1.8 – Лазерный теодолит

Устройство работает следующим образом. Над базовой точкой

устанавливают теодолит. Определяют порядок и установочные данные для угломерных устройств 6, 8, 10. При этом на выходе лазерный луч опишет заданную фигуру с определенными геометрическими параметрами. Однако этот прибор имеет существенный недостаток – высокая нестабильность пространственного положения лазерного луча, обусловленная конструктивной схемой прибора и погрешностью осевой системы развёртки луча.

Основным достоинством лазерных геодезических приборов является оперативность получения информации и перенесение измерений от приборов непосредственно к месту производства монтажных работ.

Однако область применения лазерных приборов в мостостроении всё же ограничена и не позволяет решить полностью задачи обеспечения производства работ.

В связи с этим оптические и электронные методы измерения сохраняют свои позиции и остаются не менее важными в мостостроении. По этим причинам активный геодезический контроль точности производства монтажных работ должен основываться на разумном сочетании лазерных, оптических и электронных геодезических приборов. При этом лазерные геодезические приборы могут эффективно использоваться для контроля за состоянием свай опор мостов, надвигки пролётного строения на опоры при навесном и полунавесном способе монтажа.

Так как в настоящее время *технологии работ в мостостроении меняются*, поэтому необходимо *разрабатывать* и соответствующие *способы производства геодезических работ, позволяющие оперативно определять геометрические параметры объектов и принимать инженерные решения по корректировке их пространственного местоположения.*

1.5 Технология геодезических работ на железных дорогах, станциях и узлах

В инфраструктуру РЖД входят более одиннадцати тысяч железнодорожных станций. Железнодорожные станции представляют собой различные по

назначению и типам объекты инфраструктуры. Они должны обеспечивать непрерывный процесс перевозки грузов и пассажиров в условиях безопасности на железных дорогах.

Представляет собой достаточно сложный технологический процесс инженерно-геодезические изыскания на объектах железнодорожных станций.

В пределах путевого развития расположено значительное количество функциональных сооружений и устройств. При этом для сокращения сроков выполнения работ полевые работы могут одновременно выполнять несколько бригад.

Для повышения производительности и эффективности работ следует разрабатывать оптимальные методы геодезических работ с учётом специфики станции, сезона выполнения работ, расположение пунктов планово-высотного геодезического обоснования (ПВО).

Методики производства измерений должны сочетать в себе традиционные способы, использующие оптические приборы и современные геодезические средства измерений, такие как электронные тахеометры, цифровые нивелиры и приёмники ГНСС.

Нормативным документом для инженерно-геодезических работ на железнодорожных станциях и узлах при составлении технико-распорядительных актов (ТРА) служат методические указания для составления масштабных планов железнодорожных станций (ОАО «РЖД» 2008 г.) и методические указания для составления продольного профиля станций путей и перегонов (ОАО «РЖД» 2008 г.).

В Сибирском государственном университете путей сообщения (СГУПС) для выполнения данного вида работ разработана путеизмерительная тележка АПК «Профиль» с приёмником ГНСС [194].

Однако при модернизации железных дорог область её применения ограничена, так как необходимо определять координаты объектов, расположенных вне зоны основной площадки железных дорог и за пределами путевого развития. Кроме того применение путеизмерительной тележки вызывает

определённые трудности на действующих железнодорожных станциях когда на пути находится подвижной состав.

На протяжении длительного времени основными средствами для получения геометрических параметров рельсовой колеи в нашей стране были интегрированные путеизмерительные комплексы типа ЦНИИ-4 и КВЛ-П. Состав комплекса включал спутниковую аппаратуру ГЛОНАСС/GPS. Также в состав входил пакет специальных программ разработанных в научно-исследовательском и испытательном центре «Геоинформационные и спутниковые технологии железнодорожного транспорта» (МИИТ – НИИАС) [88, 93, 94, 95].

Автор диссертации принимал участие в выполнении инженерно-геодезических изысканий *на железнодорожных станциях ЗабЖД и ДвостЖД, при этом приходилось* проводить геодезические работы на расстояниях более 100 м от оси пути. Также возникала необходимость контролировать пространственное положение инфраструктурных объектов с помощью приёмников ГНСС. В ряде случаев приходилось выполнять работы в местной системе координат или в СК-42. *На Дальнем Востоке* наблюдаются значительные деформации геодезических сетей, поэтому необходимо создавать *специальные реперные сети*. Теоретическим разработкам и практическим рекомендациям по созданию реперных сетей посвящены работы сотрудников ВНИИЖТ, МГУПС, СГУПС [53, 183, 186, 194, 195].

В современном производстве используют несколько типов реперных систем, позволяющих контролировать плановое положение пути. Методы создания и схемы сетей опубликованы в работах [70, 203].

Наибольшее распространение получила так называемая европейская система. Для её создания используют опоры контактной сети, в которых расположены специальные реперные знаки. Также применяют два специализированных устройства (тележки) которые ориентируются в пространстве между собой с помощью системы позиционирования и лазерного излучения. В дальнейшем путерихтовочная машина по лазерному излучению определяет координаты расположения машины и стрелу прогиба. Эти данные

применяют для выполнения рихтовочных работ рельсовой колеи. В тоже время на точность производства работ негативное влияние оказывают многочисленные факторы, а именно: отклонение опор контактной сети от вертикали, смещение земляного полотна, невозможность створных измерений во время движения подвижного состава. Все эти фактора значительно снижают точность позиционирования объектов на железных дорогах.

Одной из главных задач бесперебойного функционирования сети железных дорог России является создания *пространственно-координированного банка данных*.

Применение геопространственных данных на железнодорожном транспорте является неотъемлемой частью процессов управления движением поездов и перевозок пассажиров и грузов. А также контролем за техническим состоянием железнодорожного пути при модернизации и эксплуатации железных дорог.

В РФ проектируется строительство высокоскоростных железнодорожных магистралей (ВСМ) со скоростями движения поездов до 350 км/ч.

Инвестиции в строительство ВСМ оцениваются в рамках от 564,9 до 1 261,6 млрд. рублей (в ценах 2007 года, без налога на добавленную стоимость и затрат на отвод земли).

Для задач геопространственного контроля при строительстве ВСМ проектируется создание высокоточной координатной системы (ВКС) [174]. Основой такой системы будет сеть постоянно действующих референционных базовых станций и сетевой центр, параметры которых совместимы с международными стандартами.

Целью создания ВКС является формирование единого высокоточного координатно-временного пространства. Система должна обеспечивать высокоточными координатными данными всех возможных пользователей.

В РФ нет опыта по созданию таких систем. Поэтому для стратегического развития транспорта необходимо использовать в качестве основы существующий мировой опыт. Для этих целей ОАО «Росжелдорпроект», ОАО НИИАС и ВНИИЖТ, МГУПС и другими организациями была разработана специальная реперная система контроля состояния железнодорожного пути в плане и профиле

на основе, которой был впервые выполнен пилотный проект по применению спутниковых технологий на железнодорожном транспорте [173].

Для обеспечения инженерных изысканий и ремонтно-строительных работ предусматривается построение опорной геодезической сети (ОГС). В этом случае возможно применение спутниковых и традиционных геодезических технологий. Кроме того в нашей стране (по разным источникам) более половины участков железных дорог являются не электрифицированными. Очевидно, что для данной категории дорог использование в инженерно-геодезических изысканиях спутниковых и традиционных технологий будет актуальным.

Поэтому для представления надёжных геопространственных данных при создании масштабных планов железнодорожных станций необходимо разрабатывать *методики производства геодезических работ, позволяющие учитывать специфику станций, климатические условия, количество объектов инфраструктуры.*

Выводы по разделу:

При исследовании материалов производственных работ, научных статей, нормативных документов по вопросам применения геодезии при проектировании, изысканиях, строительстве и эксплуатации объектов автомобильных, железных дорог и мостов были сформулированы следующие выводы и намечены пути решения возникающих геодезических задач.

1. В настоящее время отсутствует единая база данных методов инженерно-геодезических работ для автомобильных, железных дорог и мостов. Следовательно, необходимо разработать систему методов геодезических работ, базирующуюся на новой информационной основе.

2. Так как меняются технологии инженерных изысканий, проектирования и строительства автомобильных, железных дорог и мостов, поэтому необходимо разработать соответствующие им новые методы геодезического контроля:

- способ определения пространственной длины трассы, повышающий точность линейных измерений при проектировании и строительстве автомобильных дорог;
- способ определения геометрических параметров автомобильных дорог с использованием приёмников ГНСС позволяющий оперативно получать данные для обеспечения строительства и эксплуатации;
- методики производства геодезических работ, учитывающую специфику железнодорожных станций, климатические условия, количество объектов инфраструктуры с применением спутниковых и традиционных технологий;
- способы производства геодезических работ в мостостроении, позволяющие оперативно получать геопространственные данные и принимать инженерные решения по корректировке их пространственного положения;
- способ уточнения физической площади земельных участков для корректного определения площадей объектов автомобильных и железных дорог и водосбора.

2 РАЗРАБОТКА БАЗЫ ДАННЫХ МЕТОДОВ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ РАБОТ ДЛЯ ОБЪЕКТОВ ДОРОЖНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

2.1 Основные понятия формирования геопространственных данных для автомобильных дорог, железных дорог и мостов

В 2016 году в основном были завершены задачи по формированию банков геопространственных данных для их использования в системе государственных информационных ресурсов. В РФ на основании концепции развития инфраструктуры ГПД продолжают работы по наполнению системы различными метаданными и атрибутами [149].

Эффективное развитие территорий невозможно без наличия информационной системы (ИС), которая бы содержала подробные данные о таких объектах как автомобильные, железные дороги и мосты. Основу такой ИС составляет различные геодезические данные.

Геодезические данные (или геометрические параметры) являются частью геопространственных данных (ГПД), представляющих собой пространственно-координированные данные об объектах их формах и свойствах [38, 62].

ГПД – это основная часть геопространства. Одним из элементов геопространства будет пространство автомобильных и железных дорог. В настоящее время термин «транспортное пространство» означает взаимосвязь перевозчиков и получателей грузов [185]. В данном исследовании при изучении и моделировании пространства объектов автомобильных, железных дорог и мостов понимается методология получения координатных геодезических данных.

Пространство дорог, как разновидность геопространства, характеризуется протяженностью, динамичностью, структурностью, непрерывностью [62].

Протяженность пространства автомобильных и железных дорог – характеризуется территориальным охватом: международные транспортные коридоры, страны (дороги федерального назначения), населённого пункта, его части (железнодорожные пути предприятий).

Динамичность пространства характеризуется его постоянной изменчивостью и непрерывной связью со временем. Это позволяет, как исследовать и определить прошлое состояние рассматриваемого объекта, так и прогнозировать будущее состояние.

Структурность пространства проявляется в присутствии различных объектов в текущий временной отрезок. Объектами пространства могут быть конкретные участки железных и автомобильных дорог, мостов.

Непрерывность пространства характеризуется обязательным наличием в каждой его точке соответствующего объекта.

Геопространственная информация объектов включает топологию, геометрию и атрибутику. Необходимо учитывать динамичность, изменчивость данных.

ГИС является фундаментом управления транспортной информационной системой, позволяющей решать сложнейшие аналитические и практические задачи в области моделирования процессов в различных видах транспорта.

Сегодня ГИС все чаще выступают в роли инструмента при принятии инженерных и управленческих решений, так как аккумулируют в себе информацию об объектах и процессах и позволяют обрабатывать огромное количество данных [30, 31].

Геодезическое описание пространственного объекта и его картометрическое описание, обеспечивается цифровыми данными о различных системах координат, пунктах государственных и местных геодезических сетей, ЦММ.

Геоинформационные системы для автодорожного и мостового строительства относятся к прикладным ГИС, и они пока не столь широко известны в нашей стране. Однако ГИС, используемые при выполнении проектно-изыскательских работ, уже внедряются в производство. Наибольшее распространение получили программные продукты фирм «Кредо – Диалог» (Минск); «Росстройизыскания», «Autodesk» и других.

Одно из ведущих мест в нашей стране по применению ГИС-технологий в автодорожном строительстве занимает унитарное дорожное предприятие «Дортехнологии» г. Санкт–Петербурга [7].

Данная организация проектирует ремонт городских улиц и создаёт ГИС улиц проездов Санкт–Петербурга на основе технологии, базирующейся на комплексе программ фирмы Autodesk (AutoCAD Map+Soft Desk). Каждая из дорог любого класса и категории характеризуется большим количеством параметров (географических, экономических, технических, социальных и других), составляющих «паспорт» дороги. Большое количество динамически обновляющейся во времени информации о сети автомобильных дорог и для более эффективного планирования серьёзных объёмов инвестиций в строительство, ремонт и содержание дорог привело к необходимости создания комплексных автоматизированных систем управления дорожным хозяйством, проектирования ремонта и реконструкции автодорог.

Создание фонда электронных паспортов позволит решить следующие задачи:

- отображение на картографическом фоне текущего состояния городских улиц и проездов;
- комплексный технический учёт объектов дорожного хозяйства и благоустройства;
- анализ сложившейся ситуации и информационная поддержка принятия решений (в том числе оценка пропускной способности улиц, маршрутизации транспорта);
- просчёт вариантов проектирования строительства или ремонта и выбор наилучшего;
- учёт состава и объёма выполненных работ;
- выдачу материалов фонда в соответствии с инструкциями организациям.

Другая составляющая геопространственной информации представляет собой набор данных о пространственных объектах, полученные из государственных и муниципальных организаций.

К ГПД на железной дороге следует отнести объекты, расположенные на железнодорожном пути, железнодорожных станциях и узлах, в местах пересечения железных дорог с автомобильными дорогами, гидрологическими объектами, зданиями и сооружениями, находящимися в пределах полосы отвода [173].

Для формирования массива ГПД используют следующие геодезические технологии: различные виды картографических материалов; дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ); воздушное и наземное лазерное сканирование; автоматизированные методы наземных съёмки [62]. Так же могут применяться специализированные данные из автодорожной и железнодорожной отрасли.

Для формирования массива ГПД при изысканиях, строительстве и эксплуатации объектов автомобильных и железных дорог используются современные автоматизированные электронные тахеометры, спутниковые определения, наземное и воздушное лазерное сканирование.

Электронная тахеометрия в настоящее время является основополагающей технологией получения данных для дорог. В основном её применение рассматривают с позиций геодезических съёмочных работ. Поэтому следует разрабатывать методики применения электронных тахеометров, прежде всего, ориентируясь на специфику объектов транспортной инфраструктуры. В дальнейшем нами будут разработаны оригинальные способы производства геодезических работ с применением электронных тахеометров, позволяющие оперативно получать надёжную информацию при строительстве мостов и инженерно-геодезических изысканиях на железнодорожных станциях.

Метод с применением ГНСС приёмников широко используется в железнодорожном транспорте. Поэтому рассмотрим возможности этого метода в разделе 5.

Перспективным следует считать метод лазерного сканирования. В настоящее время существуют системы воздушного и наземного лазерного сканирования. При изысканиях линейных объектов с применением воздушных

систем не всегда достигается необходимая точность работ. Кроме того наземное сканирование представляется менее затратным.

Работа современных лазерных сканеров основана на измерении расстояния с помощью лазерного излучателя, который работает в импульсном режиме. Угол поле зрения современных наземных лазерных сканеров составляет 310° в вертикальной плоскости и до 360° в горизонтальной плоскости. Погрешность измерений определяется диапазоном от 5 мм до 5 см в зависимости от расстояния, отражающей способности поверхности и разрешения. Дальность действия сканеров находится в пределах - от 1 до 2 500 м [96]. В результате сканирования получается массив точек с пространственными координатами (облако точек), описывающее конфигурацию объектов сканирования.

Массивы точек, получаемые при сканировании, если существует необходимость создания векторной модели объектов, могут быть экспортированы в различные программные продукты для моделирования. Точность моделирования объектов может составлять до ± 2 мм [96, 186].

Метод наземного лазерного сканирования в настоящее время применяют при получении КД объектов железных дорог в ведущих организациях страны, ВНИИАС, ВНИИЖТ, МГУПС, СГУПС, ОАО «Росжелдорпроект». На данном этапе развития и сопутствующего программного обеспечения пока не удаётся достичь максимального эффекта в соотношении время работ, производительность, точность и качество материала. Значительную часть времени занимает процесс постобработки результатов измерений. При геодезических работах на железнодорожных станциях приходится выполнять измерения во время нахождения подвижного состава на пути, то есть применение сканера не даёт должного эффекта. Однако использование систем наземного лазерного сканирования позволяет получать пространственные 3D модели различных объектов, расположенных вне зоны путевого развития (вокзалы, депо и др.).

Одним из эффективных методов получения КД является дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ). В состав метода входят аэрокосмическая съёмка, а также последующая фотограмметрическая обработка полученных результатов.

Метод ДЗЗ используют при глобальном мониторинге транспортных объектов. Результаты обработки материалов ДЗЗ используют для наблюдения за движением транспортных потоков на автомобильных и железных дорогах, чрезвычайными ситуациями, строительством, управлением имуществом [173].

Дальнейшей задачей исследования будет разработка способов, позволяющих подучить надежные, и с достаточной степенью точностью определения ГПД (геометрические параметры) для автомобильных, железных дорог и мостов.

2.2 Разработка и исследование базы данных (базы знаний) методов геодезических работ

В современной науке существует множество определений термина «База данных». В общем случае это совокупность взаимосвязанных данных, организованная по определённым правилам и находящаяся в отношениях и связях между собой [50]. Под базой знаний понимается база данных, содержащая правила вывода и информацию о человеческом опыте и знаниях в некой предметной области.

В публикации [170] рассмотрена модель, в которой предложена структура для создания информационной системы автомобильных дорог. В статье предлагается иерархическое построение дорожной деятельности на основе использования различных метаданных и атрибутивов. При этом ГПД будут последовательно включать трёхмерные параметрические модели, календарное планирование и оценку, логистику транспортных потоков и физически изменяемые явления.

При этом, чем более точной и объективной будет информация, представленная в базе данных, тем более качественно в ней будет отражено действительное состояние объектов и взаимосвязь между ними. Значит, принимаемые решения будут более обоснованными и направленными на

реализацию цели и уменьшения степени риска и ошибок при принятии решений [61, 62].

В современной научной и производственной литературе отсутствует однозначное определение цели и задач при использовании различных баз данных в транспортной отрасли. Поэтому, разработка *новых баз данных (баз знаний) в области методов геодезических работ для объектов дорожной транспортной инфраструктуры является актуальной задачей для геодезии.*

Система знаний также является разновидностью систем, так как включает сбор хранение и обработку знаний. Методологические принципы базы данных в области контроля геометрических параметров при монтаже технологического оборудования предложены в работе [191].

На основе анализа многочисленных научных публикаций, нормативных документов, производственных материалов в диссертации была разработана база данных (база знаний) методов инженерно-геодезических работ для автомобильных, железных дорог и мостов (рисунок 2.1).

Основной целью при создании базы данных (базы знаний) будет геодезическое обеспечение принятия решений для выбора и оптимизации методов и технологий производства геодезических работ для автомобильных, железных дорог и мостов в условиях открытости и достоверности используемой информации. При принятии инженерных и управленческих решений используют различные методы.

При принятии решений, возможно, использовать, в том числе эвристический метод, основанный на новых методах производства геодезических работ и получения ГПД (геометрических параметров). Выбор методики и технологии геодезических работ обусловлен различными научно-производственными задачами.

Адекватность модели базы данных получают путём проверки качества (точности) получаемых геометрических параметров объектов дорожной инфраструктуры в соответствии с нормативными требованиями. К таким объектам могут быть отнесены продольные профили автомобильных и железных

дорог, электронные планы железнодорожных станций и координаты железнодорожного пути, исполнительные схемы мостов и др.

Разработанная база данных является поисковой, справочной, аналитической и базируется на *новой информационной основе*, так как:

- впервые создана единая база данных (база знаний) в области контроля геометрических параметров автомобильных, железных дорог и мостов. Достоверность приведённой информации гарантируется ссылками на источники информации и данными, опубликованными автором в научных статьях и патентах РФ на изобретения;

- приведён сравнительный анализ методов производства геодезических работ для различных объектов дорожной инфраструктуры;

- представлены разработанные автором новые научно обоснованные способы и средства для производства геодезических работ на стадиях изысканий, проектирования, строительства и эксплуатации инженерных сооружений (рисунок 2.2);

- позволяет в онлайн-режиме (интерактивно) принимать инженерные и управленческие решения по выбору геодезических методов работ.

Открытость» базы данных подтверждается размещением её на сайте <http://nik.kolbasoft.com>, а также возможность в дальнейшем дополнением информации пользователями (рисунок 2.3).

В настоящее время в РФ внедряют технологии информационного трёхмерного моделирования зданий BIM в области промышленного и гражданского строительства [147]. Поэтому при проектировании автомобильных дорог и для качественного получения ГПД необходимо учитывать пространственную длину трассы. Также следует определять пространственную длину при автоматизированном проектировании.

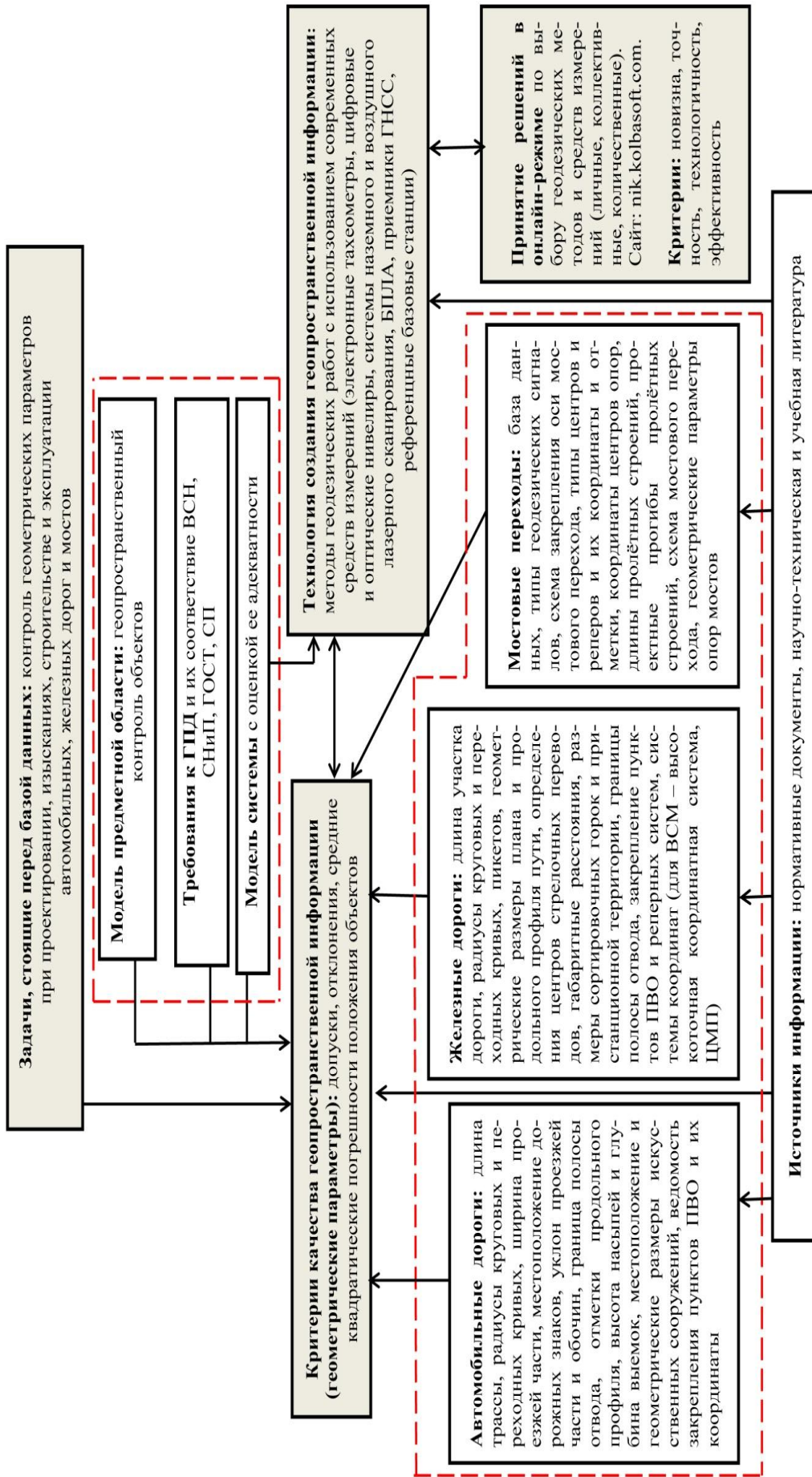


Рисунок 2.1 – База данных методов геодезического обеспечения дорожной транспортной инфраструктуры

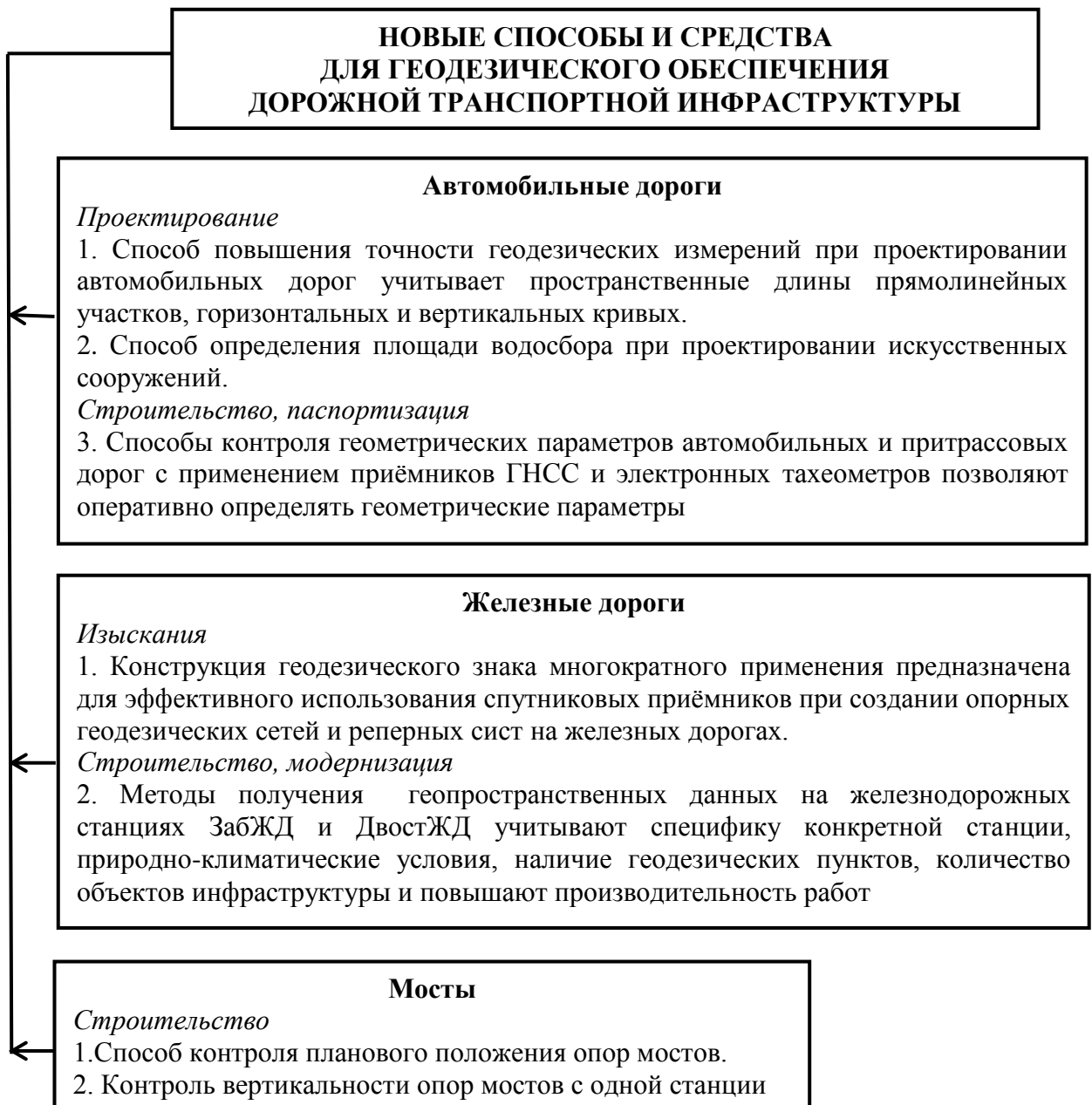


Рисунок 2.2 – Новые способы и средства инженерно-геодезических работ


В диссертационной работе разработан способ определения пространственной длины трассы на стадии проектирования автомобильных дорог, позволяющий повысить точность линейных геодезических измерений при выносе трассы на местность (стадия строительство).

В отличие от существующих способов, он позволяет определить пространственную длину трассы, учитывая при этом пространственные длины прямолинейных участков, горизонтальных и вертикальных кривых [146].

Для получения достоверной информации при проектировании искусственных сооружений предложен способ, определения площадей водосборных участков, позволяющий уточнять физическую поверхность территорий на основе учета продольных и поперечных углов наклона участков по взаимно-перпендикулярным направлениям [145].

НИКИТИН АНДРЕЙ ВЯЧЕСЛАВОВИЧ

кандидат технических наук, доцент



Главная
Общие положения
Инфраструктура геопространственных данных
Автомобильные дороги
Мосты
Железные дороги

Публикации
Программное обеспечение
Внедрение
Заключение

ОПТИМАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ ИНФРАСТРУКТУРЫ ГЕОПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ ДЛЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ И ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

В геоинформационной системе рассматриваются результаты многолетних научных и производственных исследований автора в области геодезических работ при проектировании, изысканиях, строительстве и эксплуатации инфраструктурных объектов

- Главная
- Общие положения
- Инфраструктура геопространственных данных
 - Транспортная система Российской Федерации
 - Инфраструктура геопространственных данных автомобильных и железных

Рисунок 2.3 – Сайт системы геодезического обеспечения дорожной транспортной инфраструктуры

Рассмотрены новые способы, контролируемые плановое положение при возведении опор мостов и определяющие крена конструкций с одной станции, позволявшие значительно повысить производительность при выполнении геодезических разбивочных работ [142, 143].

В базе данных приведены способы получения геопространственных данных на железных дорогах Дальнего Востока с применением приёмников ГНСС и электронных тахеометров. В результате приведённых исследований и обработки результатов измерений рекомендовано проектировать расстояние между пунктами

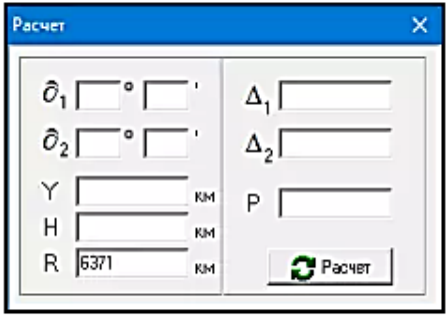
установки приёмников ГНСС на участках железных дорог в ходах планово-высотного обоснования в интервале 2 500 м – 3 500 м. Полученные результаты следует рекомендовать для ВКС при строительстве высокоскоростных магистралей (ВСМ) на железных дорогах.

В онлайн-режиме возможно определять физическую площадь земельных участков и площадь водосбора на основе разработанного автором способа (рисунок 2.4).

На способы и средства инженерно-геодезических работ получены пять патентов РФ на изобретения, тем самым подтверждая научную новизну результатов.

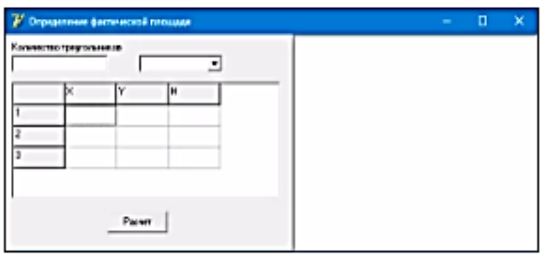
Программное обеспечение

[Программа определения фактической площади](#)



- Главная
- Общие положения
- Инфраструктура геопространственных данных
 - Транспортная система Российской Федерации
 - Инфраструктура геопространственных данных автомобильных и железных дорог
 - Контроль геометрических параметров автомобильных дорог
 - Технология геодезических работ на железных дорогах, станциях и узлах
 - Обеспечение геопространственными данными при определении площадей объектов автомобильных и железных дорог
 - Методы получения геопространственных данных в мостостроении
- Автомобильные дороги
 - Теория обеспечения геопространственными данными при определении площадей объектов автомобильных и железных дорог
 - Разработка теории и методов формирования геопространственных данных автомобильных дорог
- Мосты
- Железные дороги
- Публикации
 - Публикации Никитина А. В.
 - Список литературы
- Программное обеспечение
- Внедрение
- Заключение

[Программа определения площади](#)



[Контроль пространственного положения опор мостов](#)




Рисунок 2.4 – Определение физической площади в онлайн-режиме

2.3 Теория способа определения пространственной длины трассы при проектировании автомобильных дорог

В разделе 2.2 приведены аргументы необходимости учёта протяжённости пространства для получения качественных ГПД при проектировании автомобильных дорог.

Поэтому следует определить, достаточна ли точность геодезических работ, регламентируемая нормативными документами при проектировании, строительстве и эксплуатации автомобильных дорог для линейных измерений. В соответствии с [32] допустимая погрешность измерений должна быть не более:

- на стадии изысканий для строительства (в ходах геодезической съёмочной сети) для новых автомобильных дорог $1/2\ 000$ ($1/1\ 000$ в трудных условиях пересечённой и горной местности);

- на стадии строительства (полевое трассирование) автомобильных дорог $1/2\ 000$ ($1/1\ 000$);

- на стадии реконструкции (ходы съёмочной геодезической сети при изысканиях для реконструкции и расширения) автомобильных дорог $1/2000$;

- на стадии эксплуатации (линейные измерения при разбивке пикетажа) автомобильных дорог $1/2\ 000$.

Такая точность измерений достаточно легко достигается современными геодезическими приборами (электронные тахеометры, приёмники ГНСС). При этом на стадии изысканий и проектирования составляют план и продольный профиль трассы, в котором используют горизонтальные проложения линий, а не пространственные длины (рисунок 2.5). Этот вопрос был рассмотрен в разделе 1. Причём в этих документах не учитывают пространственные длины горизонтальных и вертикальных кривых.

При выполнении паспортизации автомобильных дорог погрешность измерения протяжённости участков автомобильных дорог должна быть $1/10\ 000$ [177]. Под протяжённостью понимается расстояние между начальной и конечной точками дороги определённое как полусумма длин пространственных траекторий

движения автомобиля в прямом и обратном направлениях. Для обоснования такой точности необходимы дополнительные комментарии разработчиков.

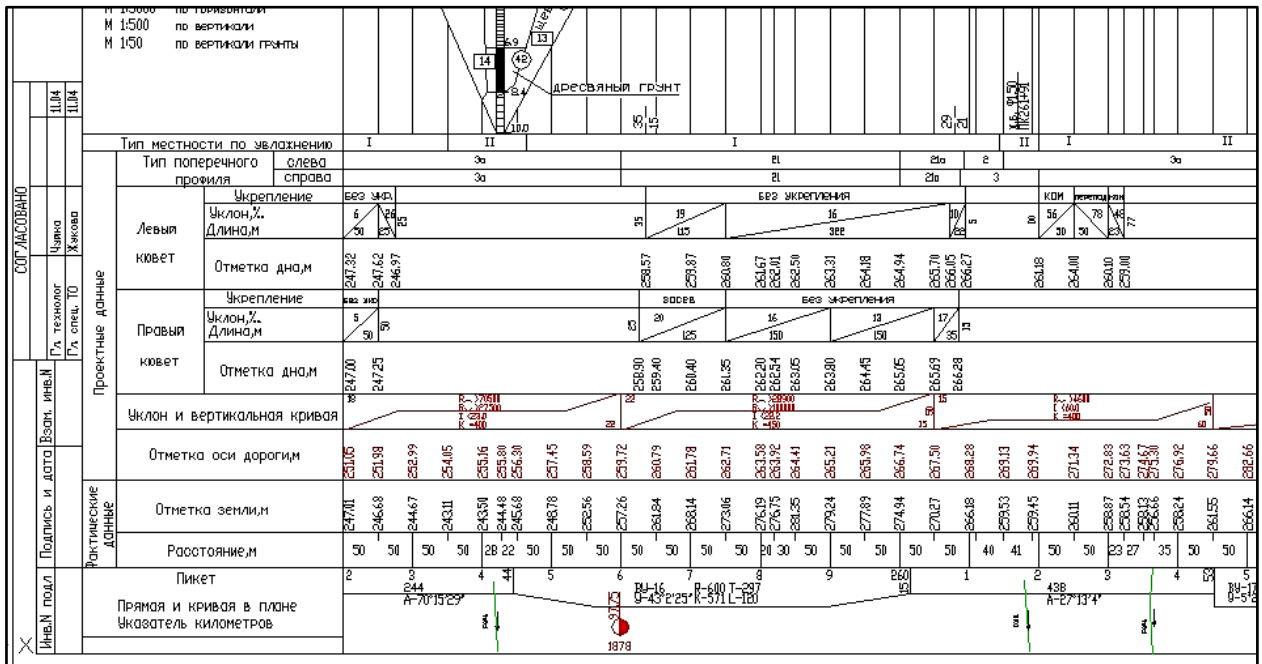


Рисунок 2.5 – Продольный профиль автомобильной дороги

Для обоснования необходимости учёта пространственной длины при проектировании автомобильных дорог в работе выполнено исследование и проведён научный анализ доказывающий степень влияния на пространственную длину трассы прямолинейных участков, горизонтальных и вертикальных кривых. При этом в качестве производственных материалов использовали продольный профиль и план трассы, разработанный ОАО «Иркутскгипродорнии» по федеральной автодороге «Амур» на участке 459–469 км в Забайкальском крае. Эта федеральная дорога относится к III категории. На основании требований СНиП [159] наибольшие продольные должны быть: основные – 50 %, в пересечённой местности – 60 %. На исследуемом участке автомобильной дороги продольные уклоны находятся в пределах от 30 % до 60 %. Это обусловлено сложным рельефом местности. При этом относительная погрешность (точность линейных измерений) в неопределения пространственной длины трассы принимает значение

от 1/860 до 1/1514 (нормативное значение 1/2000). Полученные данные приведены в таблице 2.1.

Также была определена пространственная длина трассы для участка автомобильной дороги «Раздольное – Хасан» в Приморском крае. Материалы предоставлены Хабаровским филиалом «Гипродорнии». Для горизонтальной трассы между 1 878 км и 1 881 км, длиной в 3 000 м пространственная трасса составила 3 003,57 м. Максимальные продольные уклоны имели значения в 60 ‰. Относительная погрешность составила 1/840.

Т а б л и ц а 2.1 –Точность определения пространственной длины трассы

Участок, км	Длина прямых участков, м	Длина вертикальных кривых, м	Длина горизонтальных кривых, м	Пространственная длина, м	Относительная погрешность
459 – 461+800 (2 800 м)	1 000,60	800,45	1 000,80	2 801,85	1/1514
461+ 800 – 466 +307,11 (4 507,11 м)	2 408,15	891,06	1 212,79	4 512	1/922
466+307,11– 469 (2 692,89 м)	1 231,57	464	1 000,45	2 696,02	1/860

В абсолютных величинах (в метрах) разница между горизонтальной и пространственной длиной не представляется критической. *Вместе с тем полученные результаты свидетельствуют о том, что для автомобильных дорог III категории при неучёте пространственной длины, точность геодезических измерений при выносе трассы (стадия строительства) на местность будет значительно меньше нормативных требований (на 40 – 60 ‰).*

В реальных производственных условиях нельзя сделать однозначный вывод, каким образом такая неточность в измерениях повлияет на неправильное определение местоположения инженерных объектов. Возможны случаи, когда при

больших продольных уклонах дорог в холмистой местности не корректное определение в положении водопропускной трубы даже на 1 – 2 м может значительно изменить и величину стока воды, и режим работы трубы. А это приведёт к аварийной ситуации.

В связи с этим необходимо для повышения точности геодезических измерений учитывать пространственную длину трассы. Эта поправка в соответствии с принципами теории математической обработки геодезических измерений будет считаться систематической ошибкой. То есть на стадии проектирования автомобильных дорог необходимо внести соответствующие изменения в продольный профиль. Технически задача по определению пространственной длины трассы решается и при 3 D проектировании.

Для аналитического решения поставленной задачи разработаем методику учёта пространственной длины трассы на стадии проектирования.

Вопросы, связанные с теорией и практикой автоматизированного проектирования автомобильных дорог рассмотрены в работах Бойкова В. Н., Величко Г. В., Пуркина В. И., Скворцова А. В., Федотова Г. А. и др.

Проектирование плана и продольного профиля автомобильных дорог выполняют с помощью двух методов полигонального трассирования и сплайн трассирования [8].

Наибольшее распространение получили программные продукты «Credo – Дороги» и «IndorCAD/ROAD» [13,14].

Полигональное (классическое) проектирование осуществляется, как правило, для новой автомобильной дороги. При этом применяют круговые кривые, клотоиды, кубические параболы, дуги цепных линий и их эквидистанты. Сплайн трассирование проводят при реконструкции или паспортизации участков дорог. Для этого применяют сплайн 1 и 3-степени, кубические сплайны, кривые Безье и др. Целесообразность применения различных методов обусловлена соответствующими расчётами и сравнительным анализом данных.

Одной из главных целей проектирования продольного профиля является получение оптимальных геометрических параметров автомобильной дороги, влияющих на эксплуатационные показатели.

Проектирование продольного профиля осуществляется на основе классического и сплайнового метода. В технологии, использующий метод проектирования на основе сплайнов осуществляется оптимизации при принятии решений. При этом осуществляется учёт различных ограничений при автоматическом проектировании и «сглаживании» сплайнов.

Автоматизированное проектирование позволяет выполнить визуальную оценку результатов в онлайн-режиме и определить пространственную видимость, отсутствие изгибов в плане и профиле и другие параметры.

Ведущими производителями и разработчиками автоматизированных систем для автомобильных дорог в РФ «Credo – Дороги» и «IndorCAD/Road» для визуализации при принятии решений предложен соответствующий модуль трёхмерной визуализации, позволяющий в реальном режиме времени представить автомобильную дорогу со всеми инфраструктурными объектами.

Актуальность определения пространственной длины трассы на основе современных автоматизированных методов показана в работе [39].

В связи с этим в диссертационной работе предлагается на стадии составления проекта определять фактическую (пространственную) длину трассы и относительно этой величины выполнять все последующие расчёты. Для чего в продольный профиль трассы следует ввести дополнительно две графы – «фактические расстояния» и «фактические пикеты и километры», где будут приведены вычисленные значения фактических длин отрезков, определённых по соответствующим горизонтальным проложениям из графы «расстояния» и проектным уклонам. На основе фактических длин получают значения в графе фактического пикетажа и километража.

Формулы для перехода от горизонтальных проложений линий к их фактической длине поясняются на рисунке 2. 4, а вывод формул выполнен в работах автора [103, 114, 108, 118, 124, 146].

На рисунке 2.6 d – горизонтальное проложение линии; D_{Π} – фактическая длина линии; h – проектное превышение.

Фактическая длина будет равна

$$D_{\Pi} = \sqrt{d^2 + h^2} = \sqrt{d^2 + (id)^2} = d\sqrt{1 + i^2}, \quad (2.1)$$

где i – проектный уклон линии.

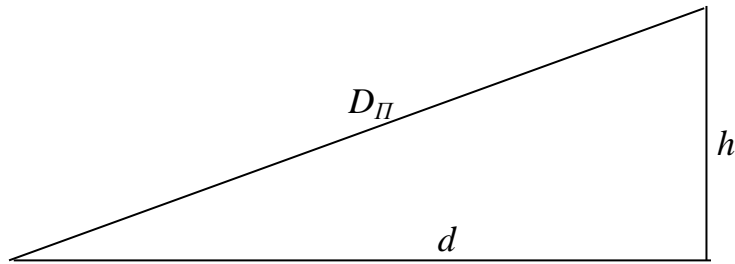


Рисунок 2.6 – Определение пространственной длины трассы

Пространственные длины горизонтальных кривых находят из выражения

$$(ГК)_{\Pi} = GK\sqrt{1 + i^2}, \quad (2.2)$$

где $(ГК)_{\Pi}$ – пространственная длина горизонтальной кривой;

GK – горизонтальная длина кривой.

Длина вертикальной кривой определяется по формулам:

$$\begin{aligned} (BK)_{\Pi} &= R\Delta i, \\ (BK)_{\Pi} &= \theta R / \rho, \end{aligned} \quad (2.3)$$

где R – радиус вертикальной кривой;

Δi – алгебраическая разность уклонов сопрягающихся кривых;

θ – вертикальный угол поворота.

Длина вертикальной кривой, полученная из расчетов, является ее фактической длиной, которая и заносится в графу «фактические расстояния» продольного профиля и учитывается в расчете фактического пикетажа и километража по трассе.

Пространственную (фактическую) длину трассы находят так

$$L_{\phi} = \sum(D)_{\Pi} + \sum(ГК)_{\Pi} + \sum(БК)_{\Pi}, \quad (2.4)$$

где L_{ϕ} – фактическая (пространственная) длина трассы;

$\sum(D)_{\Pi}$, $\sum(ГК)_{\Pi}$, $\sum(БК)_{\Pi}$ – суммы пространственных длин прямолинейных участков, горизонтальных и вертикальных кривых.

По формуле (2.4) определяют фактическую (пространственную) длину трассы. В РФ при автоматизированном проектировании плана и продольного профиля для автомобильных дорогах используют следующие виды кривых [13, 14, 187, 189]:

- а) план – круговая кривая, клотоида, сплайн, кривые Безье;
- б) профиль – параболы, клотоиды, сплайн, кривые Безье, дуги цепных реакций и др.

В случае применения круговых кривых их длины вычисляются по известным методикам, а в случаях применения сложных кривых с помощью методов численного интегрирования.

Для построения математической модели трассы рассмотрим наиболее общие случаи, в которых использовали различные геометрические кривые, рассмотренные в работе автора [63, 125, 127].

Формулы для вычисления простых круговых кривых определяются в соответствии с нормативными документами. Формулы для вычисления сплайнов и кривых Безье приведены в работах [8, 13, 14, 189].

Вариант 1 включает прямолинейный участок, круговую кривую и вертикальную круговую кривую (в основном данные построения применяются при проектировании нового участка автодороги на основе тангенциального хода)

$$L_{\phi} = \sum d\sqrt{1+i^2} + \sum \left(\frac{\pi R \alpha}{180} \sqrt{1+i^2} \right)_{\Pi} + \sum (R_B \Delta i)_{\Pi}, \quad (2.5)$$

где L_{ϕ} – фактическая длина трассы;

R_B – радиус вертикальной кривой;

α – угол поворота.

Вариант 2 включает прямолинейный участок, круговую кривую, переходную кривую и вертикальную кривую (парабола)

$$L_{\phi} = \sum d\sqrt{1+i^2} + \sum \left((2L + \frac{\pi R(\alpha - 2\beta)}{180}) \sqrt{1+i^2} \right)_{\Pi} + \sum (BK)_{\Pi}, \quad (2.6)$$

где β – угол между касательной в конце переходной кривой и тангенсом;

L – длина переходной кривой (клотоиды), определяется из известного выражения

$$L_{\Pi} = \frac{A^2}{R}, \quad (2.7)$$

где A – параметр клотоиды;

R – радиус кривой в точке сопряжения с клотоидой.

Каноническое уравнение квадратичной параболы получают так:

$$y = \frac{x^2}{2R}. \quad (2.8)$$

Длина параболы будет равна

$$L_{\Pi} = \int_a^b \sqrt{1 + f'(x)^2} dx = \int_a^b \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} dx = \int_a^b \sqrt{1 + \left(\frac{x}{R}\right)^2} . \quad (2.9)$$

Фактическая длина кривой определится из выражения

$$L_{\phi} = \sum d \sqrt{1 + i^2} + \sum \left(\left(2 \left(\frac{A^2}{R} \right) + \frac{\pi R (\alpha - 2\beta)}{180} \right) \sqrt{1 + i^2} \right)_{\Pi} + \sum \left(\int_a^b \sqrt{1 + \left(\frac{x}{R} \right)^2} \right)_{\Pi} . \quad (2.10)$$

Вариант 3 включает прямолинейный участок, сплайн и параболу:

В качестве сплайна используем кубический сплайн [13]. В настоящее время разработано большое количество программ для построения и расчета на ЭВМ кубических сплайнов. Это связано с тем, что данные виды кривых достаточно легко интерполировать на различные поверхности, в том числе и на продольный профиль автомобильных дорог. Применение сплайнов эффективно использовать для определения пространственной длины трассы. Сплайн-функцию можно определить из выражения

$$S_i(x) = a_i + b_i(x_i - x_{i-1}) + c_i(x_i - x_{i-1})^2 + d_i(x_i - x_{i-1})^3, \quad x_{i-1} \leq x \leq x_i \quad (2.11)$$

где a, b, c, d – коэффициенты сплайна, определяемые из дополнительных условий.

В этом случае длину трассы определяют по формуле

$$L_{\phi} = \sum d \sqrt{1 + i^2} + \sum \left(a_i + b_i(x_i - x_{i-1}) + c_i(x_i - x_{i-1})^2 + d_i(x_i - x_{i-1})^3 \right)_{\Pi} \sqrt{1 + i^2} + \\ + \sum \left(\int_a^b \sqrt{1 + \left(\frac{x}{R} \right)^2} \right)_{\Pi} . \quad (2.12)$$

Вариант 4 включает прямолинейный участок, сплайн-кривая, круговая кривая и переходная кривая (парабола)

$$L_{\phi} = \sum d\sqrt{1+i^2} + \sum (a_i + b_i(x_i - x_{i-1}) + c_i(x_i - x_{i-1})^2 + d_i(x_i - x_{i-1})^3)_{\Pi} \sqrt{1+i^2} + \sum \left(\left(2\left(\frac{A^2}{R}\right) + \frac{\pi R(\alpha - 2\beta)}{180} \right) \sqrt{1+i^2} \right)_{\Pi} + \sum \left(\int_a^b \sqrt{1 + \left(\frac{x}{R}\right)^2} \right)_{\Pi}. \quad (2.13)$$

2.4 Оценка точности определения пространственной длины трассы

В диссертационной работе были выполнены математические расчёты и проведено моделирование для оценки точности определения пространственной длины трассы. В качестве математической модели была принята трасса автомобильной дороги протяжённостью 10 км и имеющая максимальные предельные уклоны для автомобильных дорог соответствующих категорий. На участки дороги были расположены три вертикальные кривые. Результаты, показывающие разность между горизонтальной и пространственной длиной вертикальной кривой приведены в таблице 2.2. В таблице 2.3 показаны данные точности линейных геодезических измерений по определению пространственной длины трассы.

В представленной геометрической модели использовались круговые кривые в качестве горизонтальных и вертикальных кривых. В случае применения парабол, клотоид, сплайнов, кривых Безье методология способа и принцип вычислений не будут принципиально изменяться. Кроме того длина круговой кривой меньше, чем длины сложных кривых, то соответственно и разность между пространственной длиной трассы и горизонтальным проложением будет увеличиться по сравнению с круговой кривой.

Приведённые расчёты, моделирование и производственные материалы доказывают необходимость учёта пространственной длины трассы при

проектировании автомобильных дорог. Так как данные продольного профиля служат основой для выноса трассы на местность, то неправильное определение длины трассы на стадии проектирования для автомобильных дорог III – V категорий, будет значительно превышать погрешность линейных измерений и не соответствовать нормативным значениям ($1/2000$).

Средняя квадратическая погрешность (СКП) определения длины трассы на основании формулы (2.1) будет равна

$$m_{D_n} = \sqrt{m_d^2 (\sqrt{1+i^2})^2 + m_i^2 \left(\frac{di}{\sqrt{1+i^2}} \right)^2}. \quad (2.14)$$

Т а б л и ц а 2.2 – Расчёт пространственной длины вертикальных кривых

Алгебраическая разность уклонов Δi , ‰	Вертикальные углы поворота θ , ° ' "	Радиус, м	Тангенс, м	Кривая, м	Горизонтальная длина кривой, м	Разность между пространственной и горизонтальной длиной кривых, м
36	2 03 46	10 000	180	359,99	359,94	0,05
40	2 17 30	10 000	200	399,97	399,92	0,06
72	4 07 30	5 000	180	359,95	359,77	0,12
80	4 35 00	5 000	200	399,94	359,71	0,23
100	5 43 45	5 000	250	499,93	499,38	0,55
120	6 52 30	5 000	300	599,91	598,92	0,99
140	8 01 00	3 000	210	419,72	418,97	0,85

После преобразования получим

$$m_{D_n} = \sqrt{m_d^2 (1+i^2) + m_i^2 \left(\frac{di}{\sqrt{1+i^2}} \right)^2}, \quad (2.16)$$

где m_{D_n} , m_d , m_i – СКП определения пространственной дины трассы, горизонтального проложения линий, уклонов.

Т а б л и ц а 2.3 –Точность определения пространственной длины трассы

Продольный уклон, ‰	Горизонтальная длина трассы, м	Пространственная длина трассы, м	Пространственная длина вертикальных кривых, м	Итоговая пространственная длина трассы, м	Относительная погрешность
50	10 000	10 012,49	1,65	10 014,14	1/707
60	10 000	10 017,98	2,55	10 020,53	1/487
70	10 000	10 024,47	2,97	10 027,44	1/364

При уклонах более 50 ‰ $m_{D_n} = 3$ м (для расчётной модели, таблица 2.3). Следовательно, надо учитывать пространственную длину как систематическую погрешность для последующих разбивочных работ. В соответствии с рекомендациями Конусова В. Г. [68] как коэффициент систематического влияния.

Из-за не корректного определения длины трассы сметная стоимость строительства будет занижена, в особенности таких работ, как возведение земляного полотна, верхнего строения пути и дорожной одежды. В практике строительства несоответствие объёмов работ компенсируется по статье сметы «непредвиденные расходы», составляющих не более 5 %. При этом разница в стоимости, возникающая в результате неучёта фактической длины трассы не может быть компенсирована за счёт дополнительных расходов, так как это является не корректным. В современных условиях становится очевидным необходимость более точного и правильного определения объёмов работ.

При выполнении инженерно-геодезических изысканий на автомобильных дорогах применяют современные геодезические средства измерений и технологии, обеспечивающие точность измерения длины трассы не ниже $1/5\ 000$. Поэтому очевидно, что необходимо учитывать пространственную длину трассы на стадии проектирования и строительства автомобильных дорог III – V категорий. В конкретных производственных случаях возможно составление специальных разбивочных данных взятых с продольного профиля для выноса трассы на местность (при больших уклонах).

Для решения данных вопросов требуются внести изменения в нормативную базу дорожной отрасли. Это должно определять инновационное развитие для задач по совершенствованию строительных норм и правил при проектировании автомобильных дорог. Своевременность решения данных задач будет определяющим для повышения безопасности дорожного движения.

Выводы по разделу:

Разработана система (база знаний) методов инженерно-геодезических работ для автомобильных, железных дорог и мостов. Система является «открытой» и достоверной, а также позволяет принимать инженерные и управленческие решения при выборе геодезических способов и средств измерений в зависимости от решаемых научно-производственных задач.

Кроме того она даёт возможность в онлайн-режиме принимать решения по выбору геодезических методов работ.

Проанализированы производственные материалы для обоснования необходимости учёта пространственной длины трассы для повышения точности геодезических измерений. *Доказано что, для автомобильных дорог III – V категории при неучёте пространственной длины, точность линейных измерений при выносе трассы (стадия строительства) на местность будет значительно меньше нормативных требований (на 40 – 60 %).*

Выполнено математическое моделирование учёта пространственной длины трассы на основе предложенных теоретических постулатов.

В связи с этим необходимо для повышения точности геодезических измерений учитывать пространственную длину трассы. Эта поправка в соответствии с принципами теории математической обработки геодезических измерений будет считаться систематической ошибкой. То есть на стадии проектирования автомобильных дорог необходимо внести соответствующие изменения в продольный профиль.

В конкретных производственных случаях возможно составление специальных разбивочных данных взятых с продольного профиля для выноса трассы на местность (при больших уклонах).

3 ТЕОРИЯ СПОСОБА ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ВОДОПРОПУСКНЫХ СООРУЖЕНИЙ

3.1 Теория способа определения физической площади земельных участков для автомобильных, железных дорог и мостов

В разделе 1.3 приведены способы определения физической поверхности земельных участков. Также в монографии [139] предложено определять физическую площадь участков по треугольникам из пространственных координат его вершин, для чего используется основная формула аналитической геометрии

$$P_{\phi} = \frac{1}{2} \sqrt{\begin{vmatrix} x_1 & y_1 & 1 \\ x_2 & y_2 & 1 \\ x_3 & y_3 & 1 \end{vmatrix}^2 + \begin{vmatrix} y_1 & z_1 & 1 \\ y_2 & z_2 & 1 \\ y_3 & z_3 & 1 \end{vmatrix}^2 + \begin{vmatrix} z_1 & x_1 & 1 \\ z_2 & x_2 & 1 \\ z_3 & x_3 & 1 \end{vmatrix}^2}, \quad (3.1)$$

где x_i, y_i, z_i – пространственные координаты вершин треугольника.

Общим недостатком всех способов определения физической площади земельных участков по пространственным треугольникам является то, что они не могут в полном объёме определять площади сложных и криволинейных объектов. Способы треугольников применимы лишь в случаях, когда границами участка являются прямые линии. Но при определении площадей, площадей водосборов часто границы участков криволинейные и аппроксимировать их сетью треугольников не всегда возможно. Кроме того, по данной формуле, как и по всем существующим методам, определяется не физическая, а пространственная площадь. Вместе с тем все существующие формулы для определения физической площади (например, формула 5.17 [139] или способы, рассмотренные в работе [20]) применимы для участков имеющих небольшие уклоны (спокойный рельеф), а для участков с уклонами более 5° они не корректны.

Учитывать рельеф при определении площадей земельных участков в той или иной форме предпринимались ранее. В настоящее время для решения различных инженерных задач для определения пространственной площади земель по цифровой модели местности (ЦММ) применяют различные программные продукты (Credo – Dialogue, IndorCAD, MapInfo, Robur и др.). В моделях подразумевают приближение исходной или проектной физической поверхности нерегулярной или регулярной сетью пространственных треугольников.

В каждом из случаев плотность сети этих треугольников определяется требованиями точности решения той или иной задачи. В силу этого расчёт пространственной площади описываемых участков исходной или проектной поверхности выполняется путём суммирования площадей того подмножества пространственных треугольников, которыми представлены модели этих участков. Это обеспечивает определённую точность подсчёта площадей моделей физических поверхностей.

Для решения инженерных задач, в том числе и для целей земельного кадастра необходим универсальный способ определения площадей, позволяющий с максимальной степенью приближения определять физическую площадь земельных участков.

В диссертации разработан способ предназначенный для определения площади, изложенный в работах [113, 115, 116, 145]. Суть его применения заключается в том, что он уточняет физическую площадь земельных участков путём аппроксимирования территории системой, включающей продольные и поперечные углы наклонов участка по взаимно-перпендикулярным направлениям. За счёт этого достигается максимальная степень приближения к физической поверхности. При этом получают 2D модель физической поверхности. Предложенный способ, возможно, использовать для земельных участков любой конфигурации, в том числе для объектов в виде треугольников и n-угольников. На основе предложенной математической модели в диссертации разработаны методики для определения физической поверхности по ЦММ.

Методика применения способа, уточняющего физическую площадь земельных участков, включает следующую последовательность действий.

В зависимости от сложности рельефа участка его разделяют на участки или секции, имеющие примерно одинаковый уклон.

После чего необходимо определить средние значения для продольных и поперечных углов наклона участка по взаимно-перпендикулярным направлениям. Для определения физической площади используют следующую зависимость

$$P_{\phi} = \frac{P_{\text{Э,Н}}}{\cos v_1 \cdot \cos v_2} \quad (3.2)$$

или

$$P_{\phi} = P_{\text{Э,Н}} + \Delta P_{\phi},$$

$$\Delta P_{\phi} = P_{\text{Э,Н}} \left(\frac{1}{\cos v_1 \cdot \cos v_2} - 1 \right), \quad (3.3)$$

где P_{ϕ} – физическая площадь участка или секции;

$P_{\text{Э,Н}}$ – площадь, исправленная за переход на поверхность эллипсоида и за переход к поверхности, отнесенной к средней нормальной отметке участка;

ΔP_{ϕ} – поправка к площади за рельеф;

v_1 – значение продольного угла наклона земельного участка или его секции;

v_2 – значение поперечного угла наклона земельного участка или его секции.

Средние углы наклона находят из соотношений:

$$v_1 = \frac{\sum v_{np}}{n} \text{ и } v_2 = \frac{\sum v_{non}}{n}, \quad (3.4)$$

где $\sum v_{np}$ – сумма продольных углов наклона;

$\sum v_{non}$ – сумма поперечных углов наклона;

n – число углов (или линий).

Формулу (3.2) получают с использованием метода эквивалентной замены (метод многоугольника). Земельный участок произвольной формы с определённой геодезической площадью P_r может быть представлен прямоугольником с той же площадью и сторонами a и b . Тогда площадь прямоугольника на горизонтальной плоскости $P_r = a b$. На местности стороны прямоугольника A и B имеют углы наклона продольный $-\nu_1$ и поперечный $-\nu_2$. Площадь наклонного прямоугольника, принимаемая за физическую будет равна

$$P_\phi = A \times B = \frac{P_r}{\cos\nu_1 \cdot \cos\nu_2}. \quad (3.5)$$

Количество и величина линий будет определяться конкретными размерами участков и частотой изменения форм рельефа. Соответственно, меньшие по площади участки будут аппроксимированы с большей точностью. Поэтому большие по площади участки следует разделять на секции, имеющие достаточно однородный продольный и поперечный уклон [92].

В общем виде для уточнения физической площади земельных участков сначала геодезическую площадь необходимо измерить на топографических картах, а затем внести поправки, учитывающие переход на поверхности эллипсоида и средней нормальной отметки участка.

Алгоритм определения физической площади земельного участка следующий:

1. Переведём геодезическую площадь P_r , определённую на топографических картах на поверхность эллипсоида P_ϕ по известной формуле [86, 140]

$$P_\phi = P_r \cdot \left(1 - \frac{y^2}{R^2}\right), \quad (3.6)$$

где R – радиус эллипсоида для данной широты, который при вычислении поправки принимают приближённым и равным 6371,1 км;

y – средняя ордината участка (расстояние от осевого меридиана).

2. С поверхности эллипсоида переведём P_{ϑ} на поверхность относимости на высоте средней нормальной отметки участка P_H следующим образом

$$P_H = P_{\vartheta} \left(1 + \frac{2H}{R} \right), \quad (3.7)$$

$$\text{или } P_H = P_{\vartheta} + \Delta P_H,$$

где $\Delta P_H = P_{\vartheta} \frac{2H}{R}$;

ΔP_H – поправка за переход с поверхности эллипсоида на поверхность средней нормальной отметки участка;

H – средняя нормальная отметка участка.

В ряде публикаций поправка ΔP_H учитывается как поправкой за рельеф. В реальности эта поправка учитывает возвышение над поверхностью эллипсоида (то есть отметка).

При перемещении поверхности эллипсоида на уровень средней нормальной отметки участка поверхность относимости также будет для участка горизонтальной, проведённой на этой отметки.

Данная поправка не сможет полностью определить физическую (фактическую) площадь земельного участка. Это объясняется тем, что участок характеризуется различными формами рельефа (овраг, холм, котловина) которых не учитывают для определения площадей.

3. Подставляя значение P_{ϑ} в формулу (3.7), получим соотношение $P_{\vartheta, H}$, учитывающее совместное влияние поправок

$$\begin{aligned}
 P_{\text{э.н}} &= P_r \cdot \left(1 - \frac{y^2}{R^2}\right) \cdot \left(1 + \frac{2H}{R}\right) = \\
 &= P_r - P_r \frac{y^2}{R^2} + P_r \frac{2H}{R} - P_r \frac{2y^2H}{R^3} = P_r \left(1 - \frac{y^2}{R^2} + \frac{2H}{R} - \frac{2y^2H}{R^3}\right).
 \end{aligned} \tag{3.8}$$

Для оптимизации обработки результатов измерений и с учётом поправок в измеренную геодезическую площадь, учитывающих переход на поверхность эллипсоида и влияние рельефа, формула (3.8) примет следующий вид

$$P_{\phi} = \frac{P_r}{\cos \nu_1 \cdot \cos \nu_2} \cdot \left(1 - \frac{y^2}{R^2} + \frac{2H}{R} - \frac{2y^2H}{R^3}\right). \tag{3.9}$$

Если при определении площадей земельных участков какая либо поправка оказывает ничтожно малое влияние на получаемую величину, то в этом случае целесообразно данную поправку не учитывать.

Формула (3.7) может быть преобразована к виду

$$P_{\phi} = P_z \sec \nu_1 \cdot \sec \nu_2 \cdot \left(1 - \frac{y^2}{R^2} + \frac{2H}{R} - \frac{2y^2H}{R^3}\right). \tag{3.10}$$

Так как $\sec^2 \nu = 1 + \operatorname{tg}^2 \nu$, то получим

$$P_{\phi} = P_z \sqrt{1 + i_1^2} \cdot \sqrt{1 + i_2^2} \cdot \left(1 - \frac{y^2}{R^2} + \frac{2H}{R} - \frac{2y^2H}{R^3}\right), \tag{3.11}$$

где i_1, i_2 – соответственно средние продольный и поперечный уклоны участка.

После преобразования формулы (3.11) находим значение физической (фактической) площади земельного участка из выражения

$$P_{\phi} = P_z \sqrt{1 + \frac{h_1^2}{d_1^2}} \cdot \sqrt{1 + \frac{h_2^2}{d_2^2}} \cdot \left(1 - \frac{y^2}{R^2} + \frac{2H}{R} - \frac{2y^2H}{R^3}\right), \tag{3.12}$$

где d – средние длины;

h – средние превышения участка.

Данная формула позволяет оперативно вычислять физическую площадь по непосредственно измеренным значениям h и d .

Разработанный способ определения площадей реализуем как в традиционных методиках, так и при автоматизированном определении по электронно-цифровым картам.

Топографические планы, получаемые при инженерно-геодезических изысканиях, составляют в ортогональной проекции. В данном случае учитывать поправку за переход на поверхность эллипсоида нет необходимости. В тоже время следует учесть поправку за рельеф. Введение этой поправки оказывает влияние на определение площадей водосбора и при определении площади полосы отвода для инженерных сооружений.

3.2 Повышение точности расчётов гидрологических характеристик при проектировании транспортных объектов

При проектировании объектов автомобильных и железных дорог выполняют гидрологические расчёты для труб и мостов. Классические методы определения гидрографических характеристик (в том числе площади водосбора) картометрическим способом приведены в Руководстве [156]. На сегодняшний день в практике проектирования применяют несколько автоматизированных систем расчёта (Credo, Robur, IndorCAD и др.). При вычислении гидрологических характеристик необходимо определять площадь водосбора. Поэтому необходимо исследовать, как влияет на достоверность расчётов не определение физической поверхности.

Расчет труб и малых мостов на воздействие водного потока выполняется с учетом пропуска расходов воды расчетной и наибольшей вероятности превышения.

Согласно действующим нормам СП 33 – 101 – 2003 [167] максимальные расходы воды определяют по формуле

$$Q'_{p\%} = q'_{p\%} \varphi H'_{1\%} \delta \lambda_{p\%} A, \quad (3.13)$$

где $q'_{p\%}$ – максимальный модуль стока ежегодной вероятности превышения $P = 1\%$;

φ – сборный коэффициент стока;

$H'_{1\%}$ – максимальный суточный слой осадков вероятностью превышения $P = 1\%$;

δ – коэффициент, учитывающий снижение максимального стока рек, зарегулированных проточными озерами, прудами и водохранилищами;

A – площадь водосбора, км²;

$\lambda_{p\%}$ – переходный коэффициент от максимальных расходов воды ежегодной вероятности превышения $P = 1\%$ к максимальным расходам воды другой вероятности превышения.

Объем стока требуемой вероятности превышения определяется следующим образом

$$W_{p\%} = 1000h_{p\%} A, \quad (3.14)$$

где $h_{p\%}$ – расчетный слой дождевого стока.

Как видно из формул (3.13) и (3.14) величины расхода и объема стока существенно зависят от точности определения водосборной площади A .

Площадь водосбора определяют по топографическим картам или планам на бумажном носителе или в электронном виде, на которых она обозначается водораздельной линией и замыкающим створом.

Следует отметить, что таким образом определяют проекцию фактической (физической) площади водосбора на карте или плане. Определенную на карте или плане площадь назовем геодезической и обозначим ее A_z . Действительная площадь, называемая «физической», обозначается A_ϕ . Отметим, что реальный сток воды формирует физическая площадь A_ϕ , а не геодезическая площадь A_z . Поэтому в формулах (3.13) и (3.14) расчета расхода и объема стока предлагается использовать физическую площадь водосбора.

Способ определения физической площади земельных участков рассмотрен в разделе 3.1.

Если водосборный участок имеет сложный рельеф, то его разбивают на секции со сравнительно однородным рельефом и определяют площади по секциям, а общую площадь водосбора получают суммированием площадей всех секций [117].

Формулу (3.11) можно преобразовать следующим образом

$$A_\phi = A_z \sqrt{1+i_1^2} \sqrt{1+i_2^2} - A_z \frac{y^2}{R^2} + A_z \frac{2H}{R}, \quad (3.15)$$

где H – средняя нормальная отметка водосбора;

i_1 – средний продольный уклон участка водосбора;

i_2 – средний поперечный уклон участка водосбора.

Поскольку величина стока пропорциональна площади бассейна, на поверхности которого этот сток формируется, резонно ожидать влияния уточняемой площади водосбора на расчёт стока. Чтобы оценить степень этого влияния, была выполнена серия расчётов совместно с доцентом Солодовниковым А. Б. [90], по нескольким общепринятым методикам определения ливневого стока с малых бассейнов. Использовались методики, рекомендуемые СП 33–10 –2003 и ведомственными строительными нормами ВСН 63–76 [58], метод «Союздорпроекта» [91] и региональные нормы стока, предложенные для юга

Дальнего Востока институтом «Дальгипротранс» [197]. Известно, что редукция стока уменьшается с увеличением площади бассейна. Чтобы проследить влияние этого фактора, в расчётах рассматривались водосборы различной величины – 5, 10 и 30 км². Для названных водосборов учитывались склоны разной крутизны: для водосбора 5 км² – 5°, 10° и 30°, для 10 км² – 5° и 10°, для 30 км² – 5°. У более крупных водосборов принимались менее крутые склоны. На Дальнем Востоке преобладает гористый рельеф местности, поэтому трассы автомобильных и железных дорог здесь на значительном протяжении уложены долинным ходом. В таких условиях частым случаем являются небольшие односкатные бассейны со значительной крутизной склона. В данном исследовании этот расчётный случай представлен водосбором площадью 5 км² и крутизной склона 30°. Известно, что климат на юге Дальнего Востока меняется с востока на запад с муссонного на континентальный. Это сопровождается изменением модуля стока от повышенного в бассейне р. Уссури (12–17 л/с км²) до пониженного и умеренного в бассейне Шилки (0,1–10 л/с км²). Можно ожидать, что поправка, вносимая в измеренную по карте площадь бассейна с учётом крутизны склонов, по-разному отразится на величине стока в различных регионах Дальнего Востока. Поэтому расчёты стока выполнялись для двух районов: Владивостока на юге Приморья и Сковородино в Амурской области. Результаты расчётов представлены в таблице 3.1.

Анализ результатов расчётов показывает, что:

- независимо от применяемой расчётной методики и условий, в которых расположен водосбор, увеличение его площади с учётом физической площади всегда сопровождается увеличением стока;
- для всех методик расчёта установлено, что относительный прирост стока пропорционален крутизне склонов водосбора;
- результаты, полученные по разным методикам для одинаковых условий стока, существенно расходятся;
- климатические условия сказываются на абсолютных значениях величины стока, которые заметно увеличиваются ближе к Тихоокеанскому побережью, однако влияние изменения модуля стока в меридиональном направлении на

относительное изменение величины стока, вызванное приростом площади водосбора, неочевидно;

– размеры бассейна не влияют на соотношение прироста площади бассейна и соответствующего относительного увеличения стока.

Т а б л и ц а 3.1 – Относительное увеличение стока (процент), с учётом поправок к площади бассейна со склонами разной крутизны

А, км ²	Угол, градус	Владивосток				Сковородино			
		Союздор- проект	СНиП	ВСН	ДГТ	Союздор- проект	СНиП	ВСН	ДГТ
5	5 ⁰	6,8	3,8	10	1,8	6,8	1	10	4,2
	10 ⁰	12,5	7,5	20	3,6	12,5	15	20	12,5
	30 ⁰	28,1	30,3	32	37,5	28,1	29,6	33	41,7
10	5 ⁰	8,4	3,5	0,4	6,7	8,4	1,8	14	5
	10 ⁰	16,5	9,4	13,4	10,1	16,5	6,5	13,1	12,5
30	5 ⁰	5,6	3	10	5,6	5,6	2	10	5,6

Таким образом, данное исследование показывает безусловное влияние определения физической площади водосбора на результаты вычислений величины стока. И если для сравнительно пологих склонов степень этого влияния сопоставима с разбросом результатов, получаемых по разным методикам расчёта стока, то на крутых склонах (10° и более) поправка к площади бассейна сказывается на величине стока значительно (от 12 до 32%) и обязательно должна учитываться независимо от используемой методики расчёта.

3.3 Определение физической площади земельных и водосборных участков по пространственной геометрической модели местности на основе электронно-цифровой карты

Как было отмечено в разделе 1.3, в настоящее время пространственную площадь земельных участков определяют также по ЦММ инженерного назначения. В модели подразумевают приближение исходной или проектной

физической поверхности нерегулярной или регулярной сетью пространственных треугольников. На рисунке 3.1 показана нерегулярная сеть треугольников ЦММ в Credo [14].



Рисунок 3.1 – Нерегулярная сеть треугольников в Credo

Способы определения площадей земельных участков по геометрической модели местности рассмотрены автором в работах [121, 126].

Проблемы моделирования рельефа заключаются в нахождении способа, который позволял бы максимально информативно отображать исходную поверхность.

Решение этой проблемы предложено учеными Вороным Г. Ф. и Делоне Б. Н. Ими разработан способ создания пространственной сети из многоугольников и треугольников, оптимальным способом описывающую произвольную поверхность. Среди таких моделей наиболее часто используют треугольные сети правильной формы (регулярные модели) и неправильной формы (нерегулярные модели), например треугольные сети, именуемые полигоны Тиссена [31].

В настоящее время площади земельных участков принято в основном

определять по нерегулярной цифровой модели, когда точки с известными координатами (x, y) и отметками H размещены в вершинах треугольников.

За вершины треугольников берут по возможности характерные точки рельефа, координаты и отметки которых получены в результате топографической съемки. Наиболее ответственным этапом является формирование на земельном участке сети треугольников с тем, чтобы стороны и плоскости пространственных треугольников соприкасались наилучшим образом с местностью. Стороны треугольников стараются размещать по структурным линиям перегибов рельефа, а их плоскости на склонах с постоянным уклоном. При этом размеры и формы треугольников могут быть самыми разными в зависимости от конкретных форм рельефа.

Площади пространственных треугольников вычисляются по базовой формуле (3.1) [139].

Это значительно усложняет алгоритм и снижает скорость получения информации. Наиболее эффективно определять площади пространственных треугольников по пространственным длинам сторон.

На рисунке 3.2 – (a, b, c) длины сторон треугольников на горизонтальной плоскости; (A, B, C) – пространственные длины сторон треугольников; H – высоты.

Далее вычисляются пространственные длины сторон D треугольников по формуле

$$D = \sqrt{(x_n - x_{n-1})^2 + (y_n - y_{n-1})^2 + (H_n - H_{n-1})^2}. \quad (3.16)$$

Затем по полученным пространственным длинам сторон вычисляют площади пространственных треугольников

$$P = \frac{1}{4} \sqrt{4A^2 B^2 - (A^2 + B^2 - C^2)^2}. \quad (3.17)$$

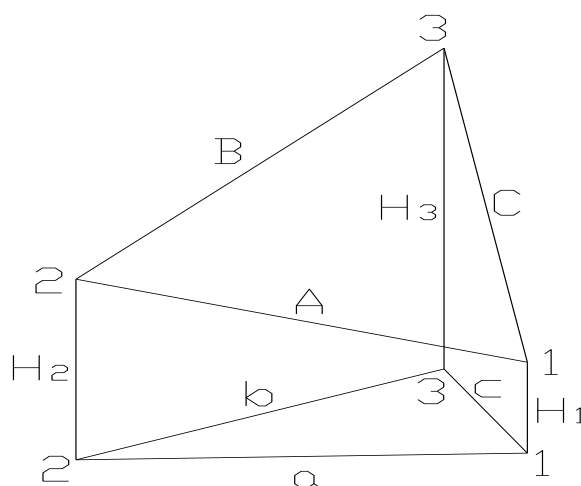


Рисунок 3.2 – Пространственный треугольник

Площади пространственных треугольников можно также вычислять по одной из двух других формул:

$$P = \frac{1}{4} \sqrt{4A^2C^2 - (A^2 + C^2 - B^2)^2},$$

$$P = \frac{1}{4} \sqrt{4B^2C^2 - (B^2 + C^2 - A^2)^2}. \quad (3.18)$$

Формула аналогичная (3.17), получена другим способом для горизонтального треугольника, приведена в работе [66].

На рисунке 3.3 приведен пример сплошной сети треугольников, покрывающих весь земельный участок.

Треугольники нумеруются по порядку, за основание A берется наибольшая сторона, а стороны B и C обозначаются по ходу часовой стрелки и подписываются над соответствующими сторонами внутри треугольника, где также подписывают названия вершин 1,2,3. Теоретически такая нумерация вершин и сторон треугольника не обязательна, но она в практическом смысле существенно облегчает процесс автоматизированного вычисления площадей пространственных треугольников.

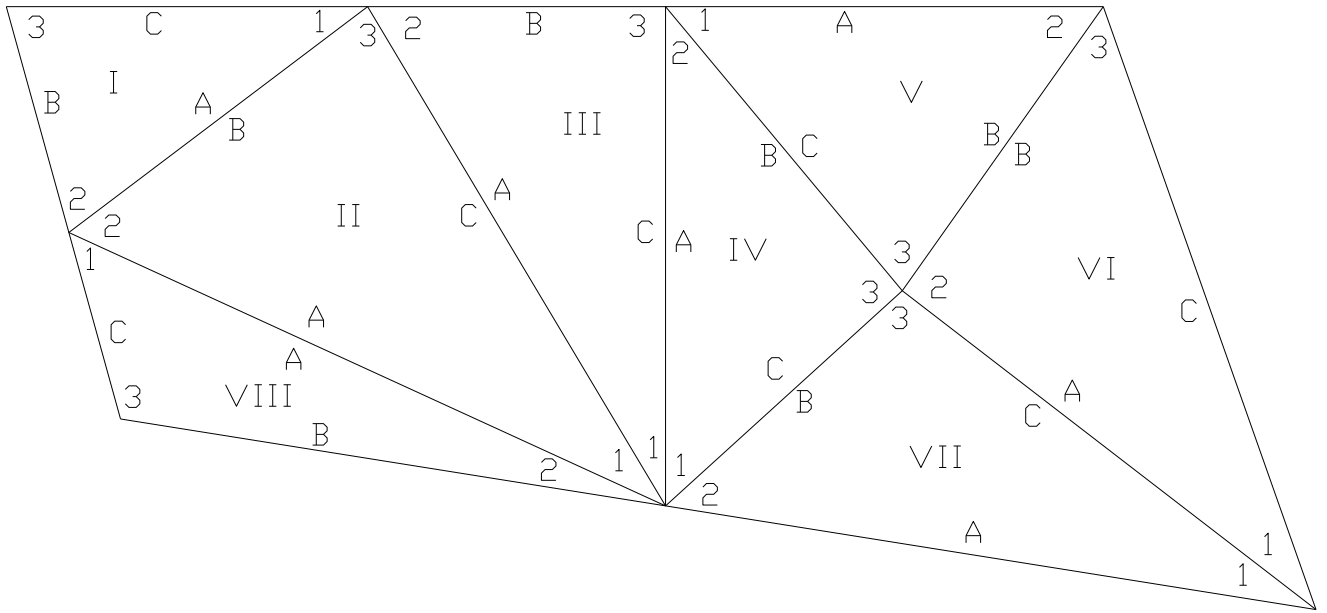


Рисунок 3.3 – Пространственная модель рельефа

Пространственные длины сторон определяются из выражений:

$$\begin{aligned}
 A^2 &= (x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (H_2 - H_1)^2, \\
 B^2 &= (x_3 - x_2)^2 + (y_3 - y_2)^2 + (H_3 - H_2)^2, \\
 C^2 &= (x_1 - x_3)^2 + (y_1 - y_3)^2 + (H_1 - H_3)^2.
 \end{aligned}
 \tag{3.19}$$

Процесс определения площадей по геометрической пространственной модели рельефа представим алгоритмом, приведённый в таблице 3.2.

Таблица продолжается для всех треугольников и в конце ее вычисленные площади треугольников суммируются, при этом находится общая пространственная площадь земельного участка.

Далее приведем вывод формул (3.17, 3.19) определения пространственной площади по геометрической модели рельефа в виде сети треугольников. При этом возможно 4 варианта расположения треугольников (рисунок 3.4).

Вариант 1

Основание пространственного треугольника – A , x отрезок с левой стороны от высоты h (рисунок 3.4,а).

Площадь равна

$$P = \frac{1}{2} A \cdot h, \text{ а высота } h^2 = B^2 - x^2. \quad (3.20)$$

Далее выполним преобразования

$$h^2 = C^2 - (A - x)^2 = C^2 - A^2 + 2Ax - x^2;$$

$$B^2 - x^2 = C^2 - A^2 + 2Ax - x^2, \quad 2Ax = A^2 + B^2 - C^2, \quad x = \frac{A^2 + B^2 - C^2}{2A},$$

тогда

$$h = \sqrt{B^2 - x^2} = \sqrt{B^2 - \frac{(A^2 + B^2 - C^2)^2}{4A^2}} =$$

$$\sqrt{\frac{4A^2B^2 - (A^2 + B^2 - C^2)^2}{4A^2}} = \frac{1}{2A} \sqrt{4A^2B^2 - (A^2 + B^2 - C^2)^2}.$$

$$P = \frac{1}{2} A \cdot h = \frac{1}{4} \sqrt{4A^2B^2 - (A^2 + B^2 - C^2)^2},$$

что соответствует формуле (3.17).

Т а б л и ц а 3.2 – Определения площадей по пространственным длинам сторон

№ треуголь- ника	Базы данных				Алгоритм расчётов	
	№ вершины треугольника	Координаты			Квадрат пространственной стороны треугольника	Площадь пространствен- ного треуголь- ника
		X	Y	H		
I	1	x_1	y_1	H_1	A^2	P_I
	2	x_2	y_2	H_2	B^2	
	3	x_3	y_3	H_3	C^2	
II	1	x_1	y_1	H_1	A^2	P_{II}
	2	x_2	y_2	H_2	B^2	
	3	x_3	y_3	H_3	C^2	

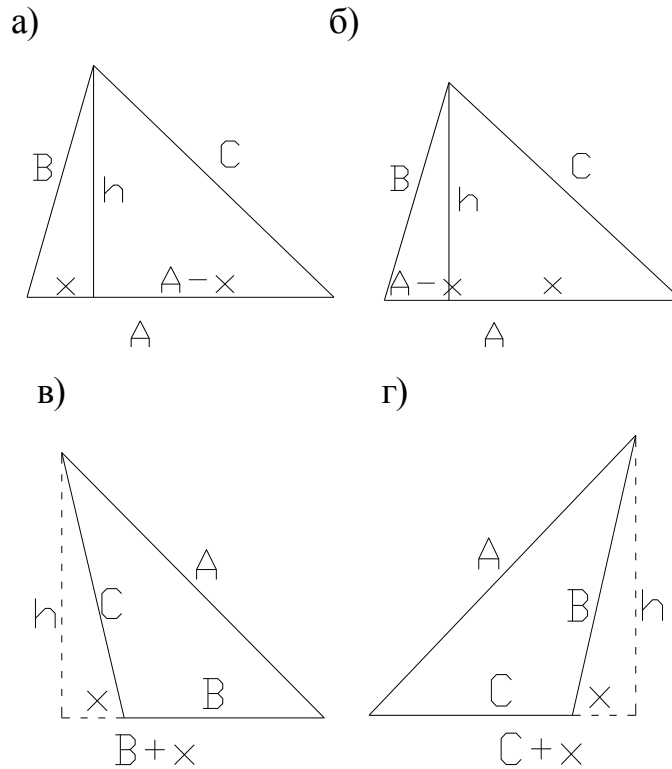


Рисунок 3.4 – Геометрические модели

Вариант 2

Рисунок 3.4, б. По аналогии с вариантом 1 определяем площадь

$$P = \frac{1}{4} \sqrt{4A^2C^2 - (A^2 + C^2 - B^2)^2}.$$

Вариант 3

За основание треугольника принята сторона B (рисунок 3.4, в).

Тогда $h^2 = C^2 - x^2 = A^2 - (B+x)^2 = A^2 - B^2 - 2Bx - x^2$ и получим

$$P = \frac{1}{4} \sqrt{4B^2C^2 - (B^2 + C^2 - A^2)^2}.$$

Вариант 4

Основание треугольника – C (рисунок 3.4, г). При этом

$$h^2 = B^2 - x^2 = A^2 - (C+x)^2,$$

$$P = \frac{1}{2} C h = \frac{1}{4} \sqrt{4B^2C^2 - (B^2 + C^2 - A^2)^2}.$$

Для реализации способа определения пространственных площадей по пространственным длинам сторон составлена программа, интерфейс которой приведен на рисунке 3.5.

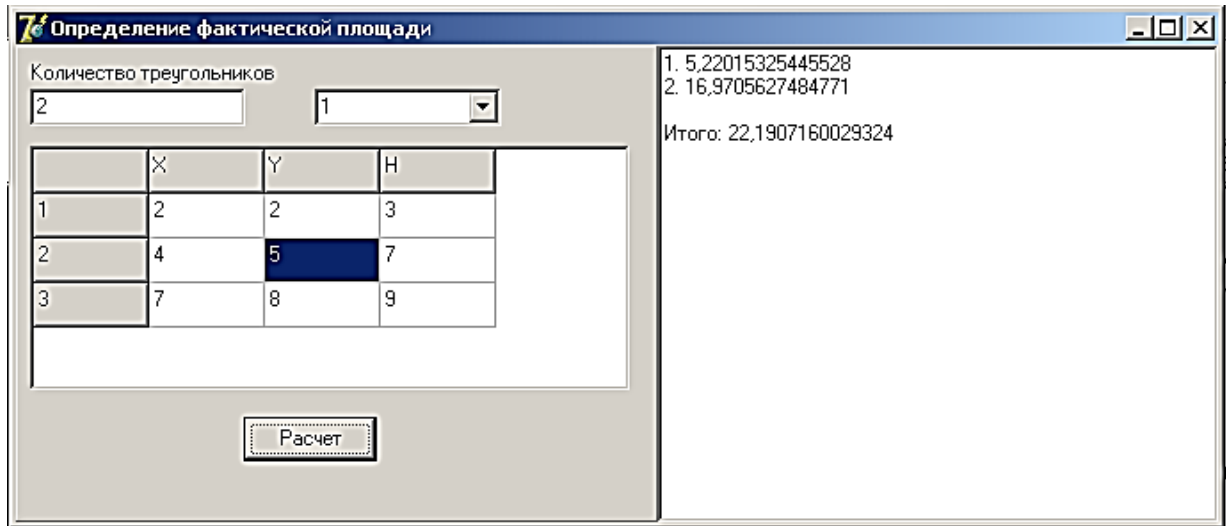


Рисунок 3.5 – Интерфейс программы определения пространственной площади

Данный алгоритм может быть реализован для различных электронно-цифровых карт.

Расчёты могут быть выполнены в онлайн-режиме, на сайте, представленном в информационной системе (раздел 2.2).

3. 4 Исследование и оценка точности способа определения площадей

Вопросы оценки точности измерений площадей рассмотрены в работах [11, 36, 37, 72, 141].

СКП определения площади земельного участка на основании «Инструкции по межеванию земель» определяется по формуле 1.1 [55].

Площадь контуров, ограниченных прямолинейными и криволинейными линиями, определяется по связанному множеству координат отдельных граничных точек этого контура и вычисляется по заданному алгоритму, составленному исходя из основополагающей формулы определения площадей [98]

$$P = \frac{1}{2} \int xdy - ydx. \quad (3.21)$$

Для оценки точности определения площадей может быть использована формула Маслова А.В [84, 85], выражающая зависимость СКП от точности измерения координат граничных точек контура. Приняв m_x и m_y за средние квадратические погрешности независимых измерений соответствующих координат, определим m_t – СКП положения точки по формуле

$$m_t = \sqrt{m_x^2 + m_y^2}. \quad (3.22)$$

Тогда СКП m_p определения площадей будет соответствовать выражению

$$m_p^2 = \frac{1}{8} \sum_{k=1}^n m_{tk}^2 D_k^2. \quad (3.23)$$

где D_k - диагональ, соединяющая $(k-1)$ и $(k+1)$ вершины многоугольника.

Исследования способа определения физической площади земельных участков и точности определения площадей приведены в работах автора [113, 120].

Топографические карты составлены, как правило, в проекции Гаусса-Крюгера, изображения на них получаются искаженными. Так площадь земельных участков изображаются закономерно преувеличенными в силу свойств данной проекции. Искажения будут отсутствовать лишь на осевом меридиане, а по мере

удаления участка от осевого меридиана искажения будут возрастать, и достигнут максимальной величины на краю шестиградусной зоны. В таблице 3.3 приведены относительные величины поправок за переход на поверхность земного эллипсоида, в зависимости от удаления участка от осевого меридиана.

Т а б л и ц а 3.3 – Величины поправок за переход на поверхность земного эллипсоида

Удаление участка от осевого меридиана y_{cp} , км	300	280	250	200	180	150	120	100	80
Относительные искажения $\Delta P : P$	$\frac{1}{450}$	$\frac{1}{500}$	$\frac{1}{650}$	$\frac{1}{1000}$	$\frac{1}{1250}$	$\frac{1}{1800}$	$\frac{1}{2800}$	$\frac{1}{4000}$	$\frac{1}{5400}$

Величины y_{cp} определяются по карте как отстояние по перпендикуляру от осевого меридиана до середины земельного участка, а величина поправки ΔP находится по формулам:

$$\Delta P = P \frac{y_{cp}^2}{R^2} \quad \text{или} \quad \frac{\Delta P}{P} = \frac{y^2}{R^2}, \quad (3.24)$$

и вводится в измеренную площадь со знаком минус. В площадь, определяемую по прямоугольным координатам Гаусса, также вводится указанная поправка, поскольку координаты отнесены к проекции Гаусса-Крюгера. Например, участок имеет площадь, измеренную на карте, 1 000 га и средняя его точка отстоит от осевого меридиана на 100 км. Тогда площадь на эллипсоиде будет $P_э = P_г - \Delta P = 999,75 \text{ га}$. Если же участок отстоит от осевого меридиана на 280 км, тогда $P_э = P_г - \Delta P = 998 \text{ га}$.

В публикациях [140, 141] приведены данные о том, что для земельных участков, имеющих значительную высоту над поверхностью эллипсоида, площадь с поверхности эллипсоида переводят на поверхность относимости, расположенной на средней нормальной отметке данного участка.

В качестве поверхности относимости вместо эллипсоида принимают шар с радиусом R , а поверхность на средней отметке участка будет иметь радиус кривизны $(R + H)$. Тогда отношение площадей участка с радиусом $(R + H)$ и на шаре с радиусом R будет

$$\frac{P_H}{P_{\text{э}}} = 1 + \frac{2H}{R}, \quad (3.25)$$

а площадь на поверхности средней нормальной отметки определится по формуле

$$P_H = P_{\text{э}} + \Delta P_H, \quad (3.26)$$

где

$$\Delta P_H = 2P_{\text{э}} \frac{H}{R} = P_{\text{э}} \frac{2H}{R}. \quad (3.27)$$

В таблице 3.4 приведены относительные искажения площади вследствие влияния возвышения земельного участка над поверхностью эллипсоида. Площади на эллипсоиде уменьшены по сравнению с площадями на поверхности средней нормальной отметки участка, поэтому поправка ΔP_H будет иметь знак плюс.

Пример:

Площадь на эллипсоиде $P_{\text{э}} = 1000$ га, а средняя отметка участка $H = 400$ м, тогда

$$P_H = P_{\text{э}} + \Delta P_H = 1000.13 \text{ га.}$$

Если же участок, площадью 1000 га находится в горной местности на средней отметке $H = 3\,000$ м, то $P_H = 1001$ га.

Т а б л и ц а 3.4 – Относительные искажения площади

Средняя отметка участка H , м	200	300	400	500	600	700	800	1000	2000	3000
Относительные искажения $\frac{\Delta P_{H_{cp}}}{P}$	$\frac{1}{16000}$	$\frac{1}{10600}$	$\frac{1}{8000}$	$\frac{1}{6400}$	$\frac{1}{5000}$	$\frac{1}{4600}$	$\frac{1}{3900}$	$\frac{1}{3200}$	$\frac{1}{1600}$	$\frac{1}{1000}$

Как видно из примеров, величина рассматриваемой поправки невелика, и вводить ее следует лишь для участков, расположенных в городской территории и для участков, имеющих значительную стоимость земель.

Оценка точности определения площадей земельных участков по фотопланам и аэроснимкам приведены в работе [51]. В результате проведенных экспериментальных работ и теоретических исследований установлено, что использование материалов аэрофотосъемки для определения площадей дает допустимые ошибки.

Рассмотренные в исследовании материалы в целом подтверждают правильность формул, принятых для оценки точности площадей в данной работе и предлагают считать относительную ошибку определения площадей – 1/1 000.

Общую формулу определения физической площади земельных участков можно представить так

$$P_{\phi} = P_r \left(\frac{1}{\cos \nu_1 \cos \nu_2} - \frac{y^2}{R^2 \cos \nu_1 \cos \nu_2} + \frac{2H}{R \cos \nu_1 \cos \nu_2} - \frac{2Hy^2}{R^3 \cos \nu_1 \cos \nu_2} \right). \quad (3.28)$$

Последним членом формулы в связи с его малой величиной можно пренебречь, так как даже при самых максимальных значениях H и y его значение составляет 1:300 000, тогда

$$P_{\phi} = \frac{P_{\Gamma}}{\cos v_1 v_2} - \frac{P_{\Gamma} y^2}{R^2 \cos v_1 \cos v_2} + \frac{P_{\Gamma} 2H}{R \cos v_1 \cos v_2}. \quad (3.29)$$

Первый член формулы (3.29) содержит поправку за переход от геодезической площади к физической, второй член – за переход от геодезической площади к площади на эллипсоиде и третий член формулы содержит поправку за переход к поверхности относимости на средней нормальной отметке участка.

Общую поправку ΔP можно представить как разность

$$\Delta P = P_{\phi} - P_{\Gamma} \quad (3.30)$$

$$\text{или } \Delta P = \Delta P_{\phi} - \Delta P_{\text{Э}} + \Delta P_{\text{Н}},$$

где $\Delta P_{\text{Э}}$ – поправка за переход на поверхность эллипсоида;

$\Delta P_{\text{Н}}$ – поправка за переход на поверхность средней нормальной отметки;

ΔP_{ϕ} – поправка за переход от геодезической к физической площади, вычисляемая по формуле (3.3).

В таблице 3.5 представлены поправки за переход от геодезической к физической площади при различных углах наклона местности.

Динамику роста значений поправок за переход от геодезической к физической площади можно проследить по данной таблице, в которой поправки отнесены к геодезической площади в 100 га.

Так, например, при средних продольных и поперечных углах наклона $v_1=5^\circ$ и $v_2=3^\circ$, поправка $\Delta P_{\phi} = 0,532$ га (на 100 га геодезической площади), а при $v_1 = 10^\circ$ и при $v_2 = 10^\circ$, $\Delta P_{\phi} = 3,114$ га. При увеличении значений средних углов наклона v_1 и v_2 резко возрастает величина поправки ΔP_{ϕ} , так при $v_1 = 30^\circ$ и $v_2 = 30^\circ$, $\Delta P_{\phi} = 33,342$ га.

Т а б л и ц а 3.5 – Поправки за переход от геодезической к физической площади

Средние поперечные углы наклона ν_2^0	Средние продольные углы наклона ν_1^0						
	3°	5°	10°	15°	20°	25°	30°
3°	0,280	0,532	1,684	3,670	6,289	10,213	15,634
5°	0,532	0,806	1,968	3,950	6,838	10,766	16,124
10°	1,684	1,968	3,114	5,131	8,050	12,057	17,316
15°	3,670	3,950	5,131	7,186	10,195	14,246	19,561
20°	6,589	6,838	8,050	10,195	13,269	17,445	22,895
25°	10,213	10,766	12,057	14,246	17,445	21,654	27,426
30°	15,634	16,124	17,316	19,561	22,895	27,426	33,342

Для автоматизированного вычисления физической площади на компьютере составлена программа. Интерфейс программы, разработанной в C ++, показан на рисунке 3.6. Расчёты могут быть выполнены в онлайн-режиме, на сайте, представленном в информационной системе (раздел 2.2).

Расчет

δ_1 30 ° 10 '

δ_2 30 ° 35 '

Y 100 км

H 0,100 км

R 6371 км

Δ_1 1,34354896387

Δ_2 0,99978501623

P 1,34326012265

Расчет

Рисунок 3.6 – Определение физической площади

В программе по заданным значениям ν_1 и ν_2 , y , H и R вычисляются поправки ΔP_ϕ , ΔP_y , ΔP_H , а по ним суммарная (общая) поправка ΔP и площадь P_ϕ . За

вводом значений v_1 и v_2 , y , H , R следует расчет значения P_ϕ .

Полученные результаты показывают необходимость учёта физической поверхности земли для получения достоверных и качественных ГПД для определения границ и площадей объектов автомобильных и железных дорог.

Для выполнения сравнительного анализа способов определения площадей водосборов при проектировании железных дорог был выполнен ряд исследований.

Предварительное проектирование участка новой железнодорожной линии осуществлялось на бумажном носителе, а затем топографическая карта векторизировалась (в Easy Trace) и импортировалась в программный комплекс «Топоматик Robur – Железные дороги», где и выполнялось окончательное проектирование на электронно-цифровой карте. При этом площади водосбора определялись в программе Robur, по разработанному автором способу, в AutoCAD и электронным планиметром Planix 7. Выбор данных программных продуктов обусловлен их практическим применением на кафедре «Изыскания и проектирование железных и автомобильных дорог» в ДВГУПС.

На рисунке 3.7 представлен результат определения площади водосбора в программе «Топоматик Robur – Железные дороги».

На основе разработанного автором способа выбирались участки с однородным рельефом, где и определялись уклоны в двух взаимно перпендикулярных направлениях. После чего вычислялись физические площади с помощью программы, интерфейс которой показан на рисунке 3.6.

Так как основу цифровой модели рельефа программы составляет сеть треугольников, поэтому для криволинейных участков не всегда получается полностью покрыть всю поверхность. Именно в таких случаях наиболее эффективен способ предложенный автором. Он позволяет с помощью сетки уклонов уточнять физическую площадь водосбора (рисунок 3.8) в так называемых «не просматриваемых» зонах.

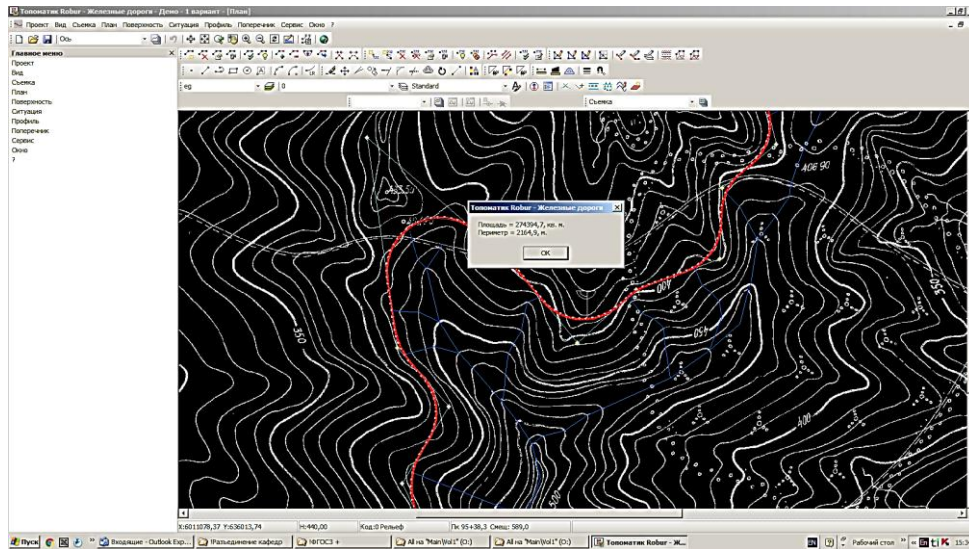


Рисунок 3.7 – Определение площади водосбора в программе «Топоматик Робук – Железные дороги»

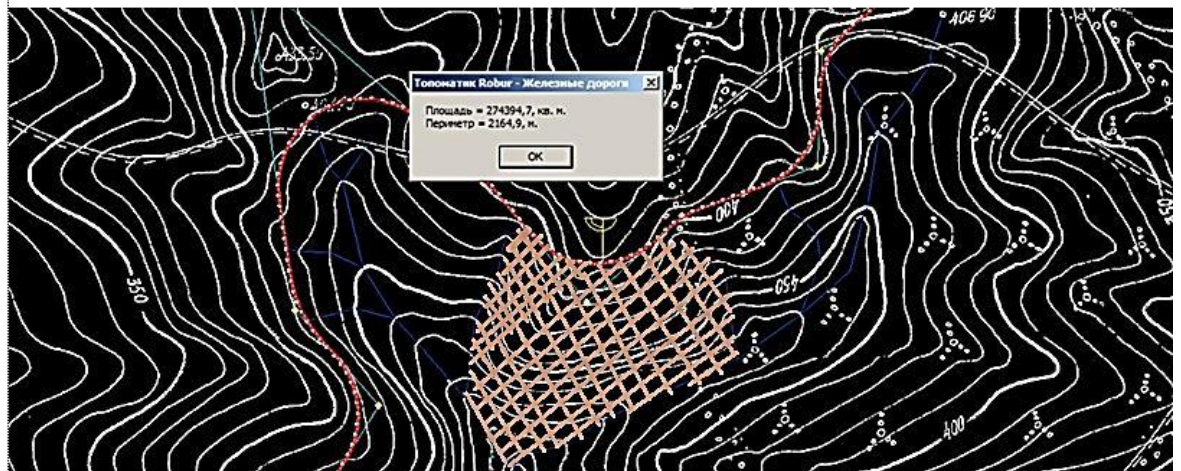
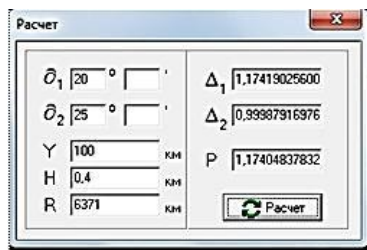


Рисунок 3.8 – Уточнение площади водосбора

В таблице 3.6 приведены результаты определения площадей водосбора различными способами. Было определено 20 участков водосборов.

Т а б л и ц а 3.6 – Определение площади водосбора

Способ	Топоматик Robur – Железные дороги	Никитина А. В.	AutoCAD	Planix
				7
Площадь, км ²	325,439	389,657	321,916	314,8 66

Полученные данные свидетельствуют о том, что способ разработанный автором даёт увеличенное значение физической площади (20%) по сравнению с другими. Это объясняется тем обстоятельством, что появляется возможность уточнять площади в местах, не покрытых сетью треугольников для криволинейных поверхностей в электронно-цифровой модели карты. В данное время измерение площадей разработанным автором способом уступает в производительности представленным в цифровых моделях местности. Однако он позволяет получать более надёжные результаты.

Оценка точности

СКП определения физической площади земельного участка (формула 3.5) будет равна

$$m_{P_{\phi}} = \sqrt{m_{P_r}^2 \left(\frac{1}{(\cos(v_1) \cdot \cos(v_2))} \right)^2 + m_{v_1}^2 \left(\frac{P_r \sin(v_1)}{\cos(v_2) \cos(v_1)^2} \right)^2 + m_{v_2}^2 \left(\frac{P_r \sin(v_2)}{\cos(v_1) \cos(v_2)^2} \right)^2}, \quad (3.31)$$

где $m_{P_{\phi}}$ – СКП определения физической площади;

m_{v_1} – СКП определения продольного уклона;

m_{v_2} – СКП определения поперечного уклона;

m_{P_r} – СКП определения геодезической площади, так как при вычислении площади криволинейная площадь по методу многоугольника заменяется прямоугольником, то по формуле Маслова А. В [84]

$$m_{P_r}^2 = m_i^2 \cdot P \sin \frac{360^\circ}{n},$$

где $m_i = \sqrt{m_x^2 + m_y^2}$ – СКП измерений положения точки.

При условии что $m_{v_1} = m_{v_2}$, формула (3.31) примет вид

$$m_{P_\phi} = \sqrt{m_{P_r}^2 \left(\frac{1}{(\cos^2(v))} \right)^2 + m_v^2 \left(\frac{2P_r \sin(v)}{\cos^3(v)} \right)^2}. \quad (3.32)$$

При определении площади водосбора по формулам (3.11 и 3.15) погрешность будет вычисляться по формуле

$$m_{A_\phi} = \sqrt{m_{A_r}^2 (K(1+i^2))^2 + m_i^2 (2A_r i K)^2 + m_K^2 (A_r \sqrt{1+i^2})^2} \quad (3.33)$$

где m_{A_ϕ} , m_i , m_K – СКП определения геодезической площади водосбора; уклона; величин y и H .

$\left(1 - \frac{y^2}{R^2} + \frac{2H}{R} - \frac{2y^2 H}{R^3} \right)$ – суммарные поправки учитываются как постоянный

коэффициент K .

Так как K – постоянное число, то формула (3.11) трансформируется к виду

$A_\phi = A_z (\sqrt{1+i^2})^2$, следовательно

$$m_{A_\phi} = \sqrt{m_{A_r}^2 (1+i^2)^2 + m_i^2 (2A_r i)^2} \quad \text{или} \quad m_{A_\phi} = \sqrt{m_{A_r}^2 (K(1+i^2))^2 + m_i^2 (2A_r i K)^2}. \quad (3.34)$$

Выводы по разделу:

Разработанный способ уточняет физическую площадь земельных участков путём аппроксимирования территории системой, включающей продольные и

поперечные углы наклонов участка по взаимно-перпендикулярным направлениям. За счёт этого достигается максимальная степень приближения к физической поверхности. При этом получают 2D модель физической поверхности. Предложенный способ, возможно, использовать для земельных участков любой конфигурации, в том числе для объектов в виде треугольников и n-угольников. На основе предложенной математической модели в диссертации разработаны методики для определения физической поверхности по ЦММ.

Предложена геометрическая модель определения пространственных площадей треугольников по пространственным длинам сторон в ЦММ.

В диссертации исследовано влияние поправок за переход на поверхность эллипсоида, на поверхность нормальной отметки участка и за переход от геодезической к физической площади. Полученные результаты показывают необходимость учёта физической поверхности земли для получения достоверных и качественных КД для определения границ и площадей объектов автомобильных и железных дорог.

Исследовано применение способа определения физической площади для повышения точности расчётов гидрологических характеристик при проектировании инженерных объектов. Для водосборных участков с крутизной склонов более 10° необходимо учитывать физическую площадь, так как поправка к площади бассейна составляет 12 – 32 %. Такие величины оказывают существенное влияние на величину стока и в дальнейшем к неправильному выбору параметров искусственных сооружений.

4 ГЕОДЕЗИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ МОСТОВ

4.1 Система контроля геопространственной информации в мостостроении

Геодезическое обеспечение ГПД при изысканиях мостовых переходов, строительстве и эксплуатации мостов широко не представлено в современной научной и производственной литературе. При этом в РФ возводятся уникальные мосты.

Поэтому в диссертации предложена система контроля геопространственной информации в мостостроении. Основопологающим для создания информационных моделей при изучении состояния объектов и тенденций для последующего развития будет качественная информация. А для принятия решений необходимо определить и диагностировать различные параметры [109].

При этом точность и достоверность информации, которая должна быть в системе и служить базисом для принятия решений определяется полнотой и объективностью соответствующих ГПД. Для обоснованности реальных мер направленных для того чтобы прийти к поставленной цели и уменьшить риск требуется получить более надёжную информацию.

Для выполнения анализа, основанном на объективных и надёжных источниках необходимо включить и оценить правильность и точность различных показателей. Следовательно, проверка классификационных связей, правильности агрегатирования имеет важное значение для принятия факторов, определяемых в информационных моделях.

В зависимости от уровня решения и значимости задач должна соответствующим образом быть представлена полнота информации. Кроме того должны быть разработаны стандартные модели решения задач, в которых будут содержаться различные сведения и нормы на основании которых будет работать система принятия решений.

В мостостроении имеет значение проверка на соответствие информации нормативным требованиям государственным стандартам, строительным нормам, ведомственным инструкциям.

Современное мостостроение представляет собой сочетание гибких автоматизированных производств, а также оптимальное планирование и управление, внедрение компьютерных технологий в процессе проектирования и строительства [73].

Для оптимизирования процесса строительства на производстве применяют разные критерии, при этом они не всегда являются научно обоснованными. Если повышать точность работ, то будет усложняться технология строительства. А в случаях роста производительности труда уменьшается точность работ. Поэтому одним из критериев для оценки качества работ будет проверка соответствия геометрических параметров на стадиях изготовления конструкций и их установки в проектное положение.

Используя основные принципы системного подхода, рассмотренные в работе [191] в диссертации предложены основные этапы для контроля геопространственной информации в мостостроении. Особое внимание уделено техническому контролю и его составной части контролю геометрических параметров при изысканиях, строительстве и эксплуатации мостов.

В качестве исходных данных для контроля геопространственной информации (см. раздел 2.2) будут мостовые опоры и фундаменты, пролётные строения, геодезические знаки, способы и средства геодезических измерений.

При проектировании контроля следует учитывать следующие критерии: текущие производственные условия производства; методы и виды контроля; точность контроля; квалификация исполнителей.

Для учёта системного влияния различных критериев и анализа состояния системы необходимо использовать основные методологические принципы.

Для решения этих задач в работе, совместно с В. С. Хорошиловым разработана информационно экспертная система (ИЭС) [133].

Основой ИЭС является база данных методов геодезических работ показанная на рисунке 2.1. При этом все необходимые нормативные данные при изысканиях, проектировании и строительстве мостов, а также способы производства геодезических работ можно непосредственно импортировать для решения различных задач в экспертной системе. Кроме того при решении задач и разработки системы использовали опыт работ автора диссертации при испытаниях автодорожных мостов в Магаданской области.

Геодезические работы в мостостроении входят в систему технического контроля на всех этапах создания объектов. Начиная с технико-экономического обоснования проектов и заканчивая эксплуатацией мостов.

Поэтому ИЭС представляется сложным инженерным комплексом, включающим разнообразные компоненты и структурообразующие связи и отношения. Функционально основа ИЭС может быть представлена следующей зависимостью

$$U_{игм} = F\left\{ \sum_{i=0}^n U_{ci} \left[\sum_{i=0}^m U_{bi} \left(\sum_{i=0}^k U_{fi} \left(\sum_{j=0}^p U_{mj} (x_1, x_2, \dots, x_q) \right) \right) \right] \right\}, \quad (4.1)$$

где $U_{игм}$ – технология инженерно-геодезических работ в мостостроении;

F – функция, обеспечивающая структурную связь между геодезическим и производственным процессом;

U_{ci} , U_{bi} – формализованные группы которые определяют социально-биологические связи, получаемые в результате наступивших аварийных и предаварийных ситуаций, простоя оборудования и т. п.;

U_{fi} – формализованная группа предназначенная для физических уровней связей, позволяющая определять технологическую взаимосвязь элементов конструкций;

U_{mj} – формализованная группа использующая механический уровень связей и характеризующая различные геометрические и пространственные положения элементов конструкций и сооружений;

x_1, x_2, \dots, x_q – параметры, характеризующие связи механического уровня (например, отклонения формы и расположения элементов опор мостов, пролётов).

Структура системы показана на рисунке 4.1.



Рисунок 4. 1 – Структурно-функциональное содержание экспертной системы в мостостроении

Для практической реализации применяемых способ и средств геодезических измерений предложено принять исходную функцию (формула 4.1) в качестве банка данных. Разработанная система имеет строгую структуру построения и предполагает иерархический принцип расположения экспертных оценок, адаптированных на решение определённых условий производственных задач.

В каждой из предполагаемых целевых точек проведения экспертных оценок определяли геодезический способ и соответствующие средство измерений на конкретных этапах производственного процесса.

В большинстве случаев целевые точки должны находиться в минимальном уровне варьирования. Экспертная система не должна интерпретировать информацию, расположенную между целевыми точками.

Оценка приемлемости принятия решений зависит от конкретного вида производственной задачи, внешних и внутренних факторов. При этом экспертная система проводит всесторонний анализ и принимает во внимание максимально приемлемые и наиболее важные факторы: точность и диапазон измерений, стоимость средств измерений, профессиональная квалификация исполнителей т. д.

Предложенная информационно-экспертная система будет являться основой в дальнейших исследованиях при разработке методов контроля геометрических параметров в мостостроении.

Неотъемлемой частью получения ГПД при инженерных изысканиях являются инженерно-геологические изыскания. Для геометрического контроля положения объектов, составления профилей и принятия решений по различным критериям качества (Информационная система, рисунок 2.1) необходимо учитывать геологическую составляющую. Далее приведём основные положения по *геодезическому обеспечению при инженерно-геологических изысканиях.*

Содержание и объем инженерно-геологических изысканий зависит от сложности геологических условий района мостового перехода, стадии проектирования и размеров проектируемого моста.

В состав работ на стадии сравнения вариантов входят: построение схематических геолого-литологических разрезов, приближенное изучение склоновых и русловых процессов, получение данных о месторождениях строительных материалов. Решение этих задач выполняется без полевых наземных работ по архивным и литературным материалам, по имеющимся топографическим картам и аэроснимкам прошлых аэрофотосъемок. Наземные инженерно-геологические работы выполняют в один этап. Топографической основой для проведения инженерно-геологических съемок служат аэрофотоснимки, топографические карты масштаба 1:10 000 – 1:5 000. При пересечении селеносных долин или при расположении селей на склонах вблизи мостового перехода

инженерно-геологической съемкой масштаба 1:25000 – 1:10000 охватывается область формирования, зона транзита и конус выноса селей. Съемкой должны быть охвачены участки, где проектируются регуляционные сооружения, места подмыва берегов, образования отмелей. Полоса должна быть не менее 300 м вверх и 200 м вниз по течению от мостового перехода. При наличии на участках перехода неблагоприятных русловых, береговых и склоновых явлений масштаб съемки принимают более крупный – 1:2 000 или 1:1 000.

По результатам геофизических исследований и инженерно-геологических съемок производят целенаправленное размещение точек и глубин бурения скважин и горных выработок (шурфов). Обычно на каждом берегу перехода закладывают по одной скважине, глубиной не менее 15 метров; в русле закладывают одну две скважины для средних мостов, а для больших мостов выработки задаются через 100 м при той же глубине бурения, считая от дна реки. При неблагоприятных условиях число скважин и глубина бурения увеличиваются. Скважины и горные выработки должны быть координатно привязаны (с помощью электронных тахеометров или приёмников ГНСС) и нанесены на планы. В результате составляется продольный инженерно-геологический продольный профиль мостового перехода и поперечные геологические разрезы основания каждой опоры и береговых устоев моста. При наличии материалов фотосъемки прошлых лет выполняется инженерно-геологическое дешифрирование аэрофотоснимков, при котором устанавливают общие ландшафты и геологические закономерности, исследуют крупные формы рельефа, растительный покров, изучают микрорельеф и различные компоновки природной обстановки. В предгорной обстановке точно фиксируются конусы выноса, узкие ложбины и неглубокие долины. Водопроницаемость пород устанавливают по цвету грунта или растительности: сухие грунты имеют светлые тона, увлажненные – темные. Граница хорошо дренирующих грунтов на снимке изображается четко, плохо дренирующих – нечетко [83].

Места появления и границы распространения эрозии, оползней, карста, абразии можно определить на аэрофотоснимке по образованию специфических

мезо- и микроформ рельефа. Различные эоловые и гравитационные процессы (дюны, осыпи, обвалы, барханы) дешифрируются с точностью, не уступающей наземным способам определений.

При мониторинге объектов железных дорог для определения термокарстовых явлений (рисунок 4.2) с помощью методов ДЗЗ на РЖД разрабатывают программные комплексы, позволяющие получать и дешифрировать различные геологические процессы и явления [150].



Рисунок 4.2 – Определение термокарстовых явлений

4.2 Геодезическое обеспечение строительства опор мостов

Первым видом работ в технологической цепочке строительства мостов является сооружение искусственного островка для возведения опор мостов. В нормативной и научной литературе вопросы точности выноса островка в натуру и способы осуществления разбивки освещены недостаточно. В справочнике [175] приводится точность разбивки в плане 1:3 000, а по высоте 1 см (для насыпей).

Предельная погрешность определения объёмов земляных работ составляет 10 %. В СНиПе 3.02.01 – 87 для разбивки насыпей приведены предельные ошибки в плане ± 15 см, по высоте ± 5 см. В работе [176] указано, что объём земляных масс находится с погрешностью 5–8 %, а, следовательно, предельные ошибки составят 10–16 %.

В книге [28] отмечено, что подсчёт объёмов земляных работ производится с предельной ошибкой 11–12 % (от всего объёма). Неумывакиным Ю.К. отмечает, что на стадии рабочих чертежей предельная погрешность в подсчёте объёмов земляных работ составляет 10 % [97]. При этом выполненное им исследование по экспериментальным данным при определении объёмов земляных работ для колодцев канализационных коллекторов дало предельную ошибку в 20 %.

Размеры искусственного островка определяются габаритами опор и для большинства мостов не превышают в диаметре 10 м, за исключением внеклассных мостов [161,181]. Существующие допуски на разбивку достаточны с позиции точности.

Однако необходимо исследовать точность разбивки относительно её влияния на точность определения объёмов земляных работ. Взаимосвязь точности разбивки и точности определения объёмов земляных работ выполнена автором в работе [109].

Искусственный островок до 4м по высоте может возводиться без ограждения, а свыше 4м его сооружение должно выполняться под защитой шпунтового ограждения [34]. При ограждении тело островка будет иметь форму цилиндра (рисунок 4.3), а без ограждения – форму усечённого конуса (рисунок 4.4).

СКП разбивки островка с использованием шпунтового ограждения вычисляется по формуле

$$m_{H,R} = \frac{RH}{20\sqrt{R^2 + 4H^2t^2}}, \quad (4.2)$$

где R – радиус островка;

H – высота шпунтового ограждения;

m_H и m_R – СКП высотной и плановой разбивки;

t – переходной коэффициент между m_H и m_R .

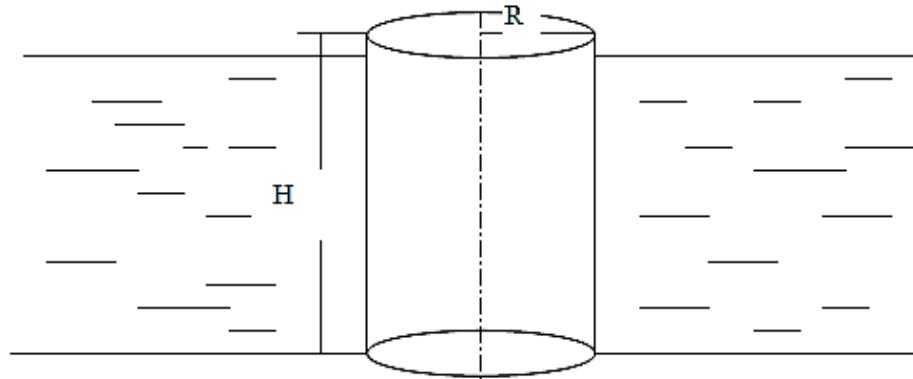


Рисунок 4.3 – Искусственный островок с ограждением

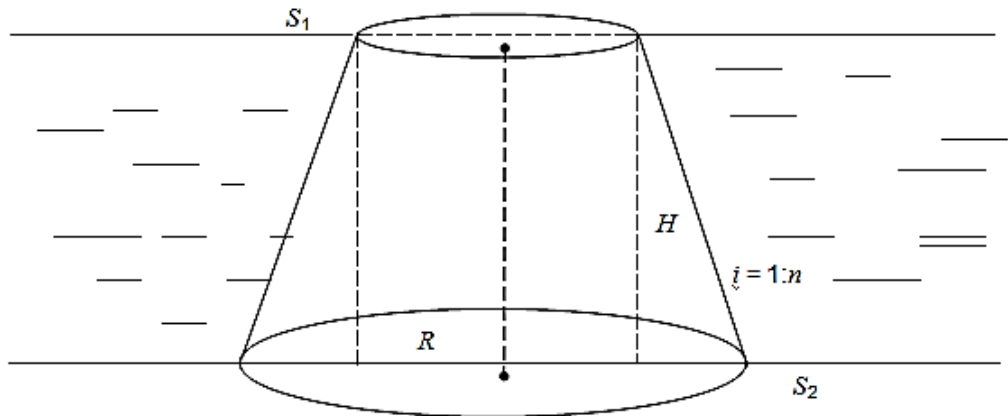


Рисунок 4.4 – Искусственный островок без ограждения

СКП разбивки островка без ограждения находят следующим образом

$$m_{H,R} = \frac{R^2 H + nH^2 R + n^2 \frac{H^3}{3}}{20\sqrt{R^4 + 4R^2 H^2 (t^2 + n^2) + H^4 n^2 (t^2 + n^2)}}, \quad (4.3)$$

где n – коэффициент заложения откосов;

S_1 и S_2 – площади поверхностей конуса.

СКП плановой и высотной разбивки искусственных островков для строительства опор мостов в зависимости от высоты показаны в таблице 4.1. При

этом точность угловых измерений рассчитывалась для способа прямой угловой засечки.

Т а б л и ц а 4.1 – СКП разбивки искусственного островка

Объекты контроля	Значения погрешностей, см	
	в плане	по высоте
1. Островки со шпунтовым ограждением при высотах:		
5–6 м	11	4
7–12 м	12	4
2. Островки без ограждения с откосами 1:1–1:5 при высотах:		
1 м	6	3
2 м	7	3
3 м	8	3
4 м	10	4

Таким образом, чтобы обеспечить величину СКП определения объёма, составляющую 5 % от объёма земляных работ при сооружении искусственного островка, следует пользоваться значениями погрешностей, приведенными в таблице 4.1 или рассчитывать их по формулам (4.2) и (4.3) для каждого конкретного случая разбивки.

Следующим объектом геодезического контроля являются опоры мостов.

При возведении автодорожных и железнодорожных мостов используют фундаменты, состоящие из металлических и железобетонных свай-оболочек. Конструкции могут предполагать строительство опор в извлекаемом и в неизвлекаемом положении. Диаметр оболочек может находиться в пределах от 0.8 м до 10 м. Для разработки способов геодезических работ при строительстве опор мостов рассмотрим технологию возведения опор с применением свай-оболочек [172].

Для соединения оболочек используют специальные фланцевые стыки соединяемые болтами или сваривают с помощью кольцевидных патрубков.

Предварительно следует собрать оболочки в проектное положение для

доставки к месту производства работ. Это позволит упростить технологический процесс погружения и дальнейшего монтажа оболочки.

Секций оболочек, имеющий большой диаметр (более 4м) опускают на дно водоёма с помощью специальных кранов расположенных на плашкоутах.

Грунт из внутренней поверхности оболочки могут извлекать периодически так и в непрерывном режиме.

Все рассмотренные технологические особенности при возведении опор мостов с опорами в виде свай-оболочек должны быть учтены при разработки геодезического контроля планового положения опор мостов и определения крена конструкций.

При строительстве больших и внеклассных мостов разрабатывают отдельно проект производства геодезических работ (ППГР).

Контроль за пространственным положением опор моста через бухту Золотой Рог во Владивостоке осуществляла система, включающая приёмники ГНСС, электронные тахеометры, датчики наклонов (инклинометры) [98, 137].

Разработанная система геодезического контроля и соответствующие программные продукты в режиме RTK определяли координаты точек мостовых конструкций.

Такие геодезические технологии, используемые максимально дорогое оборудование применяют в основном при строительстве уникальных мостов. В РФ в большинстве строятся средние и малые мосты. И в связи с этим разработка методов геодезического обеспечения для данной категории мостов, позволяющих получить качественные ГПД и на их основе оперативно корректировать планово-высотное положение конструкций, является актуальной задачей.

Также следует учитывать особенности строительство мостов с фундаментами, состоящими из свай-оболочек.

Классические методы разбивки опор мостов изложены в работах [29, 81, 82, 94]. Однако в связи со спецификой сооружения опор с использованием свай-оболочек большого диаметра применение известных способов либо невозможно, либо неэффективно. Поэтому возникла необходимость разработки нового способа

разбивки цилиндрических оболочек. Такой способ разработан в диссертационной работе, и его суть изложена в публикациях [112, 128, 136]. Некоторые положения данного способа предложены автором при работе над кандидатской диссертацией, однако к настоящему времени значительно изменились технологии строительных работ и методы геодезических измерений. Значит, методика производства работ должна тоже быть изменена, чем подтверждается полученный автором патент на изобретение [142].

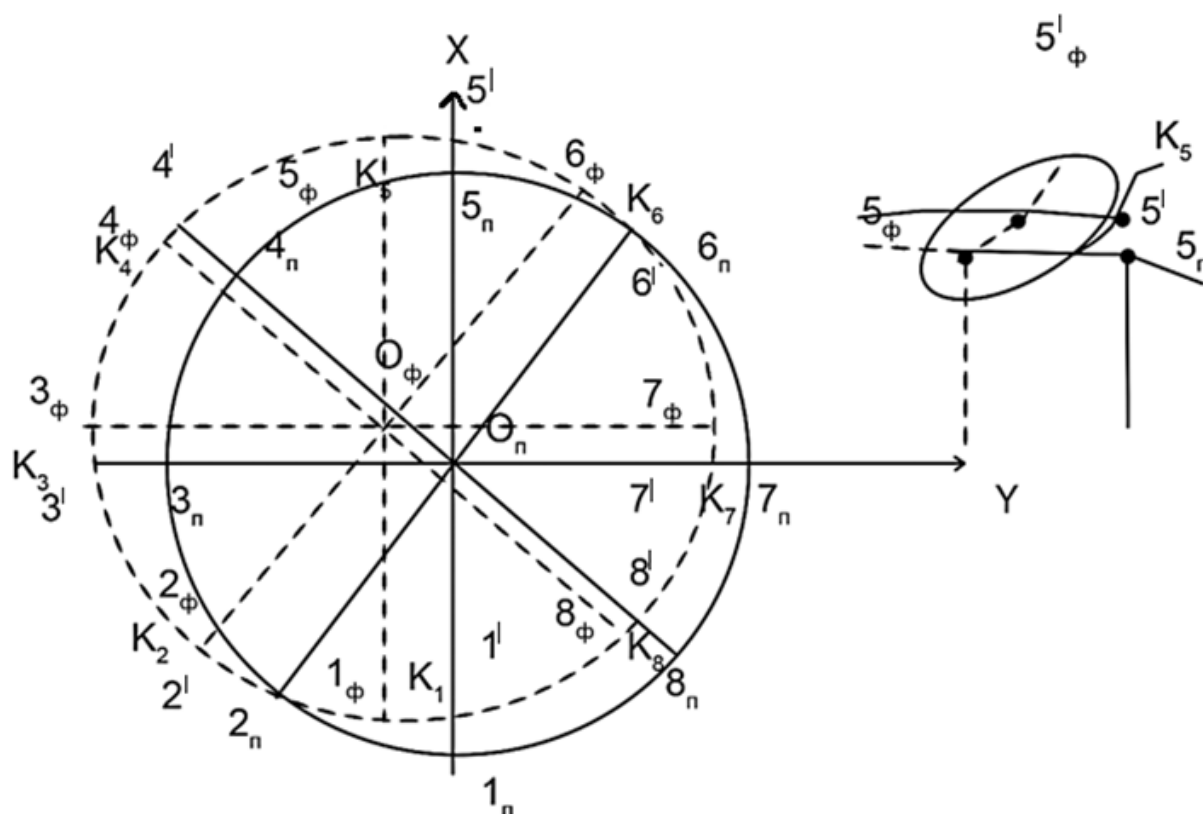
Способ выполнения геодезических работ состоит из следующих технологических операций.

Создают мостовую разбивочную сеть и определяют координаты специальных восьми контрольных точек которые будут расположены на внешних и внутренних поверхностях оболочки. Данное количество точек является оптимальным, так как на оболочке расположено технологическое оборудование, кроме того необходимо надёжно контролировать пространственное положение оболочки в условиях неблагоприятного размещения пунктов наблюдения и определять вертикальность конструкций (рисунок 4.5).

Последовательность работ при определении планового положения оболочки и корректированию положения конструкций будет следующей:

- следует определить местоположение и координаты оболочки, используя при этом приёмники ГНСС или электронные тахеометры;
- при монтаже оболочки совмещают контрольные точки, расположенные на поверхности оболочки с точками на искусственном островке. Контролируют установку колец оболочки с геодезического пункта, расположенного на оси мостового перехода, а если отсутствует видимость, то с построенной опоры моста. Для определения координат контрольных точек необходимо разработать средства крепления отражателей на оболочке при её изготовлении;
- следующим этапом будет определение координат точек и выполнение уравнивания, которое будет проводиться в реальном режиме времени. В этом случае возможно оперативное принятие решений для корректирования положения конструкции, определения центра оболочки и разворота осей;

Железобетонные или металлические сваи-оболочки конструктивно являются достаточно жёсткими конструкциями. То есть они могут считаться условно недеформируемыми. Значит, при контроле за положением оболочки необходимо определять координаты главных осей колец оболочки и их разворот относительно проектного положения.



1_n-8_n – проектное положение точек; $1_φ-8_φ$ – фактическое положение точек; $1_φ-8_φ$ – положение точек, полученное после уравнивания;
 K_1-K_8 – смещение точек с новым положением относительно проектных направлений по дуге; 1^l-8^l – положение точек на проектных направлениях

Рисунок 4.5 – Контроль планового положения свай-оболочек

В геодезии способы для определения и оптимизации положения осей различных объектов и форм (круглой, сферической, прямоугольной) рассмотрены в большом количестве научных и производственных работ. Предложенный в диссертации способ значительно упрощает алгоритм оптимизации и позволяет корректно решить проблему для производства.

Контроль определения координат осей оболочки, оценка точности при разработке и принятии решений по корректированию планового положения конструкций разработана и показана на рисунке 4.6

На определённых этапах строительства опор мостов определяют фактические контрольных координаты точек ($I'_{\phi}-8'_{\phi}$) показанных на рисунке 4.5.

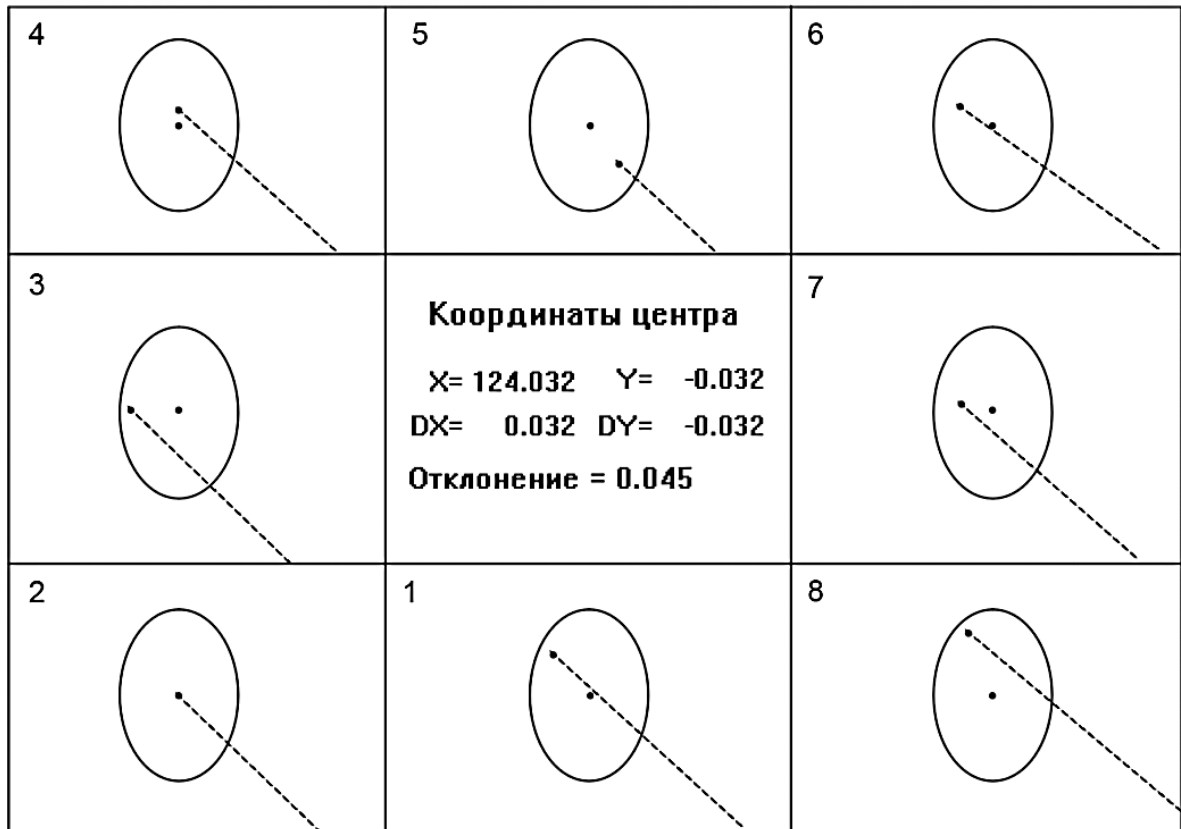


Рисунок 4.6 – Определение отклонений центра оболочки

После чего одновременно для всех контрольных точек в визуальном режиме изображения на экране компьютера осуществляется построение эллипса средних квадратических погрешностей (СКП), элементы которого рассчитывают по известным формулам [68]:

$$tq2\varphi = \frac{2[ab]}{[aa] - [bb]}, \quad A^2 = \frac{2m^2}{[qq] - W}, \quad B^2 = \frac{2m^2}{[qq] + W}, \quad (4.4)$$

где A – величина большой полуоси эллипса;

V – величина малой полуоси;

m – СКП измерения угла;

q – градиент направления;

a, b – коэффициенты.

В онлайн-режиме перемещают (вписывают) проектную окружность при условии минимального отклонения всех точек и их нахождения в пределах эллипса ошибок. После чего получают новые уравненные координаты точек ($1_{\phi}^1 - 8_{\phi}^1$).

Такой алгоритм действий позволяет определить величин ($K_1 - K_8$) – смещения точек и определить разворот осей и смещение центра оболочки относительно проектного положения.

Вычисляют общее смещение центра оболочки L по формуле

$$L = \sqrt{L_x^2 + L_y^2}, \quad (4.5)$$

где L_x, L_y – проекции общего смещения на соответствующие оси координат.

Угловой элемент смещения (разворот осей) α_L находят так

$$\alpha_L = \arctg \frac{L_x}{L_y}. \quad (4.6)$$

Чтобы оценить точность, полученную при определении смещения и разворота осей, необходимо учитывать погрешность величины смещения L и разворота α_L , зависящих от погрешностей m_x и m_y определения координат контрольных точек

$$m_L = \sqrt{\frac{4L_x^2 m_x^2 + 4L_y^2 m_y^2}{L_x^2 + L_y^2}}; \quad m_{\alpha_L} = \sqrt{\frac{L_y^2 m_x^2 + L_x^2 m_y^2}{(L_x^2 + L_y^2)^2}}, \quad (4.7)$$

где m_L , m_{α_L} – СКП определения смещения центра оболочки и определения разворота осей.

На основе предложенной системы контроля в работе проведены исследования с использованием методов математического моделирования для различных данных (расстояний между опорами, диаметра оболочки, параметров эллипса СКП). Полученные результаты ($m_L=5$ мм, $m_{\alpha_L}=8$ мм) говорят о том факте, что разработанная система контроля планового положения оболочки соответствует требованиям СНиП [164, 165], предъявляемым при выполнении геодезических работ в мостостроении.

Следующим этапом производства работ является сооружение ростверка и возведение тела опоры. При этом в качестве базовой геодезической сети на опоре будут использованы координаты контрольных точек на оболочке, а также опорная геодезическая сеть.

На рисунке 4.7 показан геодезический контроль объектов опоры вантового моста во Владивостоке с применением приёмников ГНСС [95].

Такой вид контроля применяют при завершении определённого строительного этапа или мониторинге деформаций при испытаниях мостов. Для текущего (операционного) контроля при монтаже элементов конструкций применяют электронные тахеометры и другие средства измерений.

Наиболее технологичным в условиях применения свай-оболочек является способ бокового нивелирования с созданием параллельной плоскости последовательными приближениями [9, 199].

Для его выполнения методом итераций необходимо добиться равенства отсчётов по рейкам ($a_0 = b_0$). После этого соответствующее значение горизонтального угла тахеометра будет соответствовать параллельному ориентированию луча прибора относительно продольной или поперечной оси опоры (рисунок 4.8).



Рисунок 4.7 – Геодезический контроль опор мостов с применением приёмников ГНСС

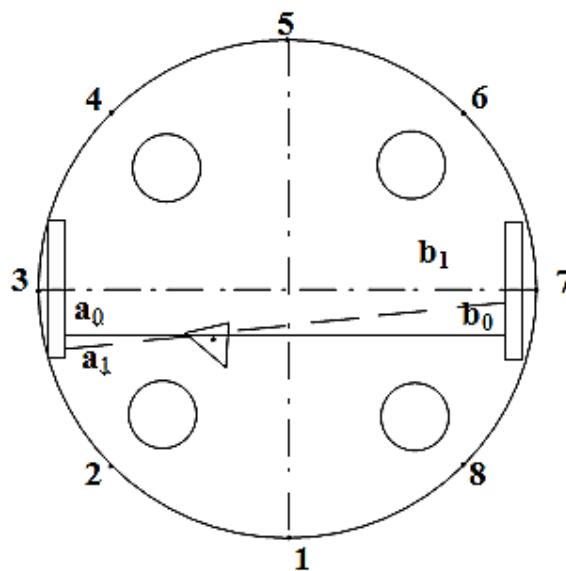


Рисунок 4.8 – Исполнительная съёмка свайного поля

В этом случае СКП ориентирования тахеометра будет равна

$$m_0 = \sqrt{m_a^2 + m_g^2 + 2m_p^2}, \quad (4.8)$$

где m_0 – СКП ориентирования тахеометра;

m_a, m_g, m_p – СКП взятия отсчётов и установки реек.

При невозможности установки реек на контрольные точки целесообразно использовать методику ориентирования прибора, предложенную в работе [47] (рисунок 4.9).

Величина a_0 расположения тахеометра относительно базовой оси определится из выражения

$$a_0 = \frac{S_1 \cdot S_5}{D} \sin \beta, \quad (4.9)$$

где S_1 и S_5 – расстояния до контрольных точек.

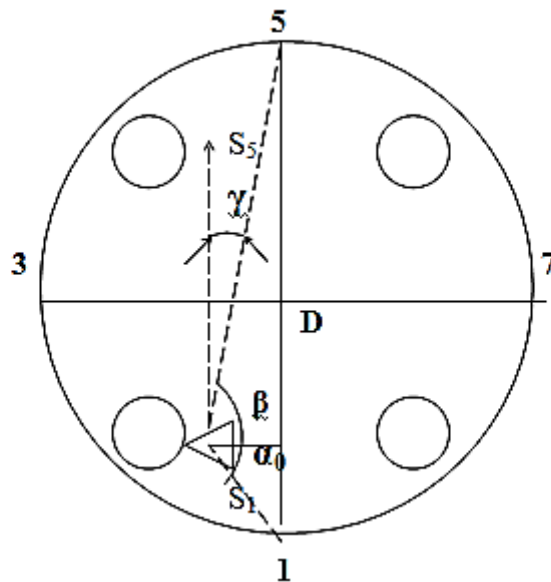


Рисунок 4.9 – Схема ориентирования прибора

Угол поворота γ до направления, параллельного оси, будет равен

$$\sin \gamma = \frac{a_0}{S_5}. \quad (4.10)$$

Точность определения угла m_γ можно определить по формуле

$$m_\gamma = \sqrt{\left(\sqrt{2} \frac{a_0 \cdot m_\beta}{S_5 \cdot S_1} \rho \right)^2 + \left(\frac{S_5}{D} m_\beta \right)^2}, \quad (4.11)$$

где m_s – СКП определения расстояний;

m_β – СКП измерения угла.

В настоящее время в практике мостового строительства наблюдается стремление унифицировать допуски. Это приводит к тому, что не учитываются конструктивные особенности сооружений, силовая схема несущих элементов и т. д. Для этого и необходимо включение в проект производства работ проекта производства геодезических работ, где на основе теории размерных цепей выполняют все необходимые расчёты точности и определяют методы производства геодезических работ.

По поводу точности геодезических измерений в строительстве единого мнения нет. Это связано с тем, что существуют противоположные подходы к решению задачи. Часто точностные параметры определяют в долях допуска замыкающего звена размерной цепи, хотя разбивку выполняют для реализации каждого составляющего звена. Поэтому необходимая точность геодезических работ должна быть определена в долях допуска составляющего звена размерной цепи.

В основу метода расчёта точности геодезических разбивочных работ положены следующие принципы:

- установление равных коэффициентов соотношения ошибок технологических процессов (принципы равного влияния);
- установление минимальных ошибок геодезических разбивочных работ (принцип ничтожного влияния).

Наиболее приемлемым для расчёта необходимой точности геодезических разбивочных работ следует признать «принцип равного влияния» с обязательным учётом коррелированности ошибок технологических процессов. В случае необходимости можно внести впоследствии коррективы в результаты расчёта так, чтобы значение допуска оставалось неизменным.

При расчёте размерных цепей используют теоретико-вероятностный метод [178, 182]. При этом суммарный допуск определяют по формуле

$$\Delta_{\varepsilon} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2}, \quad (4.12)$$

где n – число технологических допусков, влияющих на точность замыкающего звена;

Δ_i – проекция технологических допусков на прямую, параллельную функциональному допуску.

При решении уравнений размерных цепей исходят из условия обеспечения полной собираемости конструкций, которая характеризуется уровнем собираемости 99,73 % и выше. Это условие соблюдается, если $\Delta_{\phi} \geq \Delta_{\varepsilon}$, то есть функциональный допуск больше суммарного технологического или равен ему.

В разделе 1.4 приведены результаты анализа соотношений между функциональным допуском и допуском на геодезические измерения в мостостроении.

Учитывая приведённые соотношения (таблица 1.1), а также результаты расчёта СКП контрольных точек определим допуски на строительно-монтажные и разбивочные работы для мостов, использующих сваи-оболочки. Результаты расчётов показаны в таблице 4.2.

Полученные допуски на геодезические разбивочные работы, сравнимые с допусками на разбивочные работы при возведении зданий и сооружений, регламентированы ГОСТ 21779–82.

Определим класс точности на конкретные виды геодезических работ при строительстве опор мостов с применением свай – оболочек. *Детальный расчёт точности выполнен автором в монографии [120].*

При возведении сооружений точность разбивочных работ регламентируется технологическими допусками: разбивки точек и осей в плане; передачи точек и осей по вертикали; разбивки высотных отметок; передачи высотных отметок. В мостостроении будут следующие классы точности:

Т а б л и ц а 4.2 – Допуски при строительстве опор мостов со сваями-оболочками

Вид работы при сооружении опоры моста с использованием свай – оболочек	Δ_u изготовления, мм	Δ_m монтажа, мм	Δ_r разбивки, мм
Определение центра опоры моста			+24
Определение положения контрольных точек до погружения		± 100	
Отклонение отметок контрольных точек		± 30	
Определение положения точек после погружения с учётом уравнивания			± 20
Отклонение отметок (определение крена)			± 8
Отклонение в положении свай – оболочек при вибропогружении		± 125	± 44
Смещение осей конструкций в плане: – относительно разбивочных осей – свайных ростверков – осей опор в уровне обреза фундамента – осей опор в уровне подферменных площадок		0,004h ± 20 ± 50 ± 40	± 18 ± 7 ± 18 ± 18
Блоки и фундаменты опор – по высоте – по остальным измерениям – плиты ростверка	± 10 ± 20 ± 10		± 4 ± 8 ± 4
Отклонение от вертикали или от проектного наклона боковой поверхности – фундаментов – опор выше обреза фундамента		± 40 ± 50	± 14 ± 18

- а) разбивка точек и осей в плане – 4, 5;
- б) передача точек и осей по вертикали –4-6;
- в) разбивка и передача высотных отметок – 4-6.

Основываясь на полученных данных, проведём проверочный расчёт размерной цепи для мостов на основе прямой задачи, в которой при известных значениях технологических допусков определяется функциональный. После этого определим собираемость опор мостов с применением свай-оболочек большого диаметра.

Для расчёта точности принимаем линейную размерную цепь, в которой её составляющие соосно располагаются на одной линии (ось опоры). В качестве исходного звена (базы) принимаем опорное кольцо оболочки.

Для расчёта плановой размерной цепи в качестве замыкающего звена принимаем смещение оси в уровне подферменной площадки, а для расчёта высотной размерной цепи в качестве замыкающего звена берётся допуск на определение отметки подферменной площадки.

Суммарный строительный допуск определяется известным выражением

$$\Delta_{\Sigma} = \sqrt{\Delta_u^2 + \Delta_m^2 + \Delta_c^2}, \quad (4.13)$$

где Δ_u , Δ_m , Δ_c – соответственно допуск на изготовление, монтаж и геодезическую разбивку.

На смещение оси в уровне подферменной площадки (ПП) будут оказывать влияние следующие ошибки производства работ, показанные на рисунке 4.10:

- смещение оси, полученной от стандартных (контрольных) точек, допуск $\Delta X_{c.m}$;
- смещение оси плиты ростверка $\Delta X_{n.p}$;
- смещение оси тела опоры, допуск $\Delta X_{m.o}$;
- отклонение тела опоры от вертикали, допуск $\Delta X_{m.o.в}$;
- смещение оси ригеля относительно разбивочной оси, допуск $\Delta X_{p.}$.

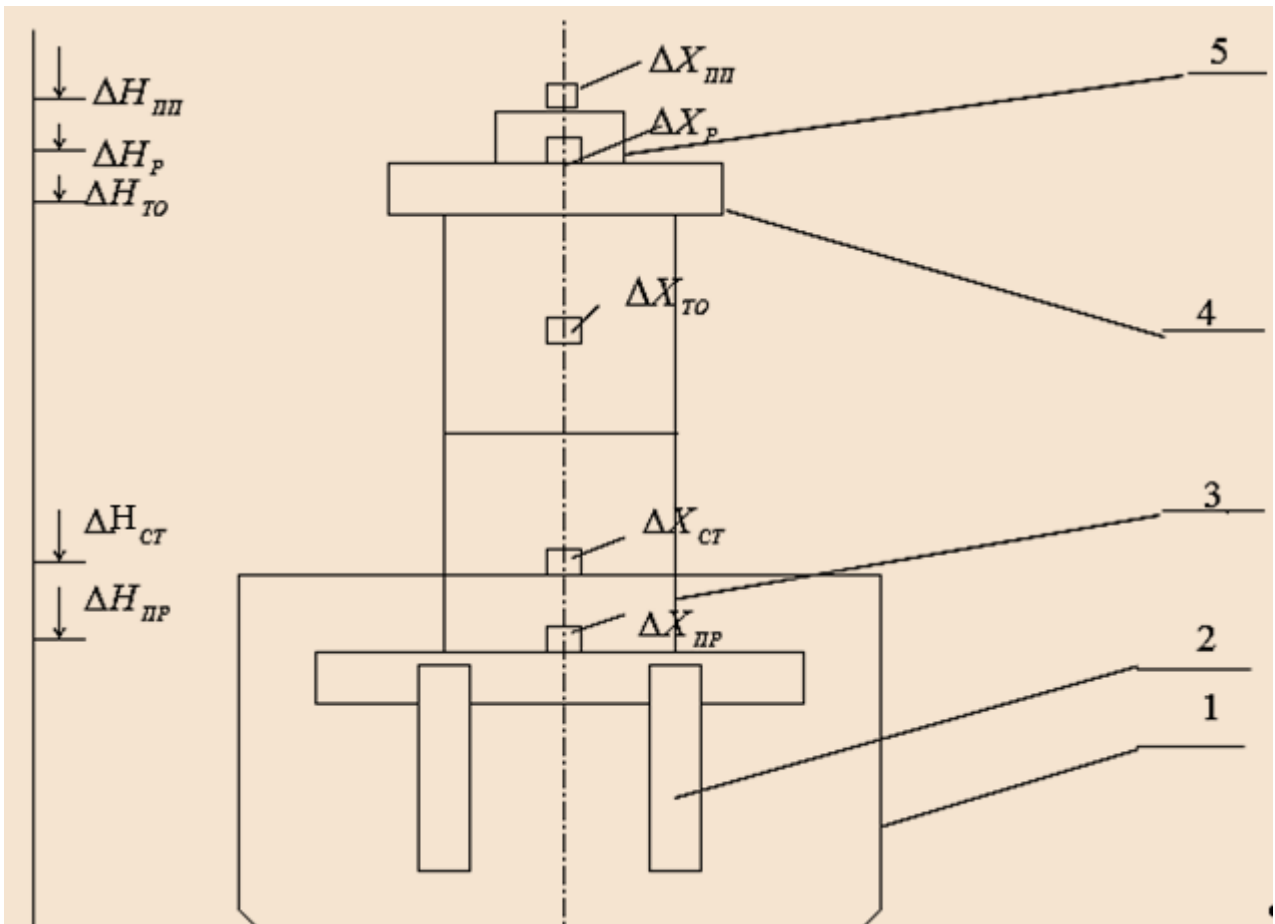


Рисунок 4.10– Схема размерной цепи

Соответственно уравнение допусков для технологических операций имеет вид

$$\Delta x_{n.n} = \sqrt{\Delta x_{c.m.}^2 + \Delta x_{n.p.}^2 + \Delta x_{m.o.}^2 + \Delta x_{m.o.e.}^2 + \Delta x_p^2} = 78 \text{ мм} \quad (4.14)$$

Определим уровень собираемости опоры из соотношения $\Delta x_\phi / \Delta x_{n.n}$, $= 100/78 = 1,28$. То есть в результате расчёта точности получена полная собираемость опоры мостов.

Выполним проверочный расчёт точности сборки опоры по высоте. На определение отметки верха подферменной площадки будут влиять следующие ошибки:

– допуск на определение отметок стандартных (контрольных) точек – $\Delta H_{c.t.}$;

- допуск на изготовление плиты ростверка – $\Delta H_{n.p}$;
- допуск на изготовление блоков тела опоры – $\Delta H_{m.o}$;
- допуск на изготовление ригеля – ΔH_p .

$$\Delta H_{n.n} = \sqrt{\Delta H_{c.m}^2 + \Delta H_{n.p}^2 + \Delta H_{m.o}^2 + \Delta H_p^2} = 25,7 \text{ мм} \quad (4.15)$$

Отношение $\Delta H_\phi / \Delta H_{n.n} = 30 / 25,7 = 1,16$, что также свидетельствует о собираемости конструкций.

В результате расчёта размерных цепей для строительства опор мостов с применением свай-оболочек большого диаметра и согласования точностей геодезических работ можно сделать следующий вывод. *Принятые геодезические способы разбивки опорных колец, способы контроля положения контрольных точек, способы контроля взаимного положения и вертикальности конструкций научно обоснованы и достаточны с позиции точности.*

После возведения опор мостов устанавливают пролётные строения.

В настоящее время применяют следующие способы монтажа пролётных строений:

- полунавесной с пригрузом;
- навесной уравновешенный;
- продольная надвижка.

Выбор способа монтажа зависит от местных условий, конструкции моста, размеров и массы пролётных строений, имеющегося монтажного оборудования. В соответствии со способом монтажа назначается методика проведения геодезических работ, целью которых является обеспечение установки пролётных строений в проектное положение и поэтапный контроль монтажа [29, 69].

При навесной сборке особое значение придаётся контролю осадки временных опор и подмостей, так как чрезмерные взаимные отклонения секций пролётного строения приводят к перераспределению усилий в конструкции и как следствие потерю несущей способности. Неравномерная осадка временных опор

затрудняет сохранение строительного подъёма без проведения дополнительных работ по его обеспечению.

В процессе монтажа с помощью геодезических средств измерений контролируют положение монтируемой консоли в пространстве. При этом тахеометр может быть установлен в центре опоры или вне моста. В данном случае эффективно применение лазерного теодолита (ЛТ), рассмотренного в разделе 1.4, так как прибор позволяет задавать различно ориентированные лазерные плоскости в пространстве.

После приведения консоли в проектное положение пролётное строение освобождается от временных опор и опускается на опорные части. Нивелированием определяют остаточный строительный подъем, по которому судят о качестве монтажа.

При навесном уравновешенном монтаже осуществляют контроль положения наращиваемых консолей с помощью тахеометра, установленного на опоре или на смонтированной части пролётного строения. Наблюдение ведут за створностью, неизменностью контура и положением уравновешенных консолей по высоте.

При продольной подвижке пролётного строения ведут контрольные измерения за створностью поясов относительно опорных частей и за перемещением по вертикали, выдвинутой в пролёт консоли с аванбеком.

Остаточный подъем установленного на опорные части пролётного строения определяется с помощью нивелира или тахеометра после демонтажа накаточных устройств. В дальнейшем выполняется исполнительная съёмка, по результатам которой решается вопрос сохранения или исправления плана и профиля пролётного строения.

4.3 Контроль вертикальности опор мостов и транспортных объектов

При строительстве мостов на фундаментах из свай-оболочек одним из этапов геодезических работ будет контроль по определению крена конструкций в процессе монтажа оболочки. Для определения кренов конструкций и сооружений

применяют различные способы и технологии. Для конкретных производственных задач необходимо выбрать оптимальный способ, который должен учитывать технические параметры сооружения, условия местности и предъявляемые требования к точности геодезических работ.

Крен можно определять с помощью механических отвесов, оптических центриров, инклинометров, а так же из различных геодезических построений с использованием высокоточных геодезических приборов теодолитов и тахеометров [19, 155]. В настоящее время в геодезическую практику активно внедряются наземные системы наземного лазерного сканирования [96, 200]. Автор работы имеет опыт применения лазерного сканера фирмы Leica Scan Station 2. С его помощью можно определять практически все геометрические параметры, однако использование сканера имеет ряд недостатков: невозможность работы при отрицательных температурах, ограничения расстояния до объектов (до 350м), длительная камеральная обработка (по отношению к полевым работам). Поэтому на данном этапе для производственных задач требуется разработка методов позволяющих оперативно определять геометрические параметры и проводить непрерывный геодезический контроль.

Известен способ определения крена, основанный на применении приборов вертикального проектирования, когда применяют различные оптические приборы с уровнями или зенит – приборы с компенсаторами, автоматически приводящими визирную ось в вертикальное положение. Такие приборы позволяют определять крен для сооружений высотой до 100 м с ошибкой в 1–5 мм. При использовании лазера в качестве источника излучения в зенит приборах диапазон измерений существенно увеличивается.

Основными способами по определению крена сооружений являются способ координат, способ, использующий приборы вертикального проектирования, а также способ, измеряющий горизонтальные и вертикальные углы.

При определении крена способом координат вокруг сооружения прокладывают замкнутый полигонометрический ход из 3–5 пунктов и в локальной системе вычисляют их координаты. С пунктов полигонометрии через

определённые циклы методом прямой угловой засечки определяют координаты хорошо видимых, точек на вершине сооружения. По разностям координат этих точек между начальными и текущими циклами находят составляющие крена за данный промежуток времени и по ним определяют полную величину и направление крена.

В способе вертикального проектирования закрепляют постоянными знаками два пункта, расположенных на взаимно-перпендикулярных осях сооружения. На эти пункты устанавливается тахеометр с помощью которого проецируют заметную или замаркированную точку на верху сооружения вниз на основание сооружения, где точка фиксируется на специальной закреплённой рейке или палетке. Из разностей проекций наблюдаемой точки по циклам находят составляющие и величину полного крена.

Наибольшее распространение в практике геодезических работ нашел способ, измеряющий горизонтальные углы, при котором используют два пункта, расположенные на опорных направлениях и они должны быть взаимно-перпендикулярными. В способе измеряют горизонтальные углы, а затем вычисляют разности между углами и определяют горизонтальные проложения до объектов. На основании этих данных определяют составляющие крена и его полную величину [123, 198].

В способе, измеряющем горизонтальные и вертикальные углы, необходимо установить тахеометр на опорный пункт, а затем измерить горизонтальный угол между направлениями на центр конструкции и выбранными точками, а также вертикальный угол на них. Основой для определения крена и его составляющих будут горизонтальные и вертикальные углы и высота, при которой выполняют наблюдение на точку относительно горизонтальной плоскости, проходящей через ось вращения зрительной трубы тахеометра [152, 160].

Для определения крена при подъёме и выравнивании зданий в работах [22, 23] приводится оригинальная технология. Данная методика предназначена для высотных зданий и имеет сложный математический аппарат.

При определении геометрических параметров (в том числе крена) пилона

моста через бухту Золотой Рог использовали комплексную систему, включающую применение электронных инклинометров, тахеометров, приёмников ГНСС фирмы Leica [137]. Эта трудозатратная и энергоёмкая технология, которую следует применять при строительстве уникальных объектов.

Так как при монтаже оболочек опор мостов контролируют плановое положение конструкций с одного геодезического пункта то необходимо для повышения производительности и эффективности работ, чтобы крен также определяли с одного пункта, и кроме того он должен быть составной частью технического контроля в мостостроении.

В диссертационной работе был предложен способ, позволяющий определять крен с одной станции наблюдений и основанный на вычислении разности вертикальных углов [99, 110, 132]. Схема способа показана на рисунке 4.11. Цилиндрическая оболочка имеет высоту H , и радиус R .

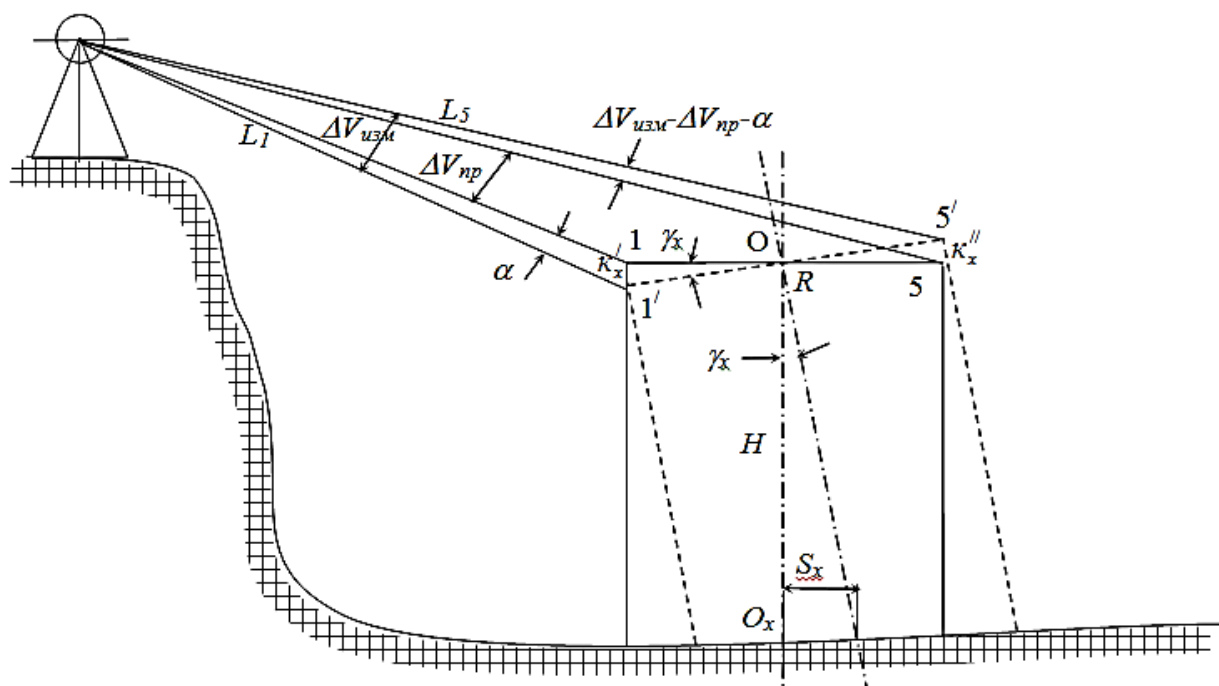


Рисунок 4.11 – Определение крена цилиндрической оболочки

Для его выполнения следует установить тахеометр на пункт разбивочной сети, который должен быть расположен на оси моста. Измерить соответствующие

разности вертикальных углов по точкам 1-5, 2-4, 8-6, 3-7, 2-8, 4-6 расположенным на поверхности оболочки.

Так как по конструктивным особенностям сваи-оболочки относятся к условно недеформированным сооружениям и минимально подвержены деформациям, то в случае наклона оболочки (крена) положение её вертикальной и горизонтальной оси также будет наклонена на угол γ_x (угловая составляющая крена), показанный на рисунке 4.11. Линейную величину составляющей крена S_x получают путём проецирования вертикальной оси OO_x в наклонном положении на горизонтальную плоскость и находят по формуле

$$S_x = \frac{K_x \cdot H}{R} = H \cdot \frac{\gamma_x}{\rho}. \quad (4.16)$$

где H – высота оболочки;

$$\gamma_x = \frac{K_x \cdot \rho}{R} \text{ – угловая составляющая крена.}$$

Высотная величина крена K получается проецированием точки центра конструкции O в изменённом состоянии на вертикальную плоскость, которая проходит через соответствующие точки.

Величину K определяют из выражений:

$$\begin{aligned} K_x' &= L_1 \cdot \frac{\alpha}{\rho}; K_x'' = L_5 \cdot \frac{(\Delta v_{изм} - \Delta v_{пр}) - \alpha}{\rho}; \\ K_x &= K_x' + K_x'' = \frac{(L_1 + L_5)}{2} \cdot \frac{(\Delta v_{изм} - \Delta v_{пр})}{\rho}. \end{aligned} \quad (4.17)$$

где K_x и K_y – высотные составляющие крена;

$\Delta v_{изм}$ – измеренная разность вертикальных углов;

$\Delta v_{пр}$ – проектная разность вертикальных углов;

$L_1 - L_7$ – расстояния до контрольных точек.

Величину K_y , составляющей крена по поперечной оси 3–7 получим

$$K_y = L_3 \cdot \frac{\Delta v_{изм}}{\rho}, \quad (4.18)$$

так как $L_3 = L_7$, а $\Delta v_{изм} = 0$.

Составляющую крена по оси Y получают следующим образом

$$K_y = h_7 - h_3 = L_7 \operatorname{tg} v_7 - L_3 \operatorname{tg} v_3 = (L_3 + \Delta L) \operatorname{tg} v_7 - L_3 \operatorname{tg} v_3 = \\ L_3 (\operatorname{tg} v_7 - \operatorname{tg} v_3) + \Delta L \operatorname{tg} v_7,$$

где h – превышение, определяемое методом тригонометрического нивелирования;
 ΔL – величина неравенство расстояний.

Очевидно, что второй член формулы оказывает ничтожное влияние на точность определения превышений (высотная составляющая крена) при небольших углах наклона. Таким образом

$$K_y = L_3 (\operatorname{tg} v_7 - \operatorname{tg} v_3) = L_3 \frac{\sin(v_7 - v_3)}{\cos v_7 \cos v_3} = L_3 \frac{(v_7 - v_3)}{\rho \cos v_7 \cos v_3}.$$

При углах наклона до $10^\circ \cos v_7 \cos v_3 \approx 1$, следовательно

$$K_y = L_{3,7} \cdot \frac{\Delta v_{изм}}{\rho}.$$

Аналогичным образом получают составляющая крена по оси X.

Из рисунка 4.12 видно, что величина K'_x перпендикулярна к визирной оси тахеометра и наклонена к составляющей крена на угол v наклона визирной оси к горизонту, поэтому

$$K_x = \frac{K'_x}{\cos v} \text{ и } K_y = \frac{K'_y}{\cos v}, \quad (4.19)$$

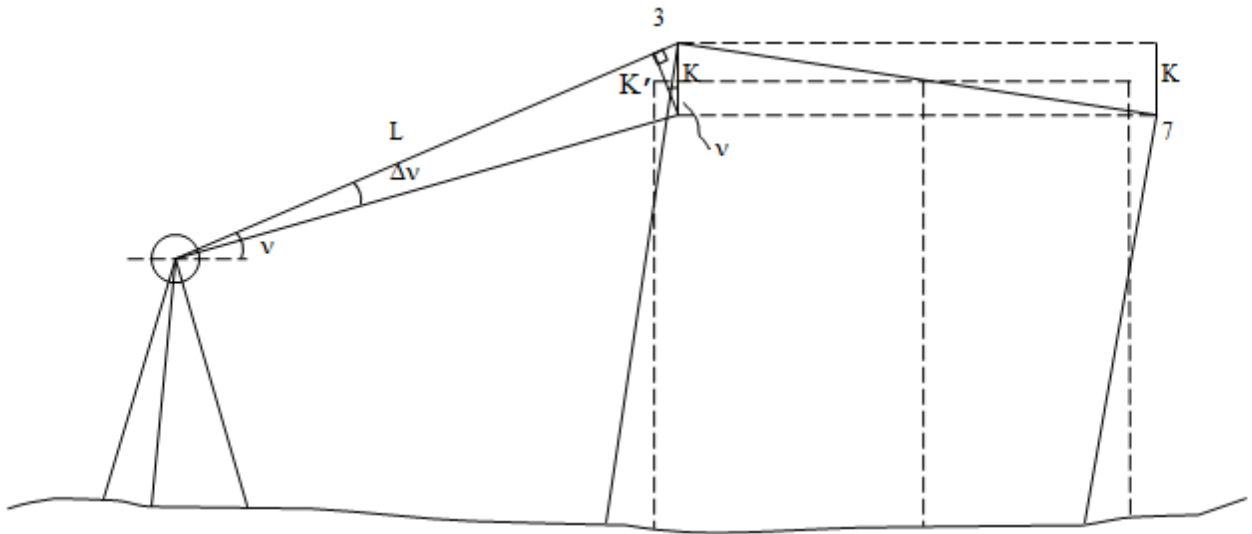


Рисунок 4.12 – Влияние наклона визирного луча

или окончательно получим

$$K_x = \frac{(L_1 + L_5)}{2} \frac{(\Delta v_{изм} - \Delta v_{пр})}{\cos v \rho}, \quad K_y = L_{3,7} \frac{\Delta v_{изм}}{\cos v \rho}. \quad (4.20)$$

Общую величину крена K определим по формуле

$$K = \sqrt{K_x^2 + K_y^2}. \quad (4.21)$$

Предложенный способ позволяет определить значение крена в угловом, линейном, высотном выражении по измеренной разности вертикальных углов и предвычисленным (проектным) значениям горизонтальных проложений и превышений.

Проектным положением цилиндрической оболочки является горизонтальным, при котором замаркированные на её верхней поверхности стандартные точки находятся в одной горизонтальной плоскости и имеют одну и

ту же проектную отметку.

Для пар точек, расположенных на линиях, параллельных оси Y (3–7, 2–8, 4–6) проектная разность вертикальных углов будет равна нулю ($\Delta v = 0$), поскольку расстояния от пункта разбивочной сети до каждой из пар точек будут равны ($A_2 = A_8, A_3 = A_7, A_4 = A_6$). Для пар точек, расположенных на оси X и линиях им параллельным, проектная разность вертикальных углов не будет равна нулю, поскольку расстояния от пункта до соответствующих пар точек не одинаковы. Проектные разности вертикальных углов для этих пар точек (1–5, 2–4, 6 – 8) предвычисляются приведённым ниже способом. Для пары точек (1–5) проектная разность вертикальных углов может быть получена так

$$\Delta v_{1-5} = v_1 - v_5 = \operatorname{arctg} \frac{h_1}{l_1} - \operatorname{arctg} \frac{h_5}{l_5}, \quad (4.22)$$

где h – превышения соответствующих точек над пунктом разбивочной сети;

l – горизонтальные проложения линий между пунктом и соответствующими замаркированными точками.

Математически строго следовало бы учесть изменение превышений h_1 и h_5 при выводе формулы (4.22) за счёт высоты прибора I , то есть

$$h_1 = H_A + I - H_1 \text{ и } h_5 = H_A + I - H_5, \quad (4.23)$$

где H_A – отметка пункта A ;

H_1 и H_5 – отметки соответствующих замаркированных точек.

Однако в формуле вычисления разности вертикальных углов превышения h_1 и h_5 увеличиваются на одну и ту же величину I и не имеют значения при определении разности, поэтому в практике определения крена высоту прибора можно не учитывать.

Для оперативного вычисления величины крена и его направления разработана программа, интерфейс которой представлен на рисунке 4.13.

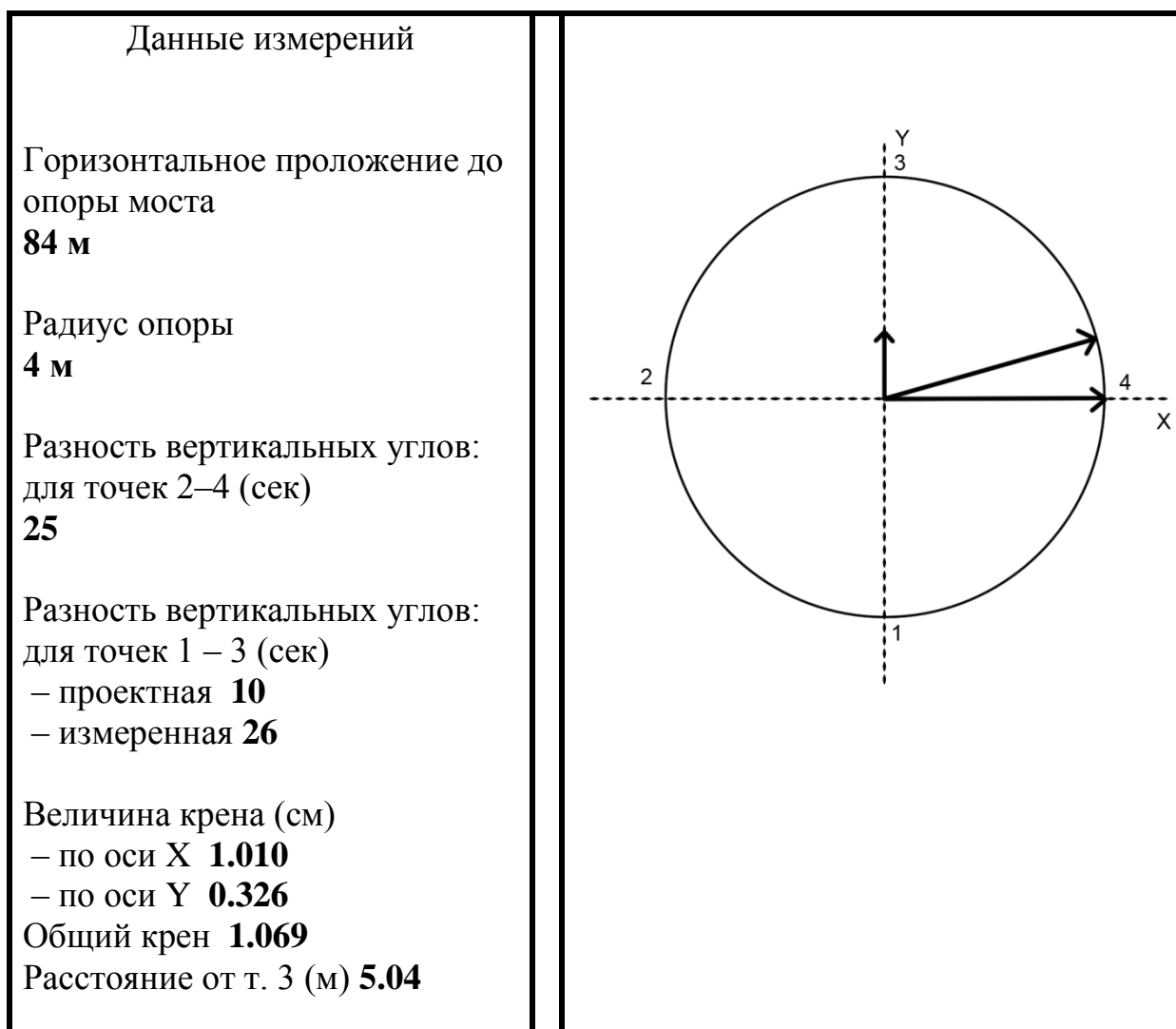


Рисунок 4.13 – Интерфейс программы определения крена с одной станции

В работе рассмотрена эффективность разработанного способа определения крена для опор мостов по сравнению с известными и широко применяемыми способами [49, 152]. Результаты исследования и сравнительный анализ показан в таблице 4.3.

Выводы и заключения, приведённые в таблице, показывают, что экспресс-способ для определения крена опор мостов в большинстве случаев является не только более производительным, но и единственно возможным.

СКП $m_{k,x,y}$ определения составляющих крена определяют из уравнения

Т а б л и ц а 4.3 Сравнительный анализ способов определения крена при строительстве опор мостов

№	Способы	Способ Раинкина (горизонтальных и вертикальных углов)	Способ Зеленского (малых зенитных расстояний)	Экспресс-способ Никитина
	Показатели			
1.	Станции наблюдений	1	2	1
2.	Расстояние от геодезического прибора до объекта	Равно высоте измеряемого объекта	Одинаковое с двух пунктов наблюдений	Возможность изменять пункты наблюдений (опора, береговой устой)
3.	Количество факторов, влияющих на точность	4	8	2 (Отсутствуют погрешности измерения высоты прибора и влияния внешней среды)
4.	Технология работ (производительность)	Трудоёмкая (установка прибора на одной высоте, поправка за углы наклона, длительное время между начальным и текущим циклом наблюдений)	Трудоёмкая (специализированные марки на объект, установка прибора на одной высоте, применение насадок для окуляра)	Высокая производительность (за счёт измерения только разности вертикальных углов)
5.	Возможность определения величины и направления крена	Только угловая составляющая крена	Угловая и линейная составляющие крена	Угловая, линейная и высотная составляющие крена

$$m_{k,x,y} = \sqrt{m_L^2 \left(\frac{\Delta v}{\rho \cos v} \right)^2 + m_{\Delta v}^2 \left(\frac{L}{\rho \cos v} \right)^2 + m_k^2 \left(\frac{L}{2R} \right)^2}, \quad (4.24)$$

где m_L , $m_{\Delta v}$, m_k – СКП определения длин линий, разности вертикальных углов и коэффициента рефракции.

Вопросы учёта рефракции при выполнении тригонометрического нивелирования с применением электронного тахеометра рассмотрены в работе [151].

В предложенном способе измерения выполняют на равной высоте относительно водной поверхности, и они проходят в одном временном интервале, поэтому для определения крена конструкций и превышений поправку за кривизну Земли и рефракцию можно не учитывать. Из анализа формулы следует, что для вертикальных углов до $\pm 10^0$ величина неравенства в расстояниях до контрольных точек может составлять более 1 м.

К задачам технического контроля при возведении опор мостов относятся не только определение геометрических параметров, но и оперативное устранение крена.

При этом угловая и линейная составляющая крена не содержат информации, позволяющей устранить крен. В отличие от существующих способов, только высотное выражение крена позволяет рассчитать необходимую величину, на которую необходимо сместить оболочку с помощью вибропогружателей, установленных на поверхности оболочки.

Влияние угла наклона визирного луча к горизонту проанализируем с помощью таблицы 4.4, где приведены поправки ($\Delta K = K - K'$) в приближённые значения составляющих крена K' , вычисленные по формулам (4.17) без учёта угла наклона. Как видно из полученных данных угол наклона визирного луча к горизонту можно не учитывать при его значениях меньше 10° , так как величина ΔK не превышает 1–1,5 %. Изменение угла наклона на 1° почти не изменяет величину поправки, отсюда следует, что точность получения значений V требуется невысокая. Составляющие крена (K_x и K_y) при значениях углов наклона до 10° можно определять без учёта V .

Т а б л и ц а 4.4 – Значения поправок ΔK за угол наклона

Вертикальный угол в градусах	Приближенные составляющие крена K' , мм						
	20	30	40	50	60	70	80
5	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3
10	0,3	0,4	0,6	0,8	0,9	1,0	1,2
15	0,7	1,0	1,4	1,7	2,0	2,4	2,7
20	1,2	1,8	2,4	3,0	3,6	4,2	4,8
25	1,9	2,8	3,8	4,7	5,6	6,6	7,5
30	2,7	4,0	5,3	6,7	8,0	9,4	10,5
35	3,6	5,4	7,2	9,0	10,8	12,6	14,4
40	4,7	7,0	10,4	11,7	14,1	16,4	18,7
45	5,9	8,8	11,7	14,6	17,6	20,5	23,4

В практику проектирования и строительства искусственных сооружений внедряются технологии информационного трёхмерного моделирования зданий и сооружений BIM (Building Information Modeling).

В работе [170] приведены основные научные и производственные задачи, направленные для дальнейшего развития технологий при 3 D моделировании дорожно-транспортной инфраструктуры. Отмечено, что перспективным является проектирование мостов и искусственных сооружений в проекте IFC-Bridge. Он позволяет осуществить процесс трёхмерного проектирования мостов.

На рисунках 4.14 и 4.15 показана созданная трёхмерная модель способа определения крена по измеренной разности вертикальных углов.

Применение пространственной модели позволит оперативно и в реальном режиме времени принимать инженерные решения по корректированию положения конструкций и сооружений.

В мостостроении при сооружении опор в некоторых случаях существует возможность определять крен с двух станций. С двух взаимно-перпендикулярных направлений определяется крен и для наземных сооружений цилиндрической формы (рисунок 4.16).

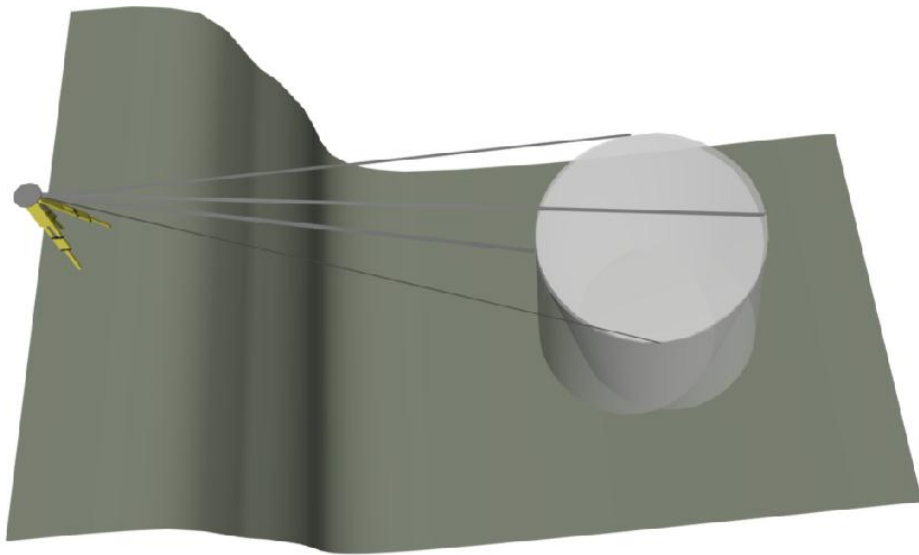


Рисунок 4.14 – Трёхмерная модель способа определения крена (вид сверху)

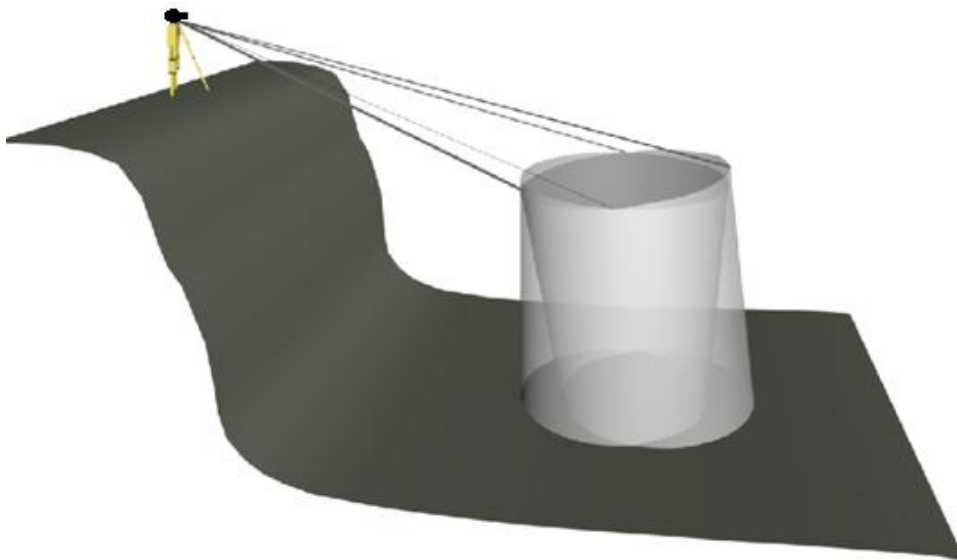


Рисунок 4.15 – Трёхмерная модель способа определения крена
(фронтальное изображение)

Предварительно необходимо вынести на местность и закрепить т. В по горизонтальным проложениям и проектным углам.\

Приняв направление А5 за ось X (продольная ось), а В7 за ось Y (поперечная ось), измеряют разности вертикальных углов с пункта А Δv_{3-7} и с точки В Δv_{1-5} .

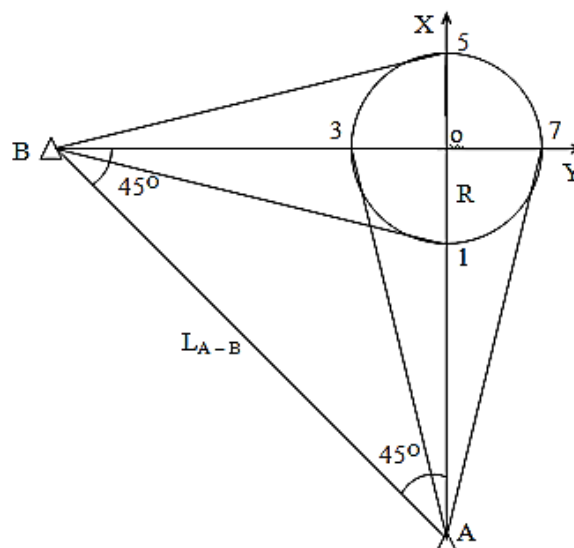


Рисунок 4.16 – Определения крена с двух станций

Высотное выражение продольной и поперечной составляющих крена и общую величину крена вычисляют из выражений:

$$K_X = L_{A3} \frac{\Delta v_{37}}{\rho \cdot \cos v_{A3}}, K_Y = L_{B1} \frac{\Delta v_{15}}{\rho \cdot \cos v_{B1}}. \quad (4.25)$$

Необходимо отметить, что рассмотренная методика определения крена по измеренной разности вертикальных углов может видоизменяться. Например, наклонные расстояния могут не вычисляться, а измеряться непосредственно на местности тахеометром работающем в безотражательном режиме.

Способ определения крена по измеренной разности вертикальных углов, может применяться и для контроля пространственного положения различных объектов, входящих в полосу отвода автомобильных и железных дорог. Рассмотрим использование данного способа для оперативного определения крена сооружений башенного типа.

Под сооружениями башенного типа (как элементов инфраструктуры дорог) понимаются сооружения, имеющие форму усечённого конуса, такие, например,

как градирни и дымовые трубы ТЭЦ, сооружения линий связи (башни и мачты). Крен таких сооружений вызывается неравномерными осадками фундаментов, ветровыми нагрузками и другими природными факторами [41].

Так же в случае отсутствия пунктов опорной разбивочной сети, вместо опорного пункта А можно определить произвольную точку и производить измерения с этой точки, а также с точки, расположенной на взаимно-перпендикулярном направлении [133].

Предлагаемый автором [99, 130, 136] способ определения крена по измеренной разности вертикальных углов обеспечивает необходимую точность и менее трудоёмок. Особенно он эффективен при использовании тахеометра, работающего в безотражательном режиме.

Работа по определению крена предлагаемым способом начинается с выбора произвольной точки А, с которой была бы прямая видимость на сооружение, для которого определяется крен, и на сектор, расположенный под углом в 45° от начального направления АО (рисунок 4.17) в правую или левую сторону. Дальнейшие вычисления выполняются аналогично рассмотренной выше методики в соответствии с формулами (4.17) и (4.20). При этом измерения выполняют на разных высотных горизонтах.

Общая величина высотного выражения крена K_h находится по формуле (4.21).

Угловая величина крена γ вычисляется как

$$\gamma = \frac{K_h \rho}{2R}, \quad (4.26)$$

где R – радиус сооружения в наблюдаемом сечении.

СКП m_γ получения углового выражения крена находят по формуле

$$m_\gamma = \frac{\rho}{2R} \sqrt{m_h^2 + \frac{m_R^2 K_h^2}{4R^2}}, \quad (4.27)$$

где m_h , m_R – СКП определения высотной составляющей крена и радиуса.

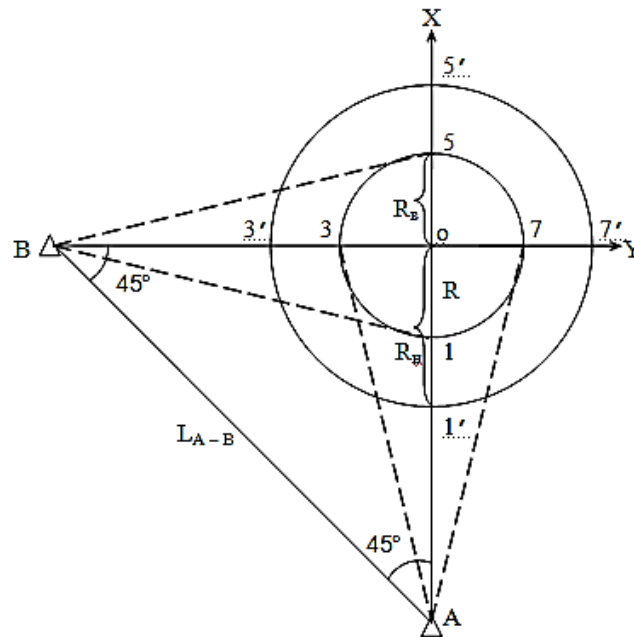


Рисунок 4.17 – Схема по определению крена сооружений башенного типа

Относительная величина крена определяется как отношение $K_h/2R$.

Для сооружений башенного типа в инструкциях и СНиПах приведены допуски для определения линейной составляющей крена, которое в предлагаемом способе будет равна

$$K_s = H \frac{\gamma}{\rho}, \quad (4.28)$$

где K_s – линейная величина крена;

H – высота сооружения (от основания до наблюдаемого пояса).

Оценку точности результата определения K_s определяют так

$$m_s = \frac{1}{\rho} \sqrt{m_h^2 \gamma^2 + m_\gamma^2 H^2}, \quad (4.29)$$

где m_s , – СКП определения линейного выражения крена,

m_H – СКП определения высоты сооружения.

Одним из факторов, влияющих на точность определения крена, будет то, что крен определяют для малых по величине горизонтальных осей (диаметр) конструкции. Наименее точные значения будут получены по верху сооружения. Так как при переводе крена в линейную составляющую значения выражаются малыми числам, значит, увеличивается погрешность определения.

В таких случаях приобретает важное значение разработка конкретных методик и предрасчёт требуемой точности наблюдений для конкретного сооружения.

В работе предложен способ по определению крена дымовых труб. Допускаемые отклонения для выполнения расчётов приведены в СНиП [71]:

– предельная погрешность измерений для дымовых труб не должна превышать $0,0006 H$, где H – высота сооружения;

– предельные относительные значения кренов для дымовых труб высотой до 100 м – 0,005, а высотой от 100 до 300 м – $1/(2 H)$.

Далее рассчитаем точность геодезических работ для определения отклонения от вертикальности дымовой трубы в виде железобетонной оболочки [75], которая имеет следующие параметры: высоту – 250 м; диаметр отверстия в верхней части трубы – 16 м; диаметр трубы в нижней части составляет 26, 9 м.

Предельная погрешность для определения высотной величины крена по базовому допуску составит $0,0006H$, и соответственно получим допуск для определения крена в верхнем сечении трубы 8 мм.

Для этого рассчитывается значение погрешности, с которой следует измерять разность вертикальных углов по формуле (4.24). Если $m_h = 4$ мм и расстояние от тахеометра до сооружения $L = 250$ м, $\Delta v = 100''$. Получим СКП $m_v = 3,5''$; предельную погрешность $7''$. Такую точность измерений обеспечивают современные тахеометры.

При выполнении измерений и вычислении разности по вертикальным углам в среднем и верхнем поясе сооружения точность работ будет увеличиваться, в

связи расширением наблюдаемой базы, а $m_v = 6''$.

На точность геодезических измерений оказывают влияние погрешности в изготовлении и монтаже конструкций поясов трубы. Даная погрешность определяется как систематическая при нахождении крена, в тоже время она будет определять не параллельность наблюдаемых поясов. Допуск на точность монтажа поясов составит 5 мм, СКП не должна быть более 0.2 СКП определения крена.

Но при значительном временном интервале эксплуатации дымовых труб, следует погрешность, вызванную не параллельностью наблюдаемых поясов определить и минимизировать её влияние на результаты по определению крена.

Схема наблюдений при определении не параллельности поясов показана на рисунке 4.18.

Погрешность определения Δh вычисляют по значениям вертикальных углов v и горизонтальным проложениям d до наблюдаемых точек. В данном случае для определения разности отметок между поясами в наблюдаемых сечениях применяют по формуле

$$\Delta h_1 = d_1 (tg v_1 - tg v_2) = d_1 \frac{\sin(v_1 - v_2)}{\cos v_1 \cos v_2}. \quad (4.30)$$

Для того чтобы определить не параллельность поясов δh как величину соответствующей разности между превышениями в наблюдаемых точках разных поясов, которые располагаются на противоположных концах трубы, следует воспользоваться выражением

$$\begin{aligned} \delta h_{1-2} &= \Delta h_{1-2} - \Delta h_{1'-2'}^i, \\ \delta h_{2-3} &= \Delta h_{2-3} - \Delta h_{2'-3'}^i, \\ \delta h_{1-3} &= \Delta h_{1-3} - \Delta h_{1'-3'}^i. \end{aligned} \quad (4.31)$$

При этом поправка будет вводиться с отрицательным знаком при измерении

составляющих крена.

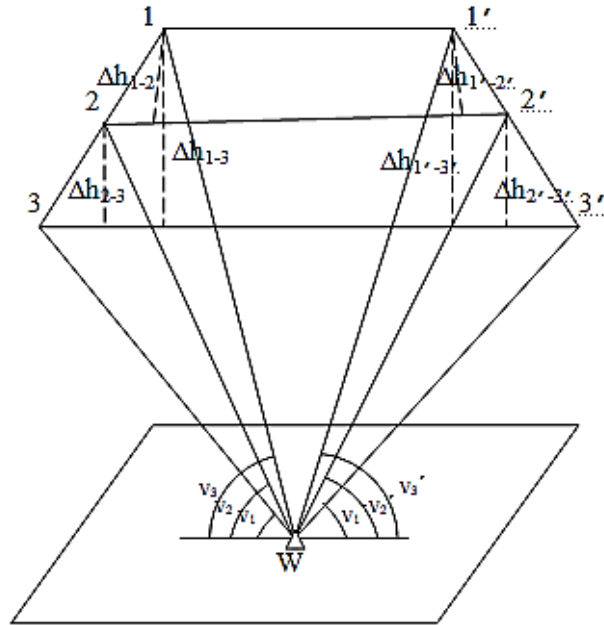


Рисунок 4.18 – Определение не параллельности поясов

Разработанный способ по определению крена, основанный на измерении разности вертикальных углов, также может быть использован для определения отклонения от вертикальности дымовых труб и других сооружений башенного типа. Однако для каждого типа сооружений необходимо предварительно выполнить предрасчёт точности.

Но для высоких сооружений точность предложенного способа будет ухудшаться в зависимости от увеличения высоты конструкций.

Разработанный способ достаточно эффективен и соответствует нормативным требованиям для определения крена при условиях, когда диаметр конструкции по верху должен составлять не менее 10 м и высота объекта быть не более 100 м.

Таким образом, способ предназначенный определять крен высотных объектов и основанный на вычислении разности вертикальных углов следует рекомендовать для сооружений имеющих соотношение диаметра D вверху конструкции и высоты H как

$$\frac{D}{H} \geq \frac{1}{10}. \quad (4.32)$$

При появлении признаков деформаций зданий, выражающихся появлением трещин, осадках частей сооружения, изгибах конструкций, возникает необходимость проведения наблюдений за их динамикой (ростом или затуханием) с тем, чтобы своевременно разработать и осуществить мероприятия по предотвращению разрушения объекта. Классические и современные методы наблюдений за деформациями инженерных объектов рассмотрены в работах [42, 63, 197] и др.

Достаточно эффективным является методика наблюдений за деформациями транспортных объектов, основанная на измерении разности вертикальных углов, изложенная в работе автора [100]. В предлагаемой методике восстанавливают геометрические оси объекта одним из известных способов. Определяют разности вертикальных углов $\Delta \nu$ и наклонные расстояния L (рисунок 4.19), после чего вычисляют превышения между парами точек по формуле

$$h = L \frac{\Delta \nu}{\rho \cos \nu}. \quad (4.33)$$

В результате всего комплекса измерений получают построение, аналогичное замкнутому нивелирному ходу. По превышениям определяют осадки сооружения относительно одной из замаркированных точек, например первой. Если есть необходимость в получении абсолютных осадок, тогда замаркированной точке передаётся абсолютная отметка от осадочной марки, заложенной в цоколе здания под замаркированной точкой на верху сооружения и принятой за исходную. Более эффективно рассматриваемый способ проявляется при его совмещении с другими известными способами определения деформаций.

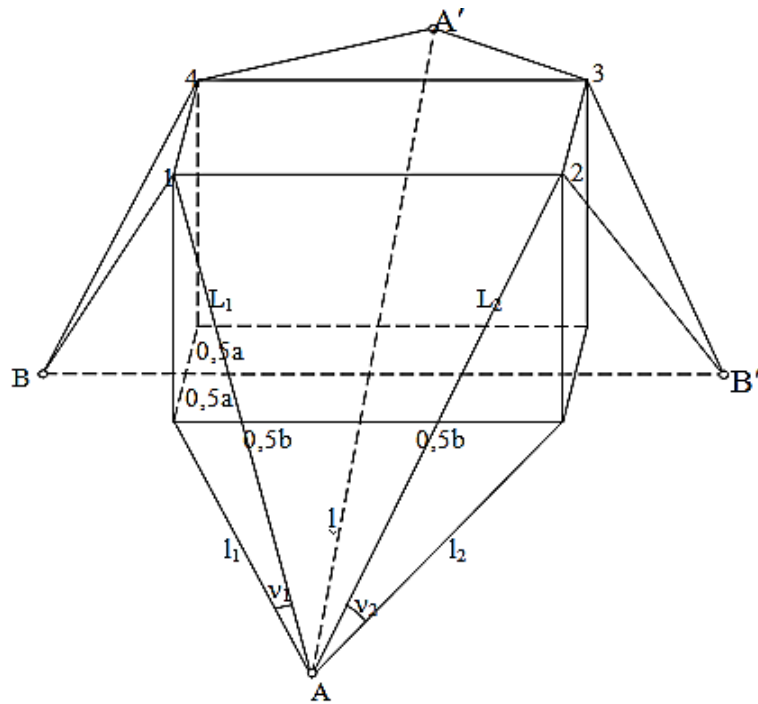


Рисунок 4.19 – Метод определения деформаций по измеренной разности вертикальных углов

Выводы по разделу:

- предложена система контроля геопро пространственной информации в мостостроении;
- разработан и теоретически обоснован способ контроля планового положения опор мостов, возводимых на цилиндрических оболочках большого диаметра. Доказана его производственная эффективность на основе детального расчёта точности;
- разработан способ контроля вертикальности опор мостов по измеренной разности вертикальных углов, повышающий производительность труда. Введено понятие «высотное выражение крена», под которым понимается возвышение одного края сооружения над другим. Это значение необходимо для установления реальных величин корректировки инженерных объектов;
- исследовано применение способа определения крена по измеренной разности вертикальных углов для сооружений башенного типа и при определении деформаций промышленных и гражданских зданий с использованием электронных тахеометров.

5 РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ РАБОТ НА АВТОМОБИЛЬНЫХ И ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГАХ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

5.1 Принципы и методы инженерно-геодезических изысканий железнодорожных станций и узлов

Технически и энергически сложной задачей считается выполнения инженерно-геодезических изысканий на железнодорожных станциях и узлах. Так как на станциях расположено значительное количество по назначению и форме объектов.

Как было отмечено, в разделе 1.5 к перспективным задачам геодезии в области инфраструктурных объектов железнодорожного транспорта относится *создание ВКС*. Основопологающим звеном в создании единого координатного пространства железных дорог будет геодезическая съёмка железнодорожных станций и узлов.

Целью съёмки существующих железнодорожных станций и узлов является получение планов, продольных и поперечных профилей, координат элементов станционной ситуации, ведомостей стрелочных переводов, путей, зданий, сооружений и других технических документов и данных, необходимых для нужд эксплуатации, а также для разработки комплексного проекта переустройства станций и узлов и выноса проекта в натуру.

Автор диссертации принимал участие при выполнении инженерно-геодезических работ на железнодорожных станциях Забайкальской и Дальневосточной железных дорог с 2005 по 2012г. Основные методы и принципы инженерно-геодезических изысканий на железнодорожных станциях были эффективно использованы при выполнении производственных работ.

За данный период изыскательской партией ДВГУПС была выполнена съёмка более 15 станций и узлов. При этом изыскания проводилось как классическими методами, так и с применением современных средств измерений (электронные тахеометры, приёмники ГНСС).

По заданию департамента пути и сооружений ОАО «Российские железные дороги» в ДВГУПС, под руководством профессора, д-р техн. наук. Шварцфельда В.С., был разработан программный комплекс составления и ведения масштабных планов станций, продольных профилей станционных путей, паспортизации плана и профиля пути перегонов на основе данных инструментальной съемки (ПК ИССП). В состав ПК ИССП входит модуль по составлению электронных масштабных планов станций («План станций») [171].

План железнодорожной станции для нужд эксплуатации составляют, как правило, в масштабе 1:2 000, а для проектирования ее развития – 1:1 000.

Съемку железнодорожной станции или узла производят на основе технического задания, которое должно содержать:

- наименование объекта съемки;
- цель съемки;
- границы съемки;
- индивидуальные требования, вызываемые специфическими условиями съемки или проектирования конкретной станции или узла (способ съемки, масштабы съемки и составления планов и профилей и др.);
- другие данные, необходимые для установления объема предстоящих изыскательских и обследовательских работ.

К техническому заданию прилагают копии масштабного или схематического плана станции или узла с показанными на них границами полосы отвода и границами предстоящей съемки.

В состав полевых работ при съемке станции в общем случае входят:

- рекогносцировка, проектирование, построение и закрепление геодезического обоснования;
- определение местоположения центров стрелочных переводов;
- съемка путевого развития и объектов станции;
- съемка поперечных профилей;
- измерение габаритных расстояний от осей путей до ближайших зданий и сооружений;

- съемка сортировочных горок;
- съемка искусственных сооружений и водоотводных устройств;
- съемка подземных, наземных и воздушных коммуникаций;
- съемка участков пристанционной территории;
- обследование текущего состояния верхнего строения пути, зданий, искусственных сооружений, водоотводов, подземных и воздушных коммуникаций.

Планы станций должны содержать сведения о путевом развитии, искусственных сооружениях, устройствах наземных и подземных коммуникаций, элементах ситуации и рельефа.

Помимо графического изображения путевого развития и других элементов ситуации, на планах станции, при необходимости, приводят координаты центров стрелочных переводов, углов пассажирского здания, локомотивного и вагонного депо, постов централизации, расположенных между путями или в непосредственной близости к ним служебных и технических зданий. А также наружных граней опор искусственных сооружений, опор контактной сети, прожекторных мачт и опор высоковольтных линий электропередач, междупутные расстояния на пикетах и характерных местах, элементы круговых и закрестовинных кривых.

Основой инструментальной съемки плана станции служит геодезическое плано-высотное (ПВО) обоснование (опорная геодезическая сеть). Геодезическое обоснование станции обеспечивает необходимую точность съемки путевого развития и станционной ситуации, а также пристанционной территории в границах, указанных в техническом задании.

Система ходов планового обоснования станции состоит из опорной сети, включающей в себя один или несколько полигонометрических (для участков станции и узлов) ходов, которые опираются, как правило, на пункты полигонометрии на территории городов и поселков, и съемочных ходов, опирающихся на точки ходов опорной сети.

Координаты точек планового обоснования вычисляют в различных системах координат (станционной, МСК). Система высот Балтийская.

В большинстве случаев в качестве точки начала координат принимают местоположения пересечений оси пассажирского здания (ПЗ) с ходом полигонометрии, который прокладывают вдоль главного пути.

Положение оси пассажирского здания устанавливают одновременно с разбивкой пикетажа.

Если на станции предполагается тупиковое расположение вокзала, осью станции может быть принята ось капитального строения, находящегося в границах станции.

Для составления проекта геодезического обоснования используют действующие планы и схемы станций. Если планы отсутствуют, то проектируют ПВО непосредственно на местности.

Методика выполнения инженерно-геодезических работ, а также протяжённость и виды ходов определяются в зависимости от следующих факторов:

- размеров и конфигурации железнодорожных станций и территорий;
- подходов к железнодорожным линиям и подъездным путям;
- расположением здания ПЗ (оно может быть боковым или островным).

Ходы ОГС на станции прокладывают, как правило, в междупутьях вдоль главного пути или оси парка.

ПВО прокладывают в местах, удобных для выполнения измерений и обеспечивающих наилучшее их использование для съёмки и работ по выносу проекта в натуру (на станциях – в междупутьях параллельно путям, вне станции – по дорогам, вдоль улиц и т. п.).

При съёмке станций, путевое развитие которых состоит из нескольких парков и хозяйств (приёмootправочные и сортировочные парки, грузовой двор, локомотивное, вагонное хозяйство и т. п.) ходы разбивают, в зависимости от количества путей, плановое обоснование съёмки в виде одиночного

полигометрического хода или системы съёмочных ходов с полигометрическим ходом, параллельным продольной оси парка.

Характерным примером *многоступенчатого* геодезического обоснования может служить ПВО для реконструкции станции Карымская ЗабЖД (2005, 2006г.). Фрагмент обоснование показан на рисунке 5.1.

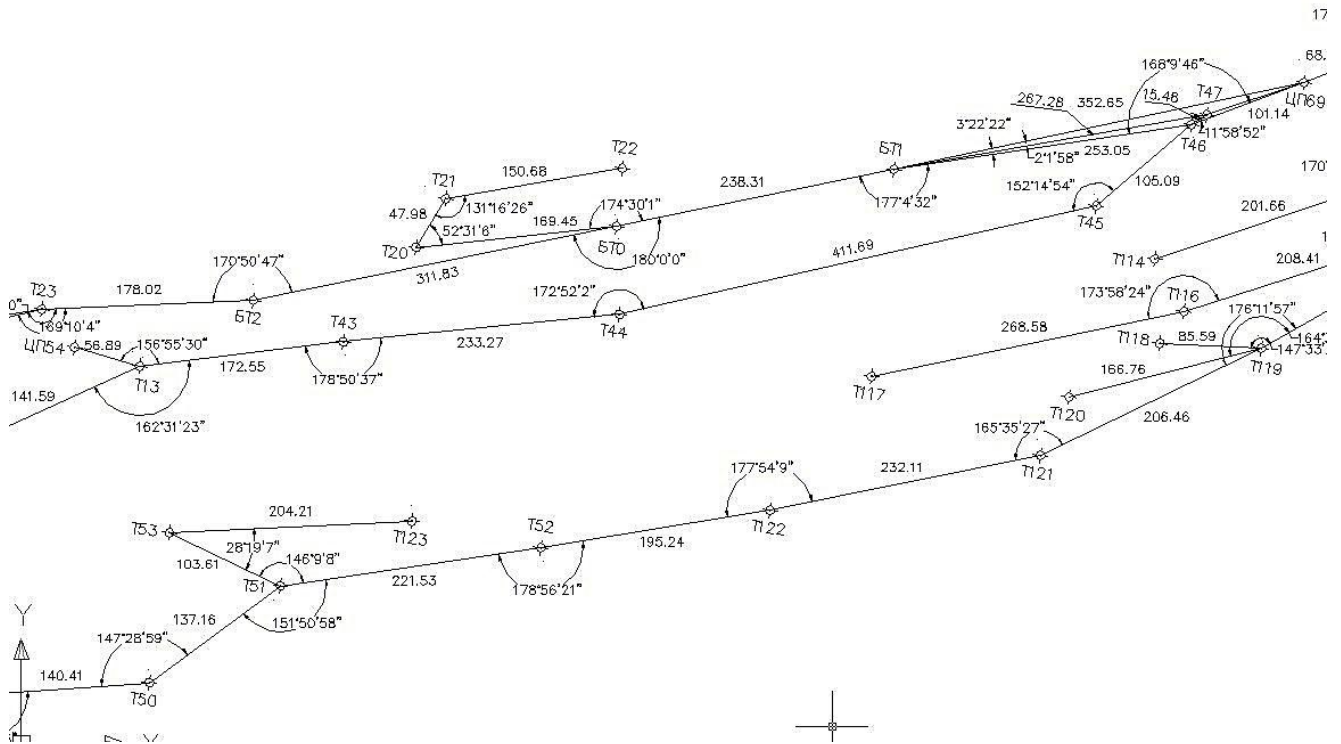


Рисунок 5.1 – Фрагмент ПВО ст. Карымская, 2005г.

Съемка плана и продольного профиля главных путей, основных и примыкающих линий включает разбивку пикетажа, нивелировку путей и съемку кривых.

Перед разбивкой пикетажа по техническо-распорядительному акту станции (ТРА) устанавливают положение главного пути, а по эксплуатационному профилю дороги – пикетажное значение оси пассажирского здания.

Пикетаж инструментально привязывают к оси пассажирского здания.

Если на продольном профиле отсутствует пикетаж оси ПЗ, то его необходимо установить от ближайшего искусственного сооружения.

Пикетаж следует разбивать по оси главного пути, а также по главным путям и по всем примыкающим направлениям на протяжении, как правило, не менее 1 км от каждого входного сигнала в сторону перегона.

При съемке продольного профиля выполняют техническое нивелирование в пределах разбитого пикетажа.

На прямых участках нивелируют головку левого по ходу километража рельса на пикетах и в плюс точках на оси ПЗ и осях искусственных сооружений. На кривых выполняют нивелирование головки внутреннего рельса. При этом переходить на внутренний рельс следует не ближе чем на 50 м и до начала и после конца кривой. При обратных кривых с короткой прямой вставкой с одной кривой на другую переходят на середине прямой вставки.

По всем главным путям за пределами станции, кроме отметок головки рельса, на пикетах и характерных местах определяют отметки бровки и подошвы земляного полотна.

Кривые участки главных путей в пределах разбитого пикетажа снимают кривые различными способами [40, 43, 53, 88].

При съёмки стрелочного перевода надо определить номер и марку крестовины, сторонность перевода, тип рельсов, род балласта.

Во время выполнения изысканий производственной, жилой, служебно-технической территории их следует обмерить по периметру и указать соответствующую характеристику: наименование, материал стен, фундамента и кровли, состояние и принадлежность.

Для различных зданий, которые могут находиться в пределах зоны путевого развития или достаточно близко к ним должны быть определены координаты как минимум трёх углов, видимых с точек ПВО.

Для локомотивных, вагонных депо и других зданий, имеющих железнодорожные пути, дополнительно выполняют координирование пересечения осей путей которые проходят внутри зданий с гранями самих зданий.

Одновременно со съемкой путевой ситуации производят съемку воздушных линий электропередач, осветительной сети, связи, желобов и тяг СЦБ и т.п. При

этом устанавливают принадлежность линии, материал (железобетонные, металлические, деревянные) и форму опор (круглые, прямоугольные и др.), схему подвески и количество проводов.

Для повышения производительности работ, автоматизации измерений для съёмки железнодорожных станций с 2008 г. в ДВГУПС стали применять спутниковый метод получения координат с использованием двухчастотных приёмников Trimble 5700.

Существует несколько методов измерения GPS базисных линий. Это статический метод Fast Static и кинематический Stop and Go [184, 204]. Данные методы применяют и при относительном способе определения координат.

Координаты пунктов сети определяли с помощью подвижных приёмников, используя при этом метод двухчастотной статической съёмки Fast Static, который является точным методом для наблюдений.

При этом время, в течение которого проводилось измерение на пункте, составило более 16 минут. Увеличение времени работ было вызвано необходимостью отслеживания в этом режиме наблюдений более восьми спутников.

Работы по съёмке территории вне путевого развития были сделаны с применением кинематического метода наблюдений Stop and Go. Но при выполнении камеральных работ в процессе пост-обработки многие из базовых линий не прошли процесс обработки. Поэтому использование этого метода наблюдений в условиях железнодорожных станций и покрытых лесной растительностью участков Дальнего Востока достаточно ограничена.

На рисунке 5.2 приведены результаты измерений в программе Trimble Geomatics Office (TGO), выполненных автором на станции Белогорск 2 ЗабЖД в 2008г.

На рисунке видно, что трекинг сигналов со спутников неустойчивый, поэтому часть базовых линий съёмочных точек требуется корректировать. Необходимо выполнить GPS-обработку базовых линий для достижения оптимальных значений коэффициента дисперсии, отношения и СКО. *Эти*

обстоятельства вызваны большим количеством внешних помех, влияющих на качество сигнала (сильные магнитные и электрические поля, движение подвижного состава закрытая местность).

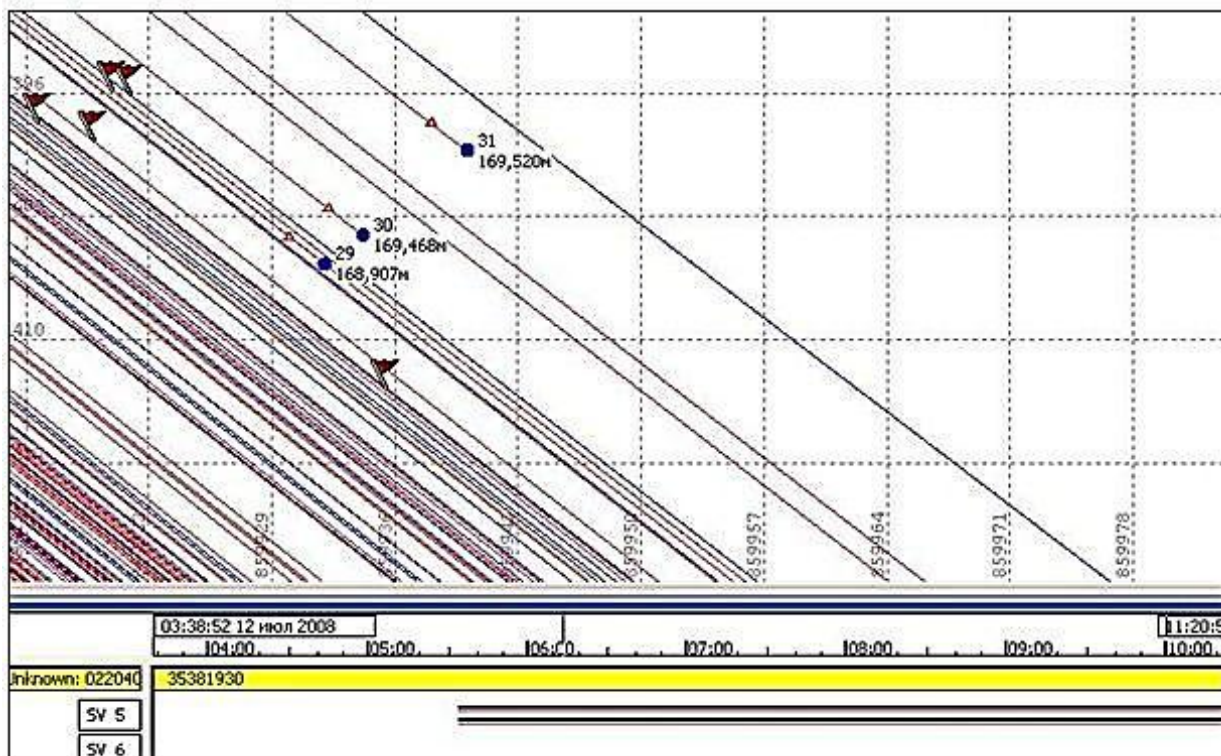


Рисунок 5.2 – Обработка результатов измерений в программе Trimble Geomatics Office, ст. Белогорск 2, 2008г.

Данные полевых работ в дальнейшем обрабатываются поэтапно. Уравнивается геодезическое обоснование в программе Gredo-dat, а затем координаты обоснования и файл с тахеометра импортируются в программный модуль «План станций (Данные)».

В этом модуле происходит нанесение станционных путей с помощью соединения точек обозначающих ось пути, центров стрелочных переводов, вершин углов поворота полилиниями; вписывание в углы поворота круговых кривых; корректировка расположения светофоров, изолирующих стыков, опор контактной сети и пр. объектов с помощью поворота условных знаков в требуемое положение относительно оси соответствующего пути. Для успешной работы и уточнения отдельных моментов при графической обработке данных предусмотрен

оперативный вывод на печатающее устройство отдельных фрагментов станции любого формата.

Одновременно с обработкой графических данных может производиться заполнение баз данных о стрелочных переводах, станционных путях, зданиях и сооружениях, продольных профилях путей.

Автоматизированную камеральную работу рекомендуется выполнять параллельно со съемкой станции.

Конечным этапом производственного процесса является электронный план станции. На рисунке 5.3 показана часть электронного плана (ЭП) ст. Карымская.

Выбор методов производства геодезических работ определяется различными факторами. В качестве примера рассмотрим одну из производственных задач.

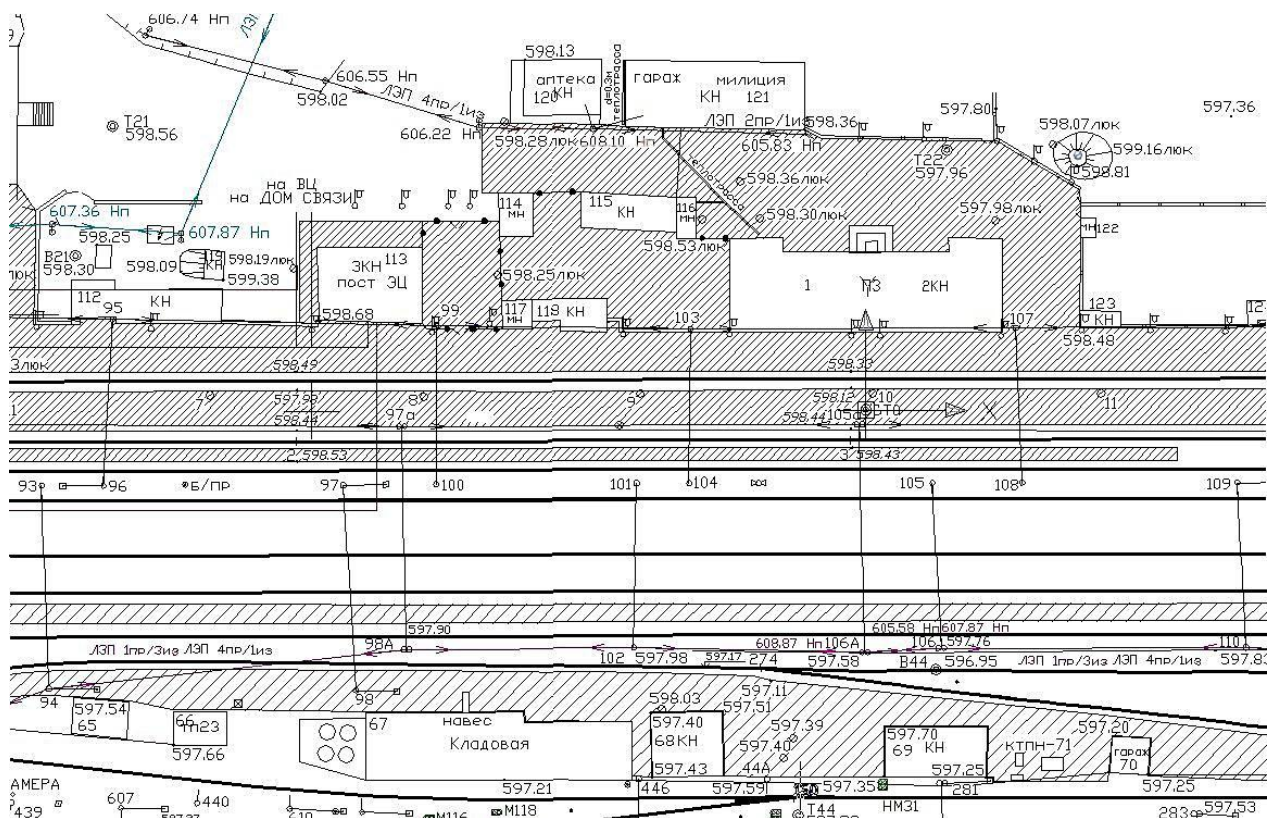


Рисунок 5.3 – ЭП ст. Карымская ЗабЖД

Для определения уклона железнодорожного пути длиной 21 км (в том числе нового Кузнецовского тоннеля, протяженностью 3,962 км) наиболее эффективным и производительным оказалось применение технического нивелирование. Это

определялось несколькими факторами: путеизмерительный вагон ЦНИИ-4 не всегда дает надежные данные по высоте, отвечающие нормативным требованиям; применение приемников ГНСС не представлялось возможным из-за условий местности; жесткие временные ограничения. Поэтому оптимальным методом для данных условий оказалось классическая технология геометрического нивелирования. Причем нивелирование осуществлялось тремя сотрудниками. Для контроля измерений использовали два нивелира.

На рисунке 5.4 показана технология выполнения геодезических работ в районе тоннеля новый Кузнецовский Хабаровский край (ноябрь 2012 г.).

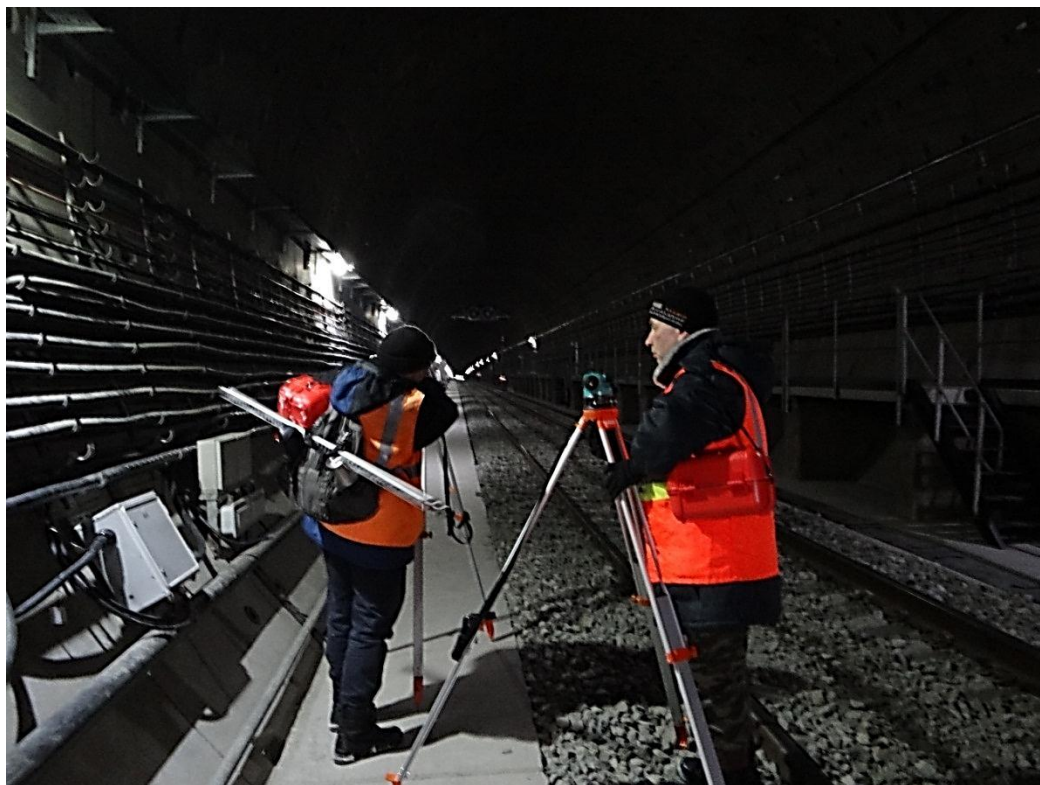


Рисунок 5.4 – Геодезические работы (новый Кузнецовский тоннель, 2012 г.)

Предложенные технология выполнения геодезических работ на железнодорожных станциях и узлах учитывает много факторов, а именно количество и квалификацию исполнителей, время проведения работ, вид станции, количество объектов инфраструктуры, сроки выполнения, наличие пунктов геодезического обоснования и т.д. Всё это и разработанная автоматизированная

технология получения электронных паспортов станций позволяет значительно увеличить производительность работ [134].

Для повышения производительности труда и эффективности работ следует использовать оптимальные методы инженерно-геодезических изысканий, сочетающие классические методы с применением оптических средств измерений и современные с электронными тахеометрами приёмниками ГНСС.

5.2 Особенности создания опорной геодезической сети для реконструкции верхнего строения пути участков Забайкальской железной дороги

В РФ создаются и формируются международные мультимодальные транспортные коридоры (ММТК). Дальневосточный регион обеспечивает и связывает поставщиков и потребителей грузов в странах Азиатско-Тихоокеанского региона (АТР) и Европы.

Системное представление и методология создания ММТК рассмотрена в работах ведущих учёных Московского государственного университета путей сообщения (МГУПС) и ДВГУПС [24, 166].

В состав магистрального транспорта, как элемента системы ММТК входят железные, автомобильные дороги, водные пути и система терминалов которые предназначены для осуществления взаимодействия между ними.

Важнейшим звеном для работы системы ММТК является Транссибирская магистраль (Транссиб).

В 2008 г. изыскательская партия ДВГУПС выполняла геодезические изыскания для задач по проектированию модернизации участков Забайкальской железной дороги (рисунок 5.5). Протяжённость участков составила 165 км. Результаты научно-исследовательских и производственных работ выполненных автором диссертации в данный период приведены в Приложении А.

Эти работы выполнялись комплексно с участием проектно-изыскательского института «Забайкалжелдорпроект» – филиала ОАО «Росжелдорпроект».

съёмочных ходах на точность геодезических работ значительное влияние будет оказывать погрешность получаемая при измерении углов, которая может достигать нескольких метров в нашем случае.

Поэтому для контроля определения координат точек геодезического обоснования была применена технология, позволяющая использовать двухчастотный спутниковый навигационный GPS-приёмник Trimble 5700 на основании инструкции [56]. Комплект указанного оборудования включал в себя базовую станцию, подвижный приёмник и контроллер Recon.

Координаты пунктов определяли в условной системе координат. Была разработана следующая методология проектирования геодезической спутниковой сети, учитывающая ряд факторов и позволяющая достигать необходимую точность. Расстояние между ГНСС-пунктами должно быть оптимальным и находится в пределах 4-5 км. Приёмники ГНСС должны выполнять измерения на двух рядом расположенных точках ПВО (это необходимо для передачи азимута).

Железная дорога на Шилкинской дистанции пути на значительном протяжении проходит по горным прижимам (рисунок 5.6) , тем самым, осложняя получения сигнала со спутника. Поэтому при проектировании сети это обстоятельство необходимо учитывать.

Геодезические работы проводились в зимний период, а температуры воздуха находились в диапазоне от -20° до -30° . Для контроля производства работ приходилось увеличивать время нахождения на пунктах сети. Так как заранее нельзя было определиться со временем работ, то и узнать конкретное число спутников не представлялось возможным, что приводило к ухудшению PDOP.

Обработка и уравнивание спутниковой сети включала следующую последовательность операций. Автоматическая обработка базовых линий и представление информации об итогах обработки. В качестве критериев обработки принимаются отношения, коэффициенты дисперсий, СКП и типы решений. После окончательной обработки базовых линий были определены координаты пунктов спутниковой сети, которые в дальнейшем использовали для получения координат точек ПВО.



Рисунок 5.6 – Участок дороги Шилкинской дистанции пути

В таблице 5.1 приведены данные геодезических параметров, характеризующих плановое геодезическое обоснование.

Анализируя полученные данные и результаты можно сделать следующие выводы о методах создания опорных геодезических сетей для проектирования модернизации участков железных дорог:

- применение приёмников ГНСС при создании и контроле геодезического съёмочного обоснования позволяет оперативно получать надёжные геопространственные данные;

- при создании планово-высотного обоснования (ПВО) с использованием электронных тахеометров и приёмников ГНСС увеличение расстояний между пунктами относительно нормативных требований в два раза не влияет на качество построений;

- погрешность измерений увеличивается, если в геодезическом обосновании присутствует значительное количество переходов с коротких на длинные расстояния;

– расстояния между ГНСС-пунктами в ходах рекомендуется проектировать в интервале 2 500 м – 3 500 м.

Т а б л и ц а 5.1 – Геодезические параметры планового-высотного обоснования

ГНСС-пункты (от)	ГНСС-пункты (до)	Расстояния, м	Точки ПВО	Переходы с коротких на длинные стороны	Относительная погрешность, $f_{отн.}$
1-2	11-12	3826	10	4	1/1562
11-12	24-25	5216	13	1	1/5372
24-25	33-34	3767	9	2	1/4808
33-34	42-43	4210	8	1	1/5806
42-43	53-54	5204	11	4	1/1646
53-54	58-59	2357	5	2	1/4124
58-59	65-66	3286	7	2	1/3877
70-71	78-79	3829	8	1	1/5951

В дальнейшем полученные результаты следует применять при создании и проектировании ОГС (пункт 6.4 [174]), в том числе и при выборе промежуточных геодезических пунктов.

5.3 Инженерно-геодезические изыскания на железнодорожных станциях и узлах Дальневосточной железной дороги

Эксплуатационная длина Дальневосточной железной дороги составляет 6854 км и на ней эксплуатируется 416 железнодорожных станций (сайт ДвостЖД <http://dvzd.rzd.ru>). Их надежная работа обеспечивает безопасность движения поездов, непрерывность процессов перевозки грузов и пассажиров.

Автор принимал участие в выполнении инженерно-геодезических работ изыскательской партией ДВГУПС для съёмки железнодорожных станций на ЗабЖД и ДвостЖД в 2005 – 2012 г. В том числе на станциях Карымская, Белогорск 2, Могочи, порт Козьмино и ряде других. Основные принципы геодезических работ на железнодорожных станциях приведены в разделе 5.1 и опубликованы в работах автора [63, 127, 134].

В диссертации разработана технология получения ГПД для железнодорожных станций. Инженерно-геодезические изыскания для съёмки железнодорожных станций будут рассмотрены на примере станции Ландыши Дальневосточной железной дороги, выполненных в 2011 г. Станция расположена в 30 км от п. Ванино в Хабаровском крае и является частью транспортного коридора "Запад - Восток" (рисунок 5.7).

При создании геодезического съёмочного обоснования на железнодорожных станциях относительная погрешность проложения базисных ходов должна быть не более $1/4000$ [54, 162, 163].

В пределах района работ создали ПВО, с применением электронных тахеометров Sokkia 530R и включающее 19 точек сети, что позволило проводить дополнительный геодезический контроль за счет избыточных измерений.

Работы выполнялись на функционирующей железнодорожной станции в условиях интенсивного движения подвижного состава, поэтому определённые трудности возникают при использовании систем наземного лазерного сканирования [59, 96, 202].

Выбор геодезических средств измерений и методик производства работ определяется видом и назначением топографической съёмки. Изыскания для модернизации участков железных дорог и для составления технико-распорядительного акта определяют соответственно и различные технологии изысканий.

Из опыта выполнения производственных работ в изыскательской партии ДВГУПС и для повышения производительности труда рекомендуется применять определенные методики, включающие следующие постулаты.

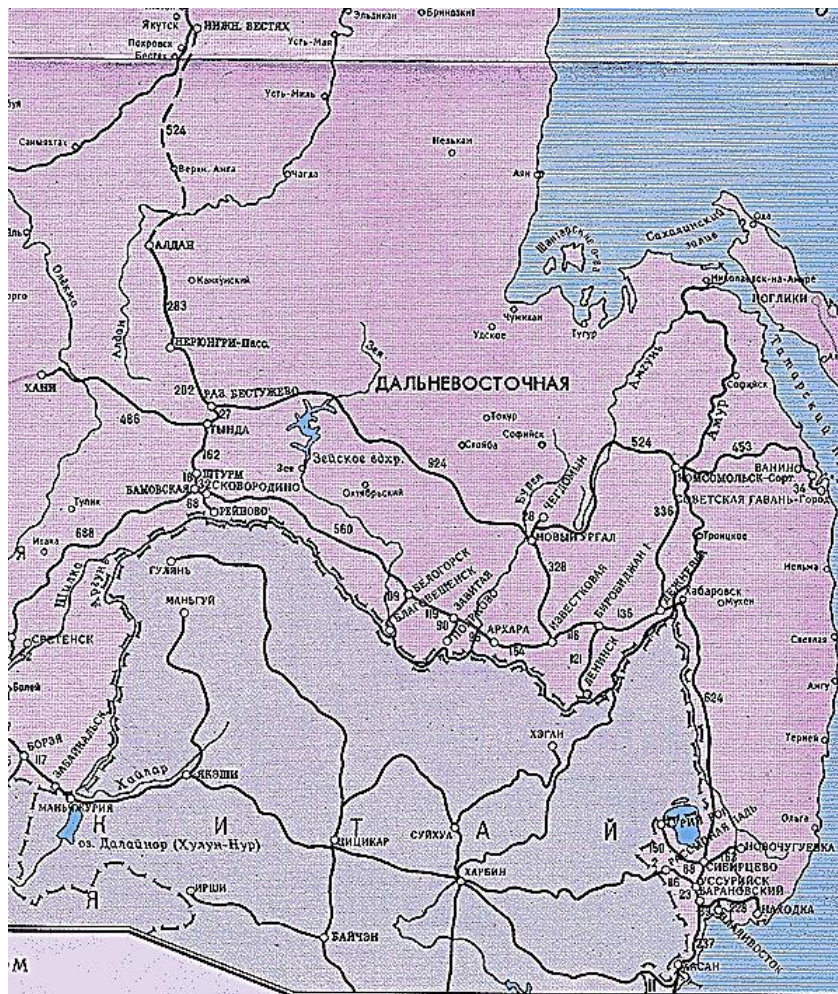


Рисунок 5.7 – Дальневосточная железная дорога, п. Ванино

На основной площадке для определения отметок поперечников надёжнее применять геометрическое нивелирование. Это объясняется тем, что для определения отметок на поперечниках необходимо установить рейку на головку рельса в момент остановки подвижного состава и отсутствия видимости. Технологически практически невозможно применять для этих целей метод тригонометрического нивелирования.

Если создано надёжное геодезическое обоснование, то в практике геодезических работ, возможно, сразу выполнять координатные измерения. Но при выполнении инженерно-геодезических изысканий на железнодорожных станциях координаты точек сети являются не уравненными. Поэтому при выполнении измерений определяли горизонтальные углы и расстояния.

При обработке результатов измерений и оценки точности применяли программный модуль GREDO-DAT 3.12. Характеристики плановых и высотных ходов приведены в таблицах 5.2 и 5.3.

Т а б л и ц а 5.2 – Характеристики плановых ходов

Ход	Геодезические пункты	Расстояние, м	F _b фактическая	F _b допустимая	Невязки			
					F _x	F _y	F _s	[S]/F _s
1	ST1, ST15, ST14	531.885	0°00'07"	0°01'02"	0.006	0.004	0.007	76778
2	ST14, ST16, ..., ST19	887.681	0°00'40"	0°01'12"	-0.017	0.014	0.022	40410
3	ST14, ST13, ST18	616.901	-0°00'57"	0°01'02"	0.006	-0.002	0.006	104482
4	ST14, ST11, ..., ST3	569.106	-0°01'16"	0°01'42"	-0.023	0.034	0.041	13757
5	ST3, ST1	158.188	0°00'04"	0°00'51"	0.004	0.004	0.006	27801
6	ST18, ST19	323.747	-0°00'07"	0°00'51"	0.004	-0.008	0.008	38453

Т а б л и ц а 5.3 – Характеристики нивелирных ходов

Ход	Геодезический пункты	Расстояние, км	F _h фактическая	F _h допустимая
1	ST24, ST25, ST26, ST27, B8, ..., ST1	1.300	-0.007	0.034
2	ST1, ST22, БТ1, БТ0, БТ2, ST2, ST11, ST10, ST9, ..., ST3, ST1	0.600	0.004	0.023
3	ST20, ST28, ST29, ..., ST20	1.140	-0.003	0.032
4	ST14, ST13, ST18, ST19, ST21, ST17, ST16, ..., ST14	0.900	0.027	0.028

Координаты точек ПВО полученные в местной системе координат определялись с помощью ГНСС приёмников Trimble 5700. При этом базовые станции располагались на геодезических пунктах полигонометрии 4 класса.

Методика работ соответствовала стандартных этапам. При этом точки геодезического обоснования определялись в режиме измерений Fast Static, в течении 40 минут.

На рисунке 5.8 показано расположение подвижного приёмника на станции.



Рисунок 5.8 – GPS-приёмник Trimble 5700 на ст. Ландыши

Обработка результатов измерения была выполнена в программе TGO [204]. На рисунке 5.9 представлена схема базовых линий, а на рисунке 5.10 приведены результаты обработки базовых линий.

Конечным этапом качественной обработки является соответствие допускам, которые производитель предъявляет к замыканию полигона и оценки точности результатов обработки.

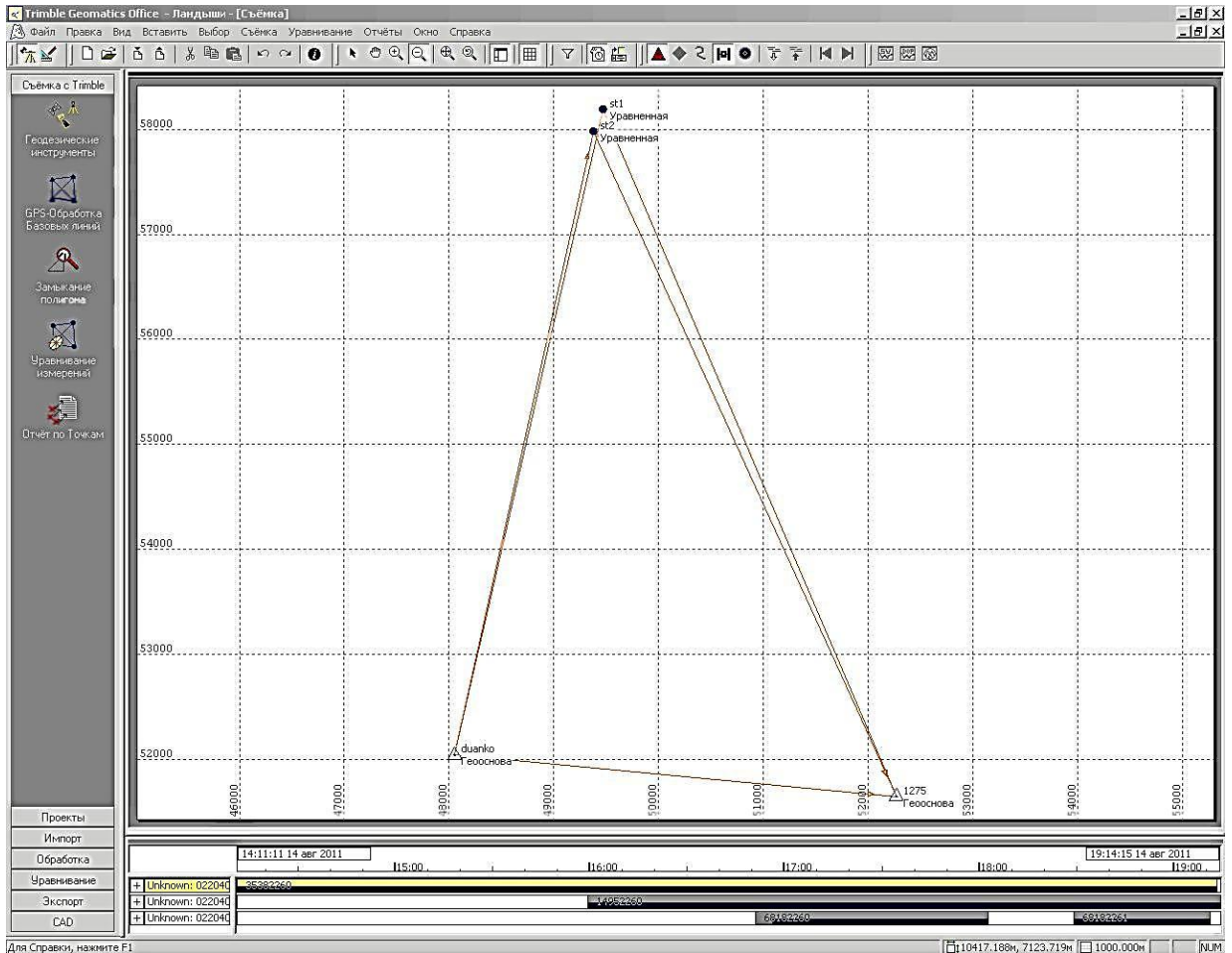


Рисунок 5.9– GPS - обработка базовых линий

GPS обработка

	ID	От станции	До станции	Длина базово...	Тип решения	Отноше...	Диспер...	СКО	
<input checked="" type="checkbox"/>	B1	duanko	1275	4240.265м	L1 Фиксиров...	5.7	3.514	0.007м	Сохранить
<input checked="" type="checkbox"/>	B4	duanko	st2	6084.296м	Ионосферно...	11.9	1.692	0.014м	Отмена
<input checked="" type="checkbox"/>	B5	duanko	st1	6310.547м	Ионосферно...	49.2	1.852	0.014м	Отчет
<input checked="" type="checkbox"/>	B2	1275	st2	6960.634м	Ионосферно...	14.1	0.982	0.011м	
<input checked="" type="checkbox"/>	B3	1275	st1	7116.224м	Ионосферно...	10.5	1.020	0.011м	

Перезаписать дубликат решения базовой линии

Выполнено 5 Ок, 0 Брак

Рисунок 5.10 – Итоги обработки базовых линий

При определении отметок на поперечниках приходилось выполнять

нивелирование на расстоянии до ста метров от оси пути (рисунок 5.11). На основной площадке для определения отметок поперечников надёжнее применять геометрическое нивелирование. Это объясняется тем, что для определения отметок на поперечниках необходимо установить рейку на головку рельса в момент остановки подвижного состава и отсутствия видимости. Технологически практически невозможно применять для этих целей метод тригонометрического нивелирования.

Наиболее рационально применять метод тригонометрического нивелирования для нивелирования поперечников в условиях открытой видимости и значительного перепада высот.



Рисунок 5.11 – Нивелирование поперечников

Результаты обработки нивелирования поперечников представлены на рисунке 5.12 и в приложении Б.

Заключительным этапом работ является электронный план ст. Ландыши, приведённый на рисунке 5.13. Расчёт параметров железнодорожных кривых проводился в программе, разработанной Калинцевым О.В. (приложение Б).

Использование кинематического метода измерений на железнодорожных станциях не всегда эффективно, в связи с наличием большого количества инфраструктурных объектов, в том числе опор контактной сети. Определенные

сложности в измерениях возникают и на залесенных территориях Дальнего Востока.

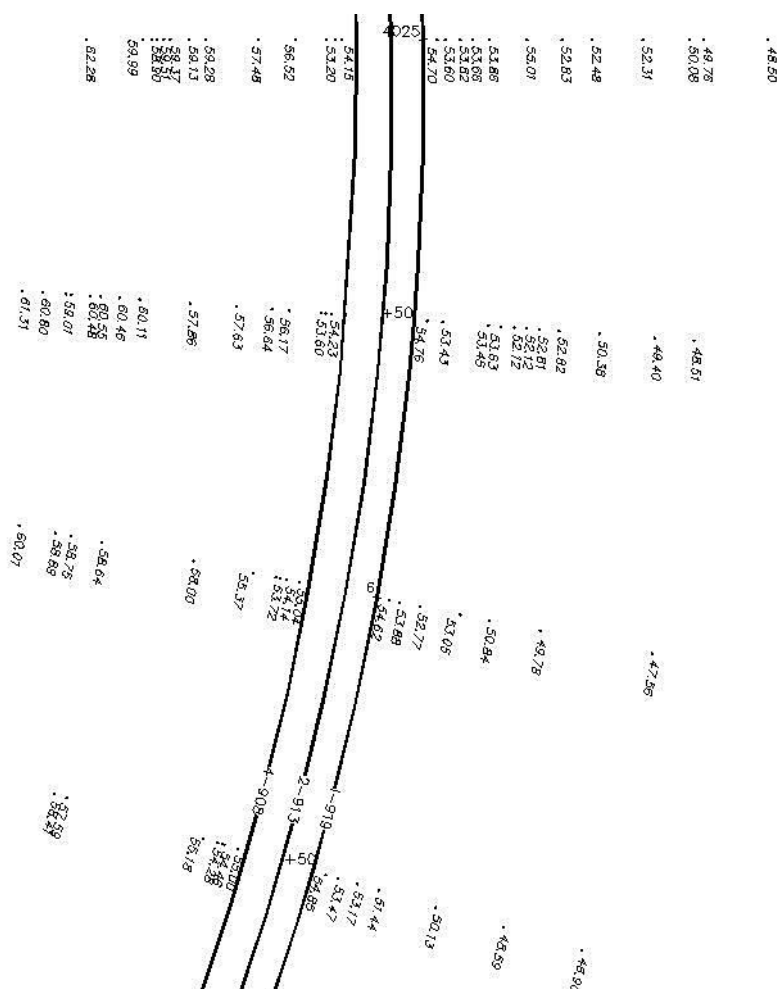


Рисунок 5.12 – Фрагмент программы обработки поперечников

Основываясь на производственных результатах можно сделать следующие выводы:

– применение двухчастотных спутниковых приемников Trimble 5700 повышает качество работ, в том числе за счет контроля пространственного положения точек геодезического обоснования;

– оптимальное сочетание оптико-механических и современных электронных средства измерений позволяет решать задачи для различных производственных условий;

- увеличение количества точек ПВО улучшает надежность опорной геодезической сети (ОГС), так как производятся дополнительные избыточные измерения;
- использование кинематического метода измерений на железнодорожных станциях не всегда эффективно;
- геометрическое нивелирование возможно использовать при нивелировании на основной площадке и поперечников, в том числе на не электрифицированных участках железных дорог.

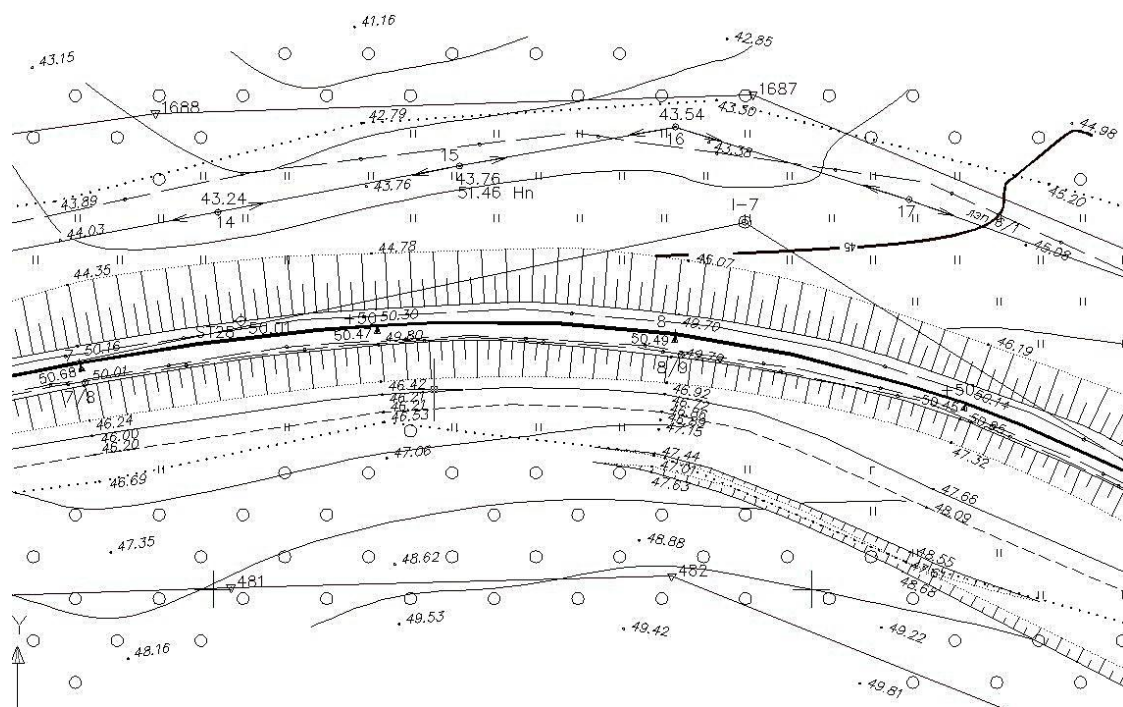


Рисунок 5.13 – Электронный план ст. Ландыши, 2011 г.

5.4 Технология создания электронных планов железнодорожных станций и узлов

Современные технологии получения ГПД подразумевают дальнейшее их передачу, оборот и интеграцию с разными информационными системами. Конечной целью инженерно-геодезических изысканий соответственно будет электронный план станций. В разделе 5.1 были приведены основные положения по применению программного комплекса, разработанного в ДВГУПС [171].

Данный комплекс позволяет решать следующие задачи:

- составляет масштабные планы станций;
- выполняет паспортизацию различных планов и профилей;
- обрабатывает результаты данных инструментальной съёмки;
- составляет и ведёт данные для управления и развития путевого хозяйства на железных дорогах.

Программный комплекс составления и ведения масштабных планов станций на основе данных инструментальной съёмки состоит из отдельных модулей.

Внутренние модули, входящие в состав программы «План станции» позволяют автономно осуществлять ввод, обработку, контроль, хранение и анализ данных инструментальной съёмки железнодорожной станции и продольных профилей станционных путей.

В таблице 5.4 приведен состав и описание основных файлов модуля «План станций (Данные)».

Т а б л и ц а 5.4 – Состав программного модуля «План станций (Данные)»

Наименование файлов	Краткая характеристика
ID_SOOR.DBF	Справочник сооружений для продольного профиля путей
IDPOINTS.DBF	Справочник сооружений для масштабного плана станций
MATST.DBF	Каталог материал стен
NAMEST.DBF	Наименование станций
TIPRELS.DBF	Тип рельса
VEDSOOR.DBF	Ведомость зданий и сооружений
VIDCENTR.DBF	Вид централизации
XARSTR.DBF	Характеристика стрелочных переводов
NAZPYT.DBF	Назначение пути
RODB.DBF	Род балласта
K_SV.DBF	Выходные данные по расчету расстояний от оси пассажирского здания (ПЗ) до устройств
ZAVODSTR.DBF	Завод-изготовитель
COORDSTW.EXE	Головной программный модуль
MATKROV.DBF	Каталог материал кровли

Внешний модуль «План станций (Графика)», показан в таблице 5.5, позволяет составлять электронный графический образ плана станции в заданном масштабе. В модуле «План станций (Графика)» имеются различные функции, с помощью которых возможно настраивать графические слои, использовать готовые и создавать новые блоки условных обозначений, редактировать чертеж, определять расстояния и площади. Предусмотрены также функции для записи графических отображений планов станций в файлы различного формата и вывода их на печатающие устройства.

Т а б л и ц а 5.5 – Состав программного модуля «План станций (Графика)»

Наименование файлов	Краткая характеристика
BLOCKERS.CFG	Файл конфигурации графических блоков
BLOCKERS.VEC	Графические блоки объектов и сооружений на станции (условные знаки)
DEFAULT.PRF	Профиль (настройка) модуля PLAN.EXE
IMAGE.DLL	Библиотека, необходимая для работы с растровыми рисунками формата BMP
LAYERS.CFG	Файл слоев, используемых при отрисовке масштабных планов станций
MSVCRT.DLL, NCSUTIL.DL, NCCNET.DLL, NCSECW.DLL	Библиотеки для использования стандартных функций C++
WHITE.VCP	Файл для настройки белого фона рисунка.
PLAN.CFG	Файл конфигурации плана станции (каталоги и т.п.)
PLAN.EXE	Главной модуль программы по созданию масштабного плана станции
RESENT.TXT	Файл сохранения ранее загружаемых рисунков (формат VECAD, DXF, DWG)
VECAD.DLL	Графическая библиотека для редактирования и создания графических примитивов

Для работы с данными инструментальной съемки станции необходимо воспользоваться пунктом меню «Данные». На рисунке 5.14 показано инструментальное меню. Далее необходимо ввести базовые точки и их координаты.

С помощью пункта меню «Данные о съемке точек станции» производится ввод точек непосредственно с журналов полевой съемки.

При выполнении обработки результатов полевой съемки одна из главных задач состоит в вычислении прямоугольных координат точек съемки. Этот процесс автоматизирован и координаты вычисляются в процессе набора данных полевой съемки.

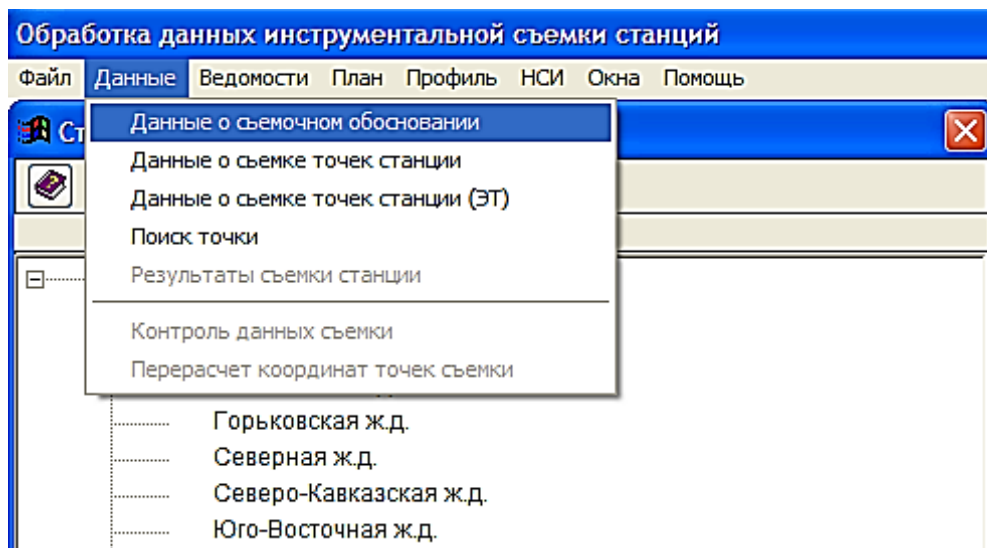


Рисунок 5.14 – Работа с данными инструментальной съемки станции

После загрузки данных инструментальной съёмки с определением соответствующих кодов точек появляется возможность в автоматизированном режиме на экране компьютера получить расположение различных объектов инфраструктуры, выполненное по координатам (рисунок 5.15).

Программа использует по умолчанию 50 фиксированных слоев для любого из нарисованных масштабных планов станций:

- 49 слоев для отрисовки блоков и текстов.
- 1 слой для рисования плана – "Слой для рисования". Последний слой в

СПИСКЕ СЛОВ.

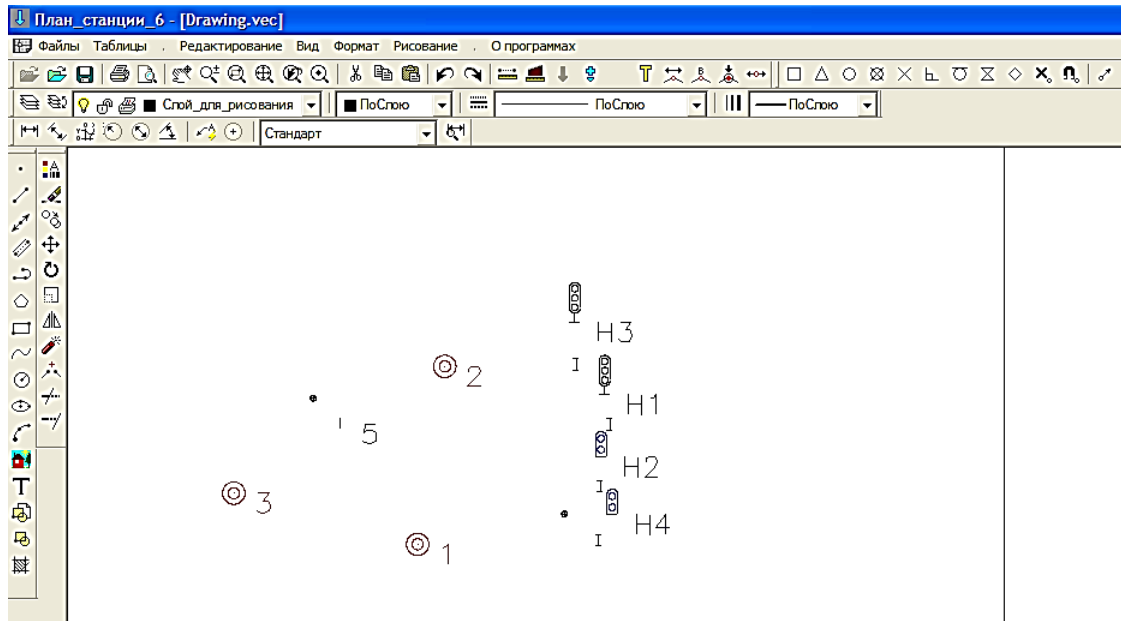


Рисунок 5.15 – Отображение на чертеже сооружений и устройств станции

Следующим этапом будет отрисовка станционного пути, центра стрелочных переводов, изостыков, точек расположенных на пути и т.д. (рисунок 5.16).

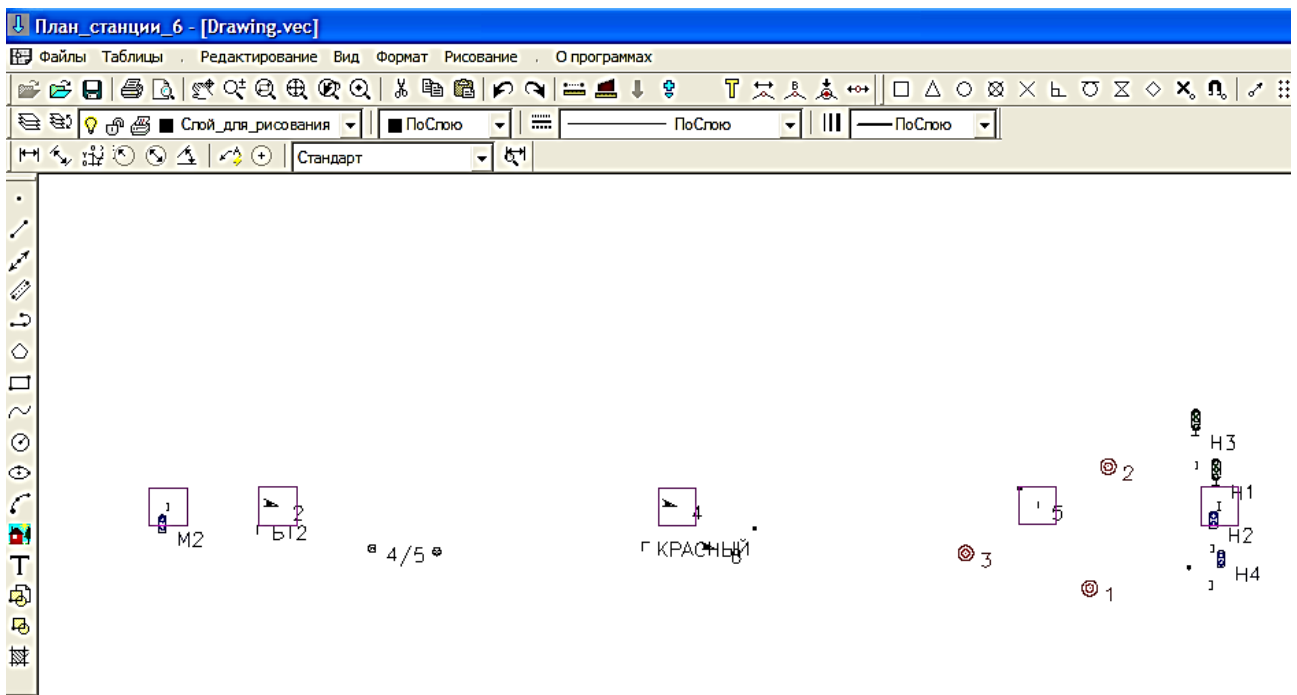


Рисунок 5.16 – Нанесение станционного пути

Программный модуль позволяет также строить любую железнодорожную кривую.

При создании масштабного плана станции необходимо составить ведомость путей, в которую заносятся значения полной и полезной длин станционных путей

При подготовке масштабного плана к печати или сохранения на диске для последующего использования необходимо с помощью имеющихся возможностей программного модуля PLAN (графический и текстовый редактор, слои и т.п.) отредактировать чертеж, а именно:

- сделать невидимыми условные обозначения или надписи, которые носят вспомогательный характер (вершины углов поворота, базовые точки съемки, точки сооружений и т.п.);

- развернуть в нужном направлении условные обозначения;

- при необходимости дополнить масштабный план соответствующими надписями или комментариями;

- заполнить штамп и примечание.

Печать подготовленного масштабного плана станции производится с помощью пунктов меню «Файл» – «Печать».

Перед непосредственной печатью имеется возможность предварительного просмотра чертежа, настройки печатающего устройства, размера бумаги, области, качества и масштаба печати (рисунок 5.17).

Повышение производительности труда

Изыскательская партия и кафедра «Изыскания и проектирование железных и дорог» ДВГУПС в течение 20 лет проводила инженерно-геодезические изыскания на различных участках Дальневосточной и Забайкальской железных дорог. При этом усовершенствовалась технология работ, использовались различные средства геодезических измерений и программное обеспечение, менялся состав изыскательской партии. Однако вне зависимости от различных условий результаты отличались хорошим качеством и, как правило, были получены в

кратчайшие сроки. Это обстоятельство обусловлено несколькими факторами. И прежде всего оптимальными методами производства геодезических работ.

Для доказательства данного постулата приведет примерный экономический расчет, подтверждающий эффективность применяемых геодезических технологий.

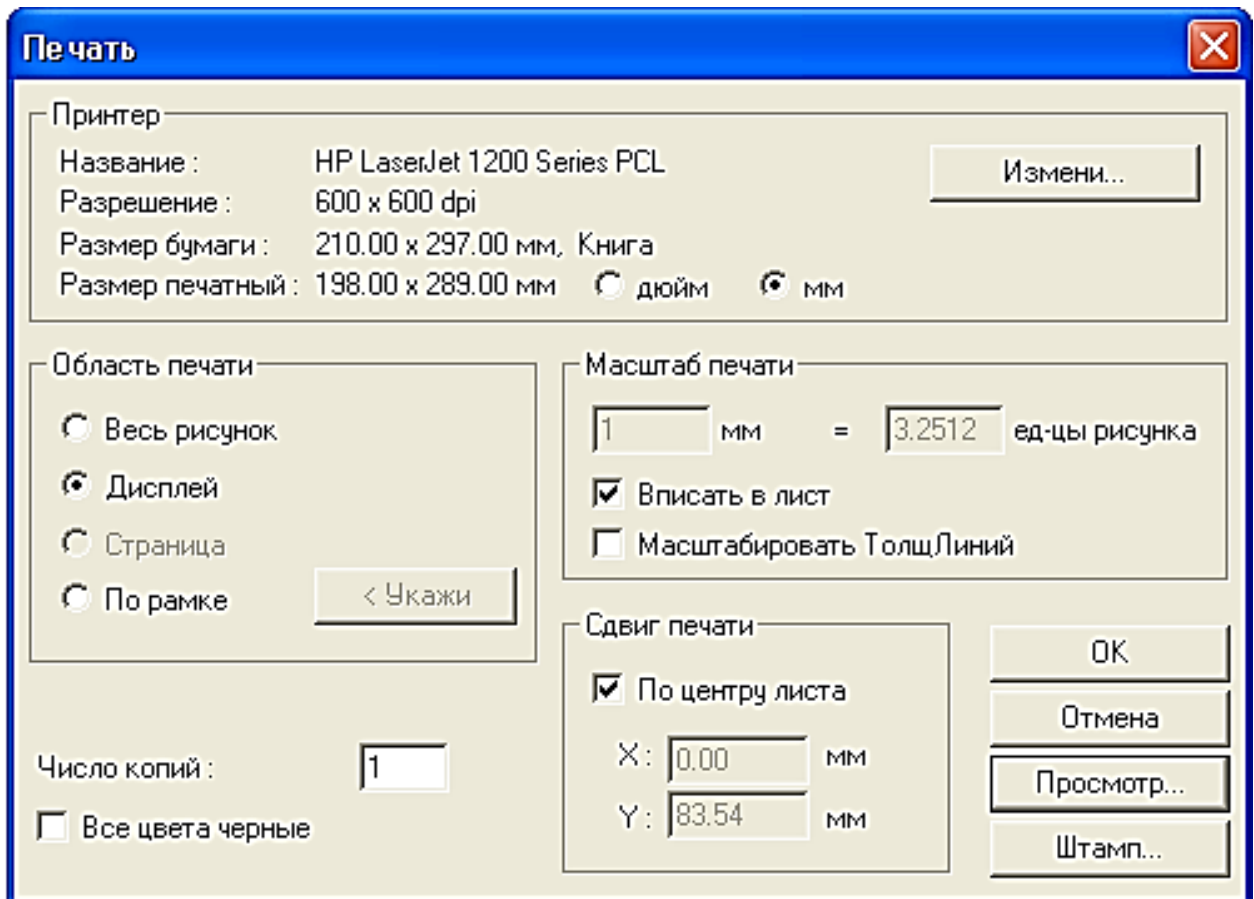


Рисунок 5.17 – Диалоговое окно для печати масштабного плана станции

В современной экономической науке принято, что производительность труда это мера эффективности труда. Производительность труда измеряется количеством продукции, выпущенной работником за определенное время. Эффективность труда более широкое понятие, так как в отличие от производительности, оценивает не только количественные, но и качественные результаты труда.

Рассчитаем повышение производительности труда за 2008 г. (по укрупненным показателям). Изыскательской партией ДВГУПС было выполнено хозяйственных научно-исследовательских работ на общую сумму 70 млн. рублей.

Значительную часть из них составляли инженерно-геодезические изыскания для реконструкции участков железных дорог протяженностью 160 км. Расчет основан на методике, принятой для организаций, занимающихся геодезической деятельностью [5]. В полевых работах участвовали: 6 штатных сотрудников НИЧ; 4 доцента кафедры; 6 студентов разных курсов. В камеральных 10 специалистов. В этом году впервые в ДВГУПС начали применять спутниковые приемники.

Производительность труда в натуральных показателях V_T вычисляется по формуле

$$V_T = \frac{Q_T}{N}, \quad (5.1)$$

где Q_T – объем приведенной съемки в км² (32); N – численность работников (16).

Производительность труда в стоимостных показателях V_C определяют из соотношения

$$V_C = \frac{C}{N}, \quad (5.2)$$

где C – объем работ в денежном выражении (70 млн. рублей).

Производительность труда в трудовых показателях V_Z будет равна

$$V_Z = \frac{Z}{N}, \quad (5.3)$$

где Z – объем работ в нормо-днях (план – 365 дней, фактически 315 дней).

На рисунке 5.18 показана диаграмма повышение производительности труда при выполнении инженерно-геодезических изысканий ДВГУПС в 2008 году.

Повышение производительности труда для показателей составила: V_T – 13%; V_C – 15%; V_Z – 18%.

Анализируя полученные результаты можно сделать следующие выводы о влиянии различных факторов на повышение производительности труда и эффективности выполнения геодезических работ на железных дорогах:

- применение оптимальных методов производства инженерно-геодезических изысканий, включающих классические методы и приемники ГНСС, повышает производительность труда;
- эффективность работ обусловлена тем фактом, что полевые и камеральные работы выполняют одни сотрудники;
- оптимальное соотношение инженеров-изыскателей и геодезистов.
- для рационального нивелирования поперечников полевая бригада должна состоять из пяти исполнителей;
- при нивелировании поперечников необходимо сочетать геометрическое и тригонометрическое нивелирование в зависимости от целей и условий работ;
- наличие собственных средств передвижения (автомобиль КАМАЗ).
- использование современного программного обеспечения для железных дорог.

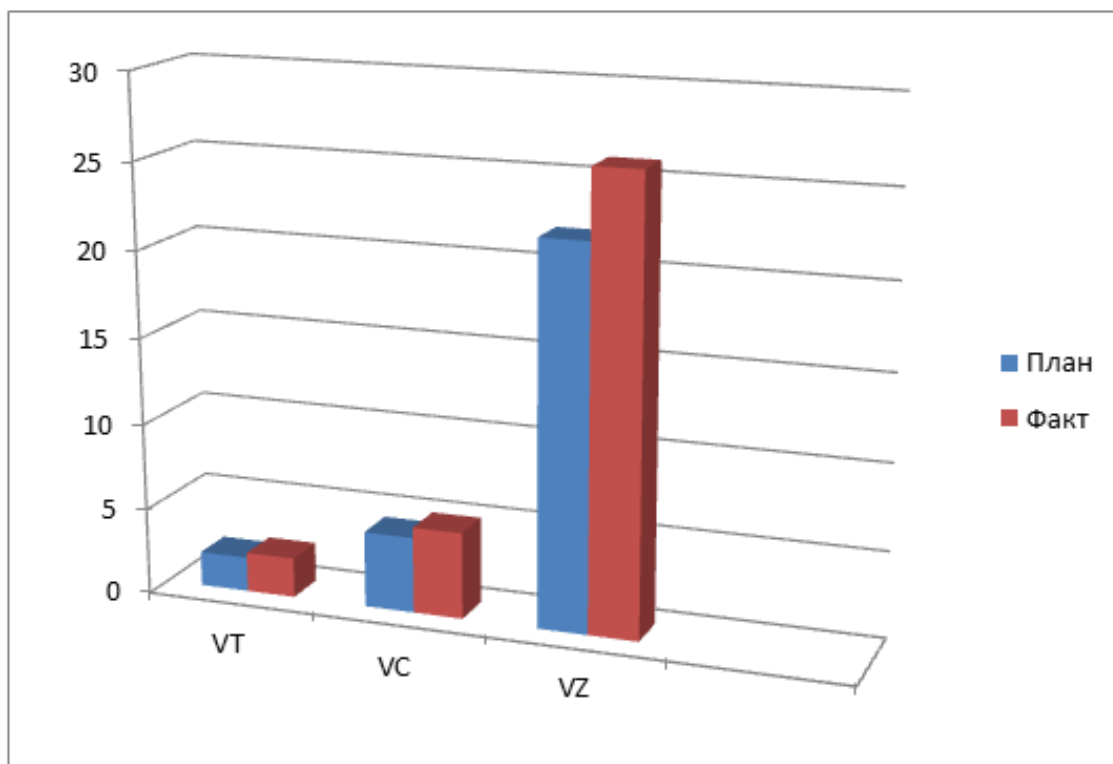


Рисунок 5.18 – Повышение производительности труда

5.5 Разработка и оценка точности способов оперативного определения геометрических параметров притрассовых и автомобильных дорог с применением приёмников ГНСС

Применение ГНСС активно применяется для решения различных производственных задач [2, 3, 4]. В сравнении с традиционными геодезическими технологиями они обладают рядом преимуществ [26, 27]:

- широкий диапазон точностей при определении местоположения объектов от десятков метров до единиц миллиметров;
- высокая производительность труда за счёт скорости получения информации (в 5 – 10 раз выше, чем в классических технологиях);
- экономическая эффективность работ, так как нет необходимости в прямой видимости между геодезическими пунктами и построения сложных сигналов;
- независимость от погодных условий;
- высокая автоматизация процесса;
- возможность выполнения наблюдений в кинематике и др.

Спутниковые технологии также имеют определённые недостатки, которых главным из которых являются высокая стоимость оборудования и зависимость от препятствий, расположенных в непосредственной близости от антенны спутника (маска возвышения). Кроме того возникает необходимость достаточно сложных преобразований координат из разных систем, в том числе и проблема получения нормальных высот и др.

Применение современных приёмников ГНСС позволяет получать оперативную информацию при выполнении геодезических работ на автомобильных и железных дорогах. Получают распространение сети постоянно действующих референцных базовых станций [174]. Активно внедряется для геодезического обеспечения в транспортное строительство аппаратное оборудование и программное обеспечение следующих компаний: «Trimble», «Leica», «Topcon», «Sokkia» и др.

Реконструкция дорог планируется для увеличения пропускной способности

в условиях увеличения грузоперевозок, при переводе дороги в более высокую категорию, для переустройства отдельных неблагоприятных участков, улучшения её технических показателей и экологических характеристик и в других необходимых случаях. Геодезические работы выполняются при этом в таком объёме, чтобы полностью обеспечить составление технического проекта реконструкции дороги.

В процессе съёмки необходимо определить элементы кривых, прежде всего радиус и длину кривой, а также биссектрису, тангенсы, угол поворота. Решать эту задачу можно различными способами [93]. В разделе 1.2.2 рассмотрены способы определения геометрических параметров автомобильных дорог, в том числе и с использованием приёмников ГНСС. Так как при выполнении работ для реконструкции дорог требуется проводить геодезические измерения за пределами дороги, поэтому необходимо разработать способ контроля геометрических параметров, который позволяет оперативно определять параметры дороги и выполнять другие задачи.

В работе предложен метод определения радиусов кривых на автомобильных дорогах с применением двухчастотного приёмника системы GPS Trimble 5700 [92, 99, 125, 135]. При этом измерения выполнялись относительным методом, в котором координаты точек определялись относительно базовых станций (базы). В дальнейшем плоские прямоугольные координаты были получены пост обработкой в программе Trimble Geomatics Office (TGO) [204]. Измерения были выполнены до окончания срока действия программы на территории РФ 14 сентября 2011г. и внедрены при определении радиусов притрассовых дорог на ДвостЖД (Приложение А).

Предварительно рассмотрим известную геометрическую теорему и приведем ее доказательство применительно к геометрии дорог. На основе этой теоремы будут разработаны и методики определения радиусов и элементов круговых кривых [129]. Содержание теоремы и ее доказательство поясняются на рисунке 5.19.

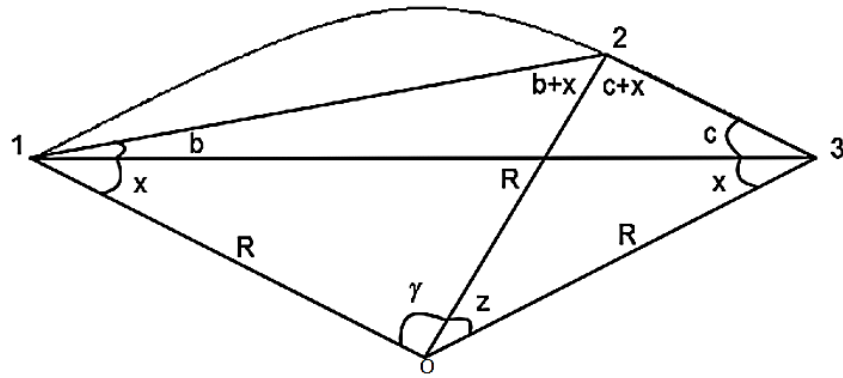


Рисунок 5.19 – Схема зависимости центрального угла z и угла b

Теорема: Центральный угол z , образованный радиусами и опирающийся на дугу окружности (2 – 3), равен двойной величине угла b , который образован отрезками (1 – 2 и 1 – 3). Угол может быть проведён к данной дуге из любой точки окружности, не лежащей на данной дуге.

Доказательство: Рассмотрим равнобедренные треугольники $O - 1 - 2$ и $O - 1 - 3$ (рисунок 2.3).

Из треугольника $O - 1 - 2$ имеем

$$\gamma = 180^\circ - x - b - x - b = 180^\circ - 2x - 2b. \quad (5.4)$$

Из треугольника $O - 1 - 3$

$$\gamma = 180^\circ - x - z - x = 180^\circ - 2x - z, \text{ т.к.}$$

$$\gamma = \gamma,$$

$$180^\circ - 2x - 2b = 180^\circ - 2x - z'$$

отсюда

$$z = 2b. \quad (5.5)$$

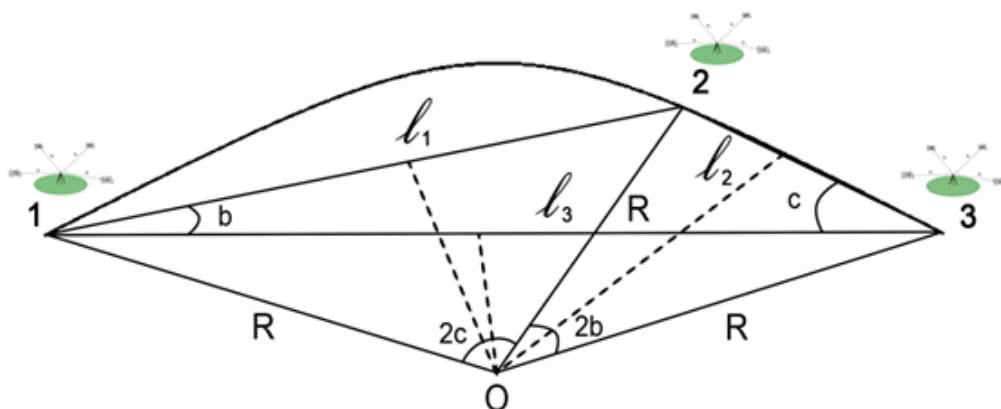
По рассмотренному алгоритму, из треугольников $O - 2 - 3$ и $O - 1 - 3$ получим

$$\gamma = 2c. \quad (5.6)$$

При перемещении точки 1 в другую часть окружности при неизменном положении дуги окружности (2 – 3) зависимость $z = 2b$ сохраняется.

Рассмотренная теорема положена в основу методов определения радиусов круговых кривых при паспортизации и реконструкции дорог с применением приемников спутниковых навигационных систем и электронных тахеометров.

При паспортизации автомобильных дорог в некоторых местах прямолинейные участки достаточно не большие или практически отсутствуют как при трассировании с применением сплайнов. Тогда для определения параметров кривой следует определить координаты не менее трёх точек, как показано на рисунке 5.20.



1,2,3 – пункты установки приёмников ГНСС для
определения координат;

l_1, l_2, l_3 – хорды, соединяющие месторасположения пунктов;

R – радиус круговой кривой

Рисунок 5.20 – Определение радиусов кривых по трём точкам

Последовательность действий при определении геометрических параметров автомобильных дорог показана на рисунке 5.21. Координаты определяют в системе WGS-84, после чего преобразуют (трансформируют) их в прямоугольные координаты в программах (LGO, TBC, Topcon Tools). Для контроля измерений необходимо решить обратную геодезическую задачу в определённом программном модуле и получить соответствующие углы и длины линий.

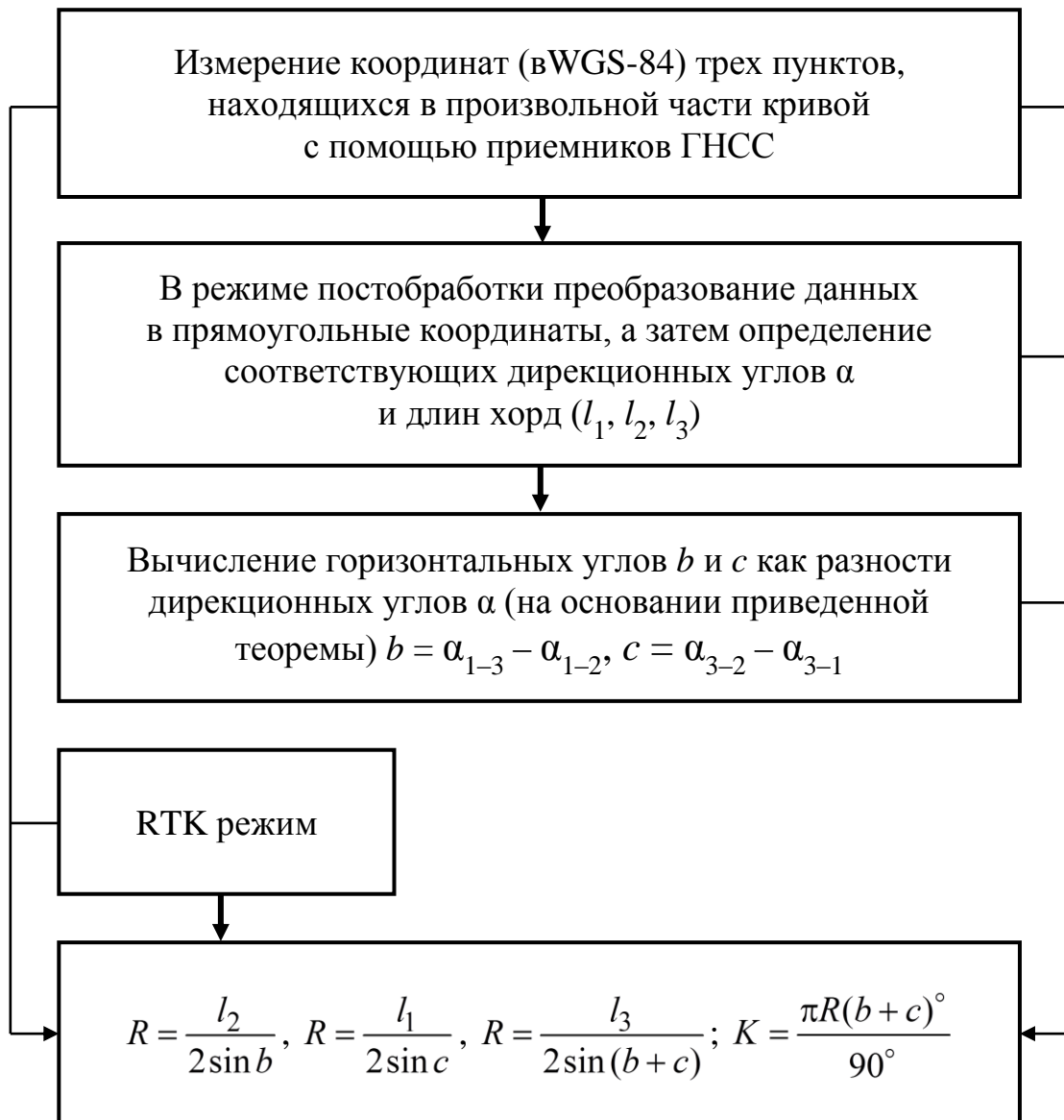


Рисунок 5.21 – Алгоритм производственных действий

На рисунке 5.22 показана схема определения радиуса в вертикальной плоскости. Вычисления сводятся к нахождению углов b и c . По которым и длинам хорд вычисляются в дальнейшем радиус и длина кривой. В результате решения обратных геодезических задач находят горизонтальные проложения хорд d , вертикальные углы ν и превышения по формулам:

$$\operatorname{tg} \nu = \frac{h}{d}; \quad \ell = \sqrt{d^2 + h^2};$$

$$b = \nu_{1-2} - \nu_{1-3}; \quad c = \nu_{3-1} - \nu_{3-2}. \quad (5.7)$$

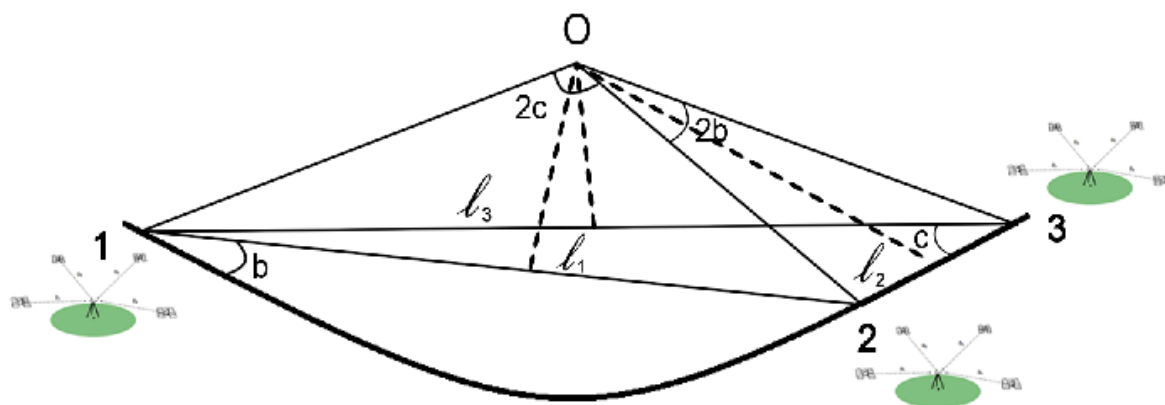


Рисунок 5.22 – Определение радиуса вертикальной кривой

На рисунке 5.22 изображена вогнутая кривая. Для выпуклых вертикальных кривых методика вычислений остается такой же.

В таблице 5.6 приведён сравнительный анализ способов определения геометрических параметров при строительстве и паспортизации автомобильных дорог.

Данная методика применима и может быть реализованной при использовании режима RTK. В этом случае прямоугольные координаты определяются на местности в реальном режиме времени, и появляется возможность оперативного вычисления геометрических параметров.

Оценка точности способа определения геометрических параметров

На основании формул показанных на рисунке 5.21 средняя квадратическая погрешность определения радиусов будет равна

$$m_R = \sqrt{m_l^2 \left(\frac{1}{2 \sin(b)} \right)^2 + m_b^2 \left(\frac{\cos(b)l}{2 \rho \sin^2(b)} \right)^2}, \quad (5.8)$$

где m_R – СКП определения радиуса;

m_l – СКП определения длины хорды (точность позиционирования приёмниками ГНСС геодезического класса – плановая от 0.5 до 3 см);

m_b – СКП определения горизонтальных углов (5-10");

$\rho=206265''$.

Т а б л и ц а 5.6 – Способы определения геометрических параметров на автомобильных дорогах

Способы Показатели	Нормативные [52]	Механизированные [45, 196]	Катъкало Ю. А. [138]	Никитин А. В.
Контроль в процессе строительства	Ограничен условиями местности	Трудно выполним	Затруднительно в горной местности	Эффективен (определяет горизонтальные и вертикальные радиусы кривых)
Проверка геометрических параметров при паспортизации	Требует больших временных затрат	Точность определяется условием состояния дорожного покрытия и инерциальной системы	Сложность выбора расположения тахеометра	Не зависит от рельефа и ситуации вне поверхности дороги
Точность	Не высокая (в связи с неоднозначностью определения углов поворота, и тангенсов)	Высокая (при условии качественного верхнего слоя дорожной одежды)	Отвечает нормативным требованиям	Высокая (определяется точностью современных приёмников ГНСС)

СКП длины кривой определится из выражения

$$m_K = \sqrt{m_R^2 (0.035 \beta)^2 + m_\beta^2 \left(\frac{0.035 R}{\rho \beta} \right)^2}, \quad (5.9)$$

где m_K – СКП определения длины кривой;

m_β – СКП определения (измерения горизонтальных углов);

β – величина горизонтальных углов.

В соответствии с нормативными документами точность определения радиусов горизонтальных и вертикальных кривых на автомобильных дорогах должна составлять $\pm 10\% R$ [7, С. 177]. При расчёте точности определения радиусов (от 100 м до 3000 м) для различных категорий дорог выявлено, что СКП находятся в пределах от 0.1 м до 1 м, что значительно точнее рекомендуемых требований.

На основе анализа данных и заключений, очевидно, что предложенный способ определения радиусов кривых на автомобильных дорогах является более производительным и эффективным.

Его применение гарантирует определение геометрических параметров с высокой точностью при строительстве и эксплуатации автомобильных дорог.

Помимо *координатного метода* может быть использован и другой способ с использованием электронного тахеометра, когда длины хорд ℓ и углы (b , c) не вычисляются, а измеряются непосредственно на местности, как показано на рисунке 5.23. Данный способ контроля особенно эффективен при строительстве автомобильных дорог [111, 122, 125].

Преобразуем формулы, представленные на рисунке 5.21, и определим радиус кривой

$$R = \frac{K 90^\circ}{\pi b}. \quad (5.10)$$

Приняв в формуле (5.10) K за постоянную величину (20, 50, 100 м) получим прямую зависимость радиуса только от горизонтального угла b .

Для фиксированных значений отложенных длин дуги кривой формула примет вид

$$\begin{aligned}
 1. \text{ При } K_{\phi} = 20 \text{ м } R &= \frac{573,248}{b} ; \\
 2. \text{ При } K_{\phi} = 50 \text{ м } R &= \frac{1433,121}{b} ; \\
 3. \text{ При } K_{\phi} = 100 \text{ м } R &= \frac{2866,242}{b} .
 \end{aligned}
 \tag{5.11}$$

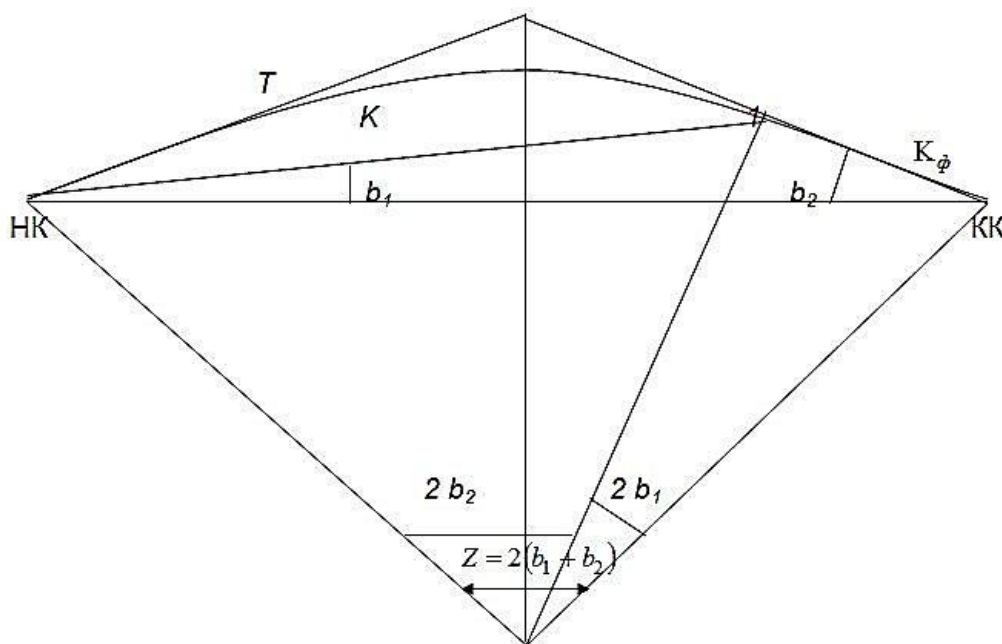


Рисунок 5.23 – Способ оперативного определения радиусов круговой кривой

Разработанный способ позволяет оперативно определять радиусы круговых кривых на автомобильных дорогах после измерения угла b . Для этого необходимо установить электронный тахеометр в любой точке кривой перед отложенной дугой фиксированной длины или за ней и измерить угол на концы дуги.

Для практического применения разработанного способа на производстве возможно составление специальных таблиц, в которых по вычисленным значениям угла b (через определённый интервал) сразу определяют величину радиуса.

В случае необходимости определения не только радиуса, но и остальных элементов кривой (K , T , B), фиксированная длина дуги K_ϕ (КК–1) должна откладываться от точек начала или конца кривой, а углы b_1 и b_2 соответственно измеряться от этих же точек.

При этом угол z опирающийся на длину кривой, будет равен

$$z = 2(b_1 + b_2). \quad (5.12)$$

Тогда элементы кривой будут определяться из соотношений:

$$\begin{aligned} T &= R \operatorname{tg}(b_1 + b_2), \\ K &= \frac{\pi R 2(b_1 + b_2)}{180^\circ} = \frac{\pi R (b_1 + b_2)}{90^\circ}, \\ B &= R(\sec(b_1 + b_2) - 1). \end{aligned} \quad (5.13)$$

Рассмотренный выше способ определения параметров кривых целесообразно применять в условиях прямой видимости точек начала и конца кривой.

Точность определения радиусов m_R будет зависеть от точности измерения углов m_β , длин радиусов R и будет вычисляться по формуле

$$m_R = m_\beta R. \quad (5.14)$$

При выполнении работ электронным тахеометром Sokkia 530RL точность угловых измерений составляет 5", поэтому СКП в определении радиуса будет следующей

- для радиусов до 500 м $m_R=0.01$ м;
- для радиусов до 1000 м $m_R=0.02$ м;
- для радиусов до 5000 м $m_R=0.12$ м.

Разработанные способы определения геометрических параметров автомобильных дорог позволяют оперативно и с необходимой точностью выполнять геодезические измерения. При этом значительно повышается производительность труда за счёт сокращения времени производства работ. *В 2008–2011г. способы по определению радиусов кривых применялись на ЗабЖД и ДвостЖД для определения геометрических параметров притрассовых дорог при выполнении инженерно-геодезических изысканий для реконструкции участков железных дорог (Приложение А).*

Вызывает некоторый вопрос точность фиксации на местности точек начала и конца кривой. Действительно, данные точки круговой кривой определяется визуально по отклонению вехи от створа, восстановленного на оси прямого участка дороги. При этом возникает погрешность, достигающая величины несколько десятков сантиметров. На общую длину трассы и расчет пикетажа погрешность фиксации начала и конца кривой не скажется. Точность координатного метода паспортизации дорог будет определяться точностью применяемых геодезических средств измерений.

Определение радиусов кривых является неотъемлемой частью общего геодезического контроля при строительстве дорог.

Геодезический контроль при строительстве автодорог включает следующие операции:

- восстановление трассы;
- контроль при возведении земполотна;
- разбивка осей искусственных сооружений;
- детальная разбивка круговых и переходных кривых;
- планово – высотный контроль при укладке дорожной одежды;
- исполнительная съёмка.

Восстановление трассы производится по оставшимся на местности знакам закрепления, при этом обозначаются и закрепляются все вершины углов поворота трассы, главные точки круговых кривых (в плане и профиле), начала и конца переходных кривых, все точки перелома трассы в профиле, точки пересечения трассой осей водопропускных сооружений и коммуникаций.

В случаях, когда трассирование производилось на крупномасштабном изыскательском плане, составленном по материалам тахеометрической съёмки, выполненной с магистрального хода электронной тахеометрии, вынос трассы в натуру осуществляется от точек хода электронной тахеометрии, закреплённых на местности. Следует заметить, что разбивочные работы по трассе удобнее выполнять в системе координат трассы, в то же время необходимо знать и значения координат в государственных (местных) системах координат, что необходимо, в частности, для определения площади полосы отвода.

Наиболее сложным представляется процесс детальной разбивки кривых. Перед детальной разбивкой кривой восстанавливают на местности положение вершины угла поворота, начала, середины и конца кривой. Интервал расстановки точек на кривой назначают в зависимости от длины кривой, радиуса и методов производства строительных работ; его величина обычно бывает равной 5, 10, 20 метров.

В существующих технологиях разбивку кривых выполняют от точек начала или конца кривой к её середине. Для проведения детальной разбивки применяют основные способы – прямоугольных координат, продолженных хорд, полярных координат и способ «свободной станции».

Классические и современные методики детальной разбивки кривых приведены в научно-технической литературе [15, 16, 25, 52, 98].

Вопросы точности при выполнении геодезических работ в автодорожном строительстве изложены в статье [180].

В некоторых тахеометрах, например Sokkia 230R есть специальные встроенные программы, предназначенные для разбивки кривых. Как правило, в качестве кривых используют только круговые кривые. Также в приёмниках ГНСС

существуют технологии по разбивке кривых [203]. Наиболее часто для выноса кривых на местность применяют координатный способ разбивки. При этом координаты точек, определяемые по расчётным формулам, импортируются в приборы в соответствующем программном обеспечении. Однако сама технологическая последовательность при выполнении данных видов работ не представлена в литературе и руководствах по эксплуатации геодезических приборов. Поэтому *необходимо адаптировать современные геодезические технологии к автодорожному строительству.*

Основные принципы по разбивке кривых изложены автором в работах [101, 102, 105, 107]. В данных публикациях автор предложил методики геодезических работ для разбивки круговых, коробовых кривых и контроле при возведении земполотна с использованием электронного тахеометра.

При разработке выемок и возведении насыпей, а также сооружении дорожного полотна наиболее ответственной работой является разбивка поперечников на прямых и криволинейных участках автомобильной дороги. В традиционных методах разбивки поперечников применяют теодолит, нивелир, рейки, мерные ленты или рулетки, откосники, створные визирки, а также различные шаблоны и механические приспособления.

Суть разбивочных работ с использованием электронного тахеометра заключается в том, что для всех характерных точек строительных поперечников вычисляются координаты в координатной системе самой трассы или её отдельного участка. При этом за начало координат принимается пикет трассы для прямых участков или начало кривой для криволинейных участков, за ось абсцисс принимаются ось дороги или тангенс кривой, за ось ординат – перпендикуляр к оси абсцисс. Затем относительно предполагаемой стоянки прибора готовятся разбивочные элементы (горизонтальные расстояния и углы) путём решения обратных геодезических задач. Стоянкой прибора может быть пикет трассы или любая другая удобная для работы точка, координаты которой получают как для «свободной станции» из решения обратной линейно-угловой засечки.

5.6 Разработка конструкции геодезического знака для опорных геодезических сетей и реперных систем

За последнее десятилетие произошли принципиальные изменения в технологии и приборном обеспечении геодезических работ, что приводит к необходимости отказа от традиционных знаков закрепления опорных, разбивочных и государственных сетей. Современная технология предполагает использование таких приборов, как электронные тахеометры, приемники ГНСС, при этом в геодезических знаках становятся ненужными такие элементы конструкций, как визирный цилиндр и болванка, крыша, столик для наблюдений (установки прибора). В разделе 1.5 были рассмотрены вопросы создания *реперных сетей* на железных дорогах. На настоящий момент в РФ отсутствует единый подход к методологии создания и *методам закрепления опорных и реперных геодезических сетей*.

На Дальнем Востоке значительное количество геодезических пунктов находятся районах лесной растительности. На рисунке 5.24 показан один из таких пунктов. Причём старый сигнал (правая часть рисунка) сломан. На пункте расположен приёмник Trimble 5700. При выполнении измерений изыскательской партией ДВГУПС в августе 2011 г. (п. Ванино, Хабаровский край) получились не совсем качественные результаты, т.к. маска возвышения была около 10^0 . Поэтому для подобных задач, а также для обеспечения геодезических работ *в мостостроении и при создании опорных и реперных систем* необходимо разработать геодезический знак многоразового применения.

В диссертации была разработана конструкции наружного знака геодезической сети, на который получен патент на изобретения удовлетворяющий требованиям современной технологии построения разбивочных и обновлению государственных геодезических сетей, а также спутниковых геодезических сетей [119, 144].



Рисунок 5.24 – Пункт полигонометрии «Дюанко», Ванино – 2011г.

Описание конструкций поясняется на рисунке 5.25. Конструкция наружного знака облегчена и состоит из рамных секций (1), изготовленных в мастерских или на заводе и собираемых на месте расположения опорного пункта геодезической сети. Внутренняя часть знака (рисунок 5.20 а), имеющая вид усеченной пирамиды после монтажа секций, в верхней части скрепляется плитой (2), имеющей в центре круговое отверстие (3) диаметром 0,5метра и углублениями (4) для размещения в них ножек штатива.

Причем несколько углублений находятся в местах размещения каждой из ножек штатива с тем, чтобы осуществлять перемещение штатива в процессе

центрирования и исключить из процесса измерений определения элементов центрировки и редукции.

Внешняя часть знака (рисунок 5.25 б) не соприкасающаяся с внутренней имеет вид также усеченной пирамиды высотой на 10–15 см больше чем внутренняя, скрепленная в верхней части помостом (6) для перемещения наблюдателя и перилами безопасности (7), возвышающимися над помостом на 1,1–1,2 метра. На одной из ног внешней пирамиды имеются переключатели (8) для подъема наблюдателя на помост знака или лестница. Нижние секции внутренней и внешней усеченных пирамид заглубляются в грунт в расчетных местах с тем, чтобы центр отверстия плиты внутренней пирамиды оказался над центром подземного знака пункта. Затем монтируются последовательно все секции знака. Секции изготавливаются из металлических труб (5) или уголковых элементов; скрепление секций между собой выполняется специальными замками (9, 10), представляющими собой болтовое соединение. Плита и ленточный помост соединяются с пирамидами аналогичными соединениями или сваркой, усиленной уголковыми кронштейнами.

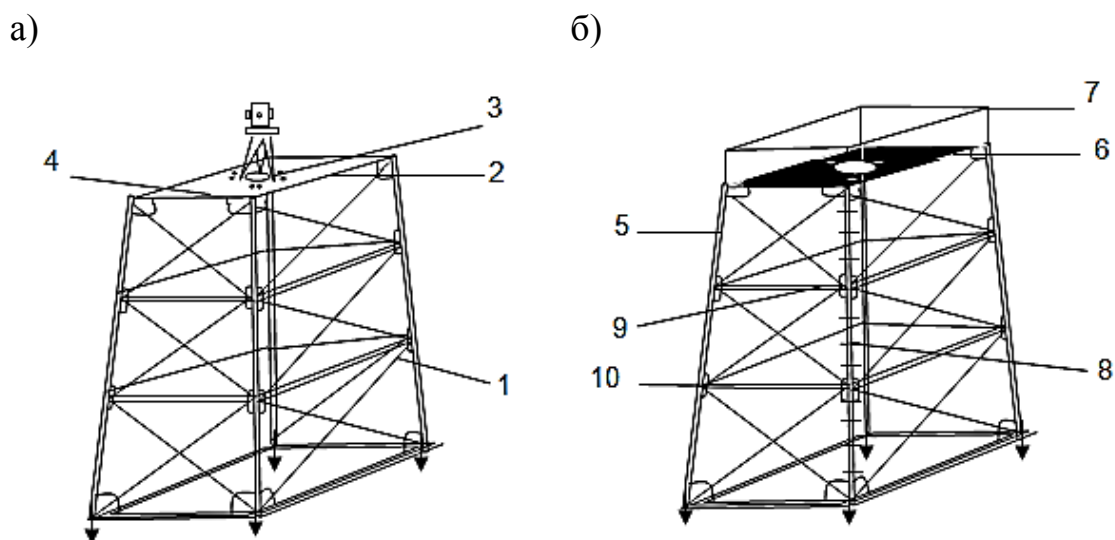


Рисунок 5.25 – Геодезический знак

Облегченность конструкции не обеспечивает постоянной многолетней устойчивости и не подвижности знака, что и не требуется в современной

технологии основных геодезических работ.

Так как перед наблюдениями устойчивость пирамид проверяется и, в случае необходимости, ноги усеченных пирамид дополнительно заглубляются (забиваются) в грунт, а отклонение знака от первоначального положения устраняется в процессе центрирования прибора и отражателей и не влияет на точность измерений.

В верхней части геодезического знака его боковые стойки крепятся коробкой сделанной из стали, с которой скрепляется подставка визирного устройства, устанавливаемого в случае необходимости. Предложенный знак может использоваться и при традиционной технологии выполнения работ по созданию разбивочной основы, сетей сгущения и восстановлению пунктов государственной опорной сети.

В этом случае электронный тахеометр устанавливается на штативе и центрируется с помощью отвеса над центром пункта.

Наблюдения выполняются на специальные вехи, установленные на плитах внутренней или внешней усеченных пирамид в специальных массивных крестообразных подставках и отцентрированных с помощью тяжелых нитяных отвесов над центрами пунктов. На больших расстояниях между пунктами для лучшего обнаружения вехи оборудуются в верхней своей части цилиндрами.

Конструкция рассчитывается на самое неблагоприятное сочетание следующих нагрузок: собственный вес фермы; эксплуатационная нагрузка (вес человека с учетом его возможного перемещения по верхнему настилу, вес необходимого инструмента и приборов); вес настилов; ветровая нагрузка.

Вся конструкция предполагается разборной. Соединения отдельных элементов предполагается на болтах. Те элементы, которые не требуют разборки, скрепляются между собой при помощи заклепок или сварки.

Нормативное значение веса конструкций заводского изготовления следует определять на основании стандартов, рабочих чертежей или паспортных данных заводов изготовителей по проектным размерам и удельному весу материалов, из которых будет изготовлена конструкция. Коэффициент надежности по нагрузке

для веса конструкции принимается по [166]. Эксплуатационная нагрузка, а также вес настилов принимается в зависимости от их размеров в плане, расчетных размеров поперечных сечений.

Ветровую нагрузку следует определять как сумму средней и пульсационной составляющих. Нормативное значение средней составляющей ветровой нагрузки W_m на высоте Z над поверхностью земли определяется по формуле

$$W_m = W_0 k c, \quad (5.15)$$

где W_0 – нормативное значение давления ветра;

k – коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления по высоте;

c – аэродинамический коэффициент.

Нормативное значение ветрового давления W_0 принимается в зависимости от ветрового потока. Для горных и малоизученных районов, обозначенных на карте 3 [168], нормативное значение ветрового давления W_0 допускается устанавливать на основе данных метеостанций Росгидромета. В некоторых случаях в зависимости от района установки фермы и как следствие изменения температурного режима необходимо учитывать температурные климатические воздействия. Предварительно собственный вес фермы может быть определен по атласу типовых проектов.

После определения внешних нагрузок все они приводятся к узлам фермы. Далее известными методами определяются усилия во всех несущих элементах конструкции от внешних нагрузок и при необходимости от температурного воздействия. По найденным усилиям принимаются сечения элементов конструкции из труб или прокатных профилей. Скрепления элементов между собой осуществляется при помощи фасонки.

При подборе сечения стержней, работающих на сжатие, необходимо обеспечить их устойчивость. Рассматривая только часть сегмента (боковую плоскую ферму), следует различать возможную потерю устойчивости элемента,

как в плоскости, так и из плоскости этой фермы. Несущая способность сжатого стержня зависит от его гибкости λ [169]

$$\lambda_x = \frac{\mu_x \ell}{i_x}, \quad \lambda_y = \frac{\mu_y \ell}{i_y}, \quad (5.16)$$

где ℓ – длина стержня;

i_x, i_y – радиусы инерции стержней относительно соответствующих осей.

После подбора сечений всех элементов фермы определяется их собственный вес и в случае необходимости расчет повторяют заново, в результате чего, уточняют размеры поперечных сечений элементов.

Далее подбирают размеры опорных частей фермы в зависимости от прочностных характеристик грунта, а также осуществляют проверку устойчивости на опрокидывание всей фермы в целом.

Рассмотренная конструкция наружного знака имеет и то преимущество, что является изделием многократного использования, так как после завершения строительства на одном искусственном сооружении она может быть демонтирована и перевезена на другой объект.

Так же целесообразно применять данный геодезический знак для построения и ОГС на железных дорогах.

Выводы по разделу:

Научно обоснованы и реализованы на производстве методы геодезических работ на железнодорожных станциях и узлах, которые в дальнейшем можно использовать при создании высокоточной координатной системы (ВКС), учитывающие специфику конкретной станции, климатические условия, существующие геодезические пункты.

Предложены методы получения пространственных данных для железных дорог, станций и узлов. На основании анализа производственных материалов сделаны следующие выводы и рекомендации:

– применение приёмников ГНСС при создании и контроле геодезического съёмочного обоснования позволяет оперативно получать надёжные геопространственные данные;

– при создании планово-высотного обоснования (ПВО) с использованием электронных тахеометров и приёмников ГНСС увеличение расстояний между пунктами относительно нормативных требований в два раза не влияет на качество построений;

– погрешность измерений увеличивается, если в геодезическом обосновании присутствует значительное количество переходов с коротких на длинные расстояния;

– расстояния между ГНСС-пунктами в ходах рекомендуется проектировать в интервале 2 500 м – 3 500 м;

– применение оптимальных методов производства инженерно-геодезических изысканий, включающих классические методы и приемники ГНСС, повышает производительность труда;

– при нивелировании поперечников необходимо сочетать геометрическое и тригонометрическое нивелирование в зависимости от целей и условий работ.

Выполнен расчет показывающий повышение производительности труда при выполнении инженерно-геодезических изысканий на 15 % за счёт использования оптимальных методов производства геодезических работ.

Разработан способ определения геометрических параметров автомобильных и притрассовых дорог с применением приёмников ГНСС и электронных тахеометров и внедрён в производство на ДвостЖД. Разработанный способ контроля обладает следующими техническими преимуществами по сравнению с нормативными и механизированными методами:

- в процессе строительства автомобильных дорог – оперативно определяет горизонтальные и вертикальные радиусы кривых;
- в процессе паспортизации автомобильных дорог – не зависит от рельефа и ситуации вне поверхности дороги;

- средняя квадратическая погрешность коррелируется с точностью геодезических систем позиционирования.

Разработанная конструкция геодезического знака многократного применения предназначена для эффективного использования спутниковых приёмников при создании опорных геодезических сетей и реперных систем на железных дорогах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного диссертационного исследований достигнута поставленная цель – проведены теоретические и прикладные исследования по развитию теории и методов геодезического обеспечения дорожной транспортной инфраструктуры. Сформулированные задачи для реализации поставленной цели решены.

Итоги диссертационного исследования заключаются в следующем:

– выполнен анализ современных методов геодезического обеспечения дорожной транспортной инфраструктуры, который показал, что существует противоречие между совершенствующимися технологиями инженерных изысканий, проектирования и строительства автомобильных, железных дорог и мостов и уровнем соответствующего им геодезического обеспечения и нормативной базой, на основании анализа сформулированы задачи диссертационного исследования;

– предложена база данных (база знаний) методов геодезических работ для объектов дорожной транспортной инфраструктуры, позволяющая принимать эффективные инженерные и управленческие решения по выбору методов получения геопространственных данных при изысканиях, проектировании, строительстве и эксплуатации автомобильных, железных дорог и мостов в зависимости от решаемых научно-производственных задач. В перспективе база данных может быть использована для создания системы искусственного интеллекта геодезического обеспечения транспортного развития страны, что вписывается в концепцию развития цифровой экономики России;

– разработан способ определения фактической длины трассы при проектировании автомобильных дорог, отличающийся тем, что пространственную длину трассы определяют как сумму пространственных длин прямолинейных участков, горизонтальных и вертикальных кривых. Применение данного способа для автомобильных дорог III–V категорий повышает точность линейных геодезических измерений при выносе трассы на местность (стадия строительства) на 40 %;

– разработан способ определения площадей земельных и водосборных участков, позволяющий уточнять физическую поверхность территорий на основе учета продольных и поперечных углов наклона участков по взаимно-перпендикулярным направлениям. В сравнении с существующими способами при проектировании водопропускных сооружений на автомобильных и железных дорогах повышает точность определения физической площади водосбора на 20 %;

– разработаны способы оперативного контроля планового положения опор мостов и их крена с одного пункта наблюдений, которые позволяют сократить время на выполнение полевых работ и повысить точность геодезических разбивочных работ;

– разработаны методики производства геодезических работ на железнодорожных станциях Забайкальской и Дальневосточной железных дорог (15 станций), учитывающие специфику конкретной станции, природно-климатические условия, существующие геодезические пункты. Выполнен расчет, показывающий повышение производительности труда при выполнении инженерно-геодезических изысканий на 15 % за счет использования оптимальных методов производства геодезических работ.

Разработанные в диссертации новые способы производства геодезических работ подтверждены пятью патентами РФ на изобретения и в совокупности составляют научную новизну базы данных методов геодезических работ.

Диссертация является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований изложены новые теоретические, технические и технологические решения по развитию теории и методов геодезического обеспечения дорожной транспортной инфраструктуры, внедрение которых внесет значительный вклад в развитие экономики страны и повышение ее обороноспособности. Перспективы научных исследований заключаются в том, что полученные результаты диссертации должны быть внедрены в производство и учтены при создании новых нормативных документов в области инженерно-геодезических изысканий для автомобильных и железных дорог.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

АТР	– Азиатско-Тихоокеанский регион
ВКС	– высокоточная координатная система
ВСН	– ведомственные строительные нормы
ГИО	– геоинформационное обеспечение
ГИС	– геоинформационная система
ГНСС	– глобальные навигационные спутниковые системы
ГПД	– геопространственные данные
ДвостЖД	– Дальневосточная железная дорога
ЗабЖД	– Забайкальская железная дорога
КД	– координатные данные
ИТК	– инфраструктура транспортных коридоров
ОГС	– опорная геодезическая сеть
ПВО	– планово-высотное обоснование
РС	– референцная станция
РФ	– Российская Федерация
СБД	– система баз данных
СГУПС	– Сибирский государственный университет путей сообщения
СКП	– средняя квадратическая погрешность
СП	– свод правил
СНиП	– строительные нормы и правила
ТК	– транспортные коридоры
ТРА	– технико-распорядительный акт
ЦММ	– цифровая модель местности
ЦК	– цифровая карта
ЭК	– электронная карта

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Автодороги Московской области на полном учёте в ГИС / И. Г. Кройн, Н. Я. Лебедева, А. В. Самохина, Я. Ю. Землянская [Электронный ресурс].– Режим доступа: <http://www.gispro.ru/stati/avtodorogi-moskovskoy-oblasti-na-polnom-uchete-v-gis>.

2 Антонович, К. М. Этапы развития спутниковых технологий на примере GPS [Текст] / К. М. Антонович // Геопрофи. – 2003. – № 2. – С. 6–10.

3 Антонович, К. М. Мониторинг объектов с применением GPS-технологий / К. М. Антонович, А. П. Карпик [Текст] // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2004. – N 1. – С. 53–66.

4 Антонович, К. М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии [Текст] : монография в 2 т. / К. М. Антонович. – М. : Картгеоцентр, 2005. – Т. 1. – 334 с.

5 Артамонова, И. А. Методические указания и рабочая тетрадь по микроэкономике для студентов 5-го курса факультета дистанционных форм обучения (заочное отделение, специальности: прикладная геодезия, геодезический кадастр, картография) [Текст] / И. А. Артамонова – М : Изд-во МГУГиК, 2015. – 30 с.

6 Асташенков, Г. Г. Определение фактического значения площади наклонного участка местности по данным полевых измерений [Текст] / Г. Г. Асташенков, Г. Е. Стрельников, В. Я. Шипулин // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 1999. – № 6. – С. 16–21.

7 Афанасьев, М. А. Проектирование ремонта городских улиц и создание ГИС улиц и проездов Санкт–Петербурга / М. А. Афанасьев, О. В. Вершинин // Информационный бюллетень ГИС–ассоциации. – 1999.– № 2 (19).– С. 17–18.

8 Бабков, В. Ф. Проектирование автомобильных дорог [Текст] / В. Ф. Бабков, О. В. Андреев. – М.: Транспорт, 1979. – 149 с.– II ч.

9 Баран, П. И. Геодезические работы при монтаже и эксплуатации оборудования [Текст] / П. И. Баран. – М.: Недра, 1990. – 234 с.

10 Барсук, М. Н. Техническое обеспечение измерения геометрических параметров автомобильных дорог [Электронный ресурс] / М. Н. Барсук.– Режим доступа: <http://www.sworld.com.ua/konfer25/379.htm>.

11 Батраков, Ю. Г. Об оценке точности определения площадей земельных участков [Текст] / Ю. Г. Батраков, У. Д. Самратов // Геодезия и картография. – 1999. – № 7. – С. 38–43.

12 Беспалов, Ю. И. Жидкостные компенсаторы. Теория и практика применения в маркшейдерско-геодезических приборах [Текст] / Ю. И. Беспалов. – Владивосток : Изд-во ДВГУ, 1989. – 148 с.

13. Бойков, В. Н. Автоматизированное проектирование автомобильных дорог (на примере IndorCAD / Road) [Текст] / В. Н. Бойков, Г. А. Федотов, В. И. Пуркин. – М. : Изд-во МАДИ, 2005. – 224 с.

14 Величко, Г. В. Обеспечение целостности моделей инфраструктурных объектов в интегрированных информационных технологиях [Электронный ресурс] / Г. В. Величко – Режим доступа : <http://copy.yandex.net/?text=%D...cf7d&keyno=0>

15 Визиров, Ю. В. Геодезическая разбивка контуров дорожных насыпей и выемок [Текст] / Ю. В. Визиров // Геодезия и картография. – 1993. – № 7. – С.11–15.

16 Визиров, Ю. В. Электронная тахеометрия при разбивке земляного полотна на кривой [Текст] / Ю. В. Визиров // Геодезия и картография. – 1996. – № 4. – С. 21–23.

17 Визиров, Ю. В. Электронная тахеометрия как метод построения многоцелевого геодезического обоснования при железнодорожном строительстве [Текст] / Ю. В. Визиров // Транспортное строительство. – 1995. – № 7. – С.17–20.

18 Визиров, Ю. В. Демаркация границ полосы отвода земель при линейном строительстве [Текст] / Ю. В. Визиров // Транспортное строительство. – 1998. – № 3. – С.14–20.

19 Виноградов, А. В. Вычисление площадей территорий на разных эллипсоидах [Текст] / А. В. Виноградов // Геодезия и картография. – 2013. – № 3.

– С. 12–16.

20 Виноградов, А. В. Определение площади физической поверхности участка по способу итераций [Текст] / А. В. Виноградов // ГЕО – Сибирь –2009 : сб. материалов V Междунар. науч. конгр. Новосибирск, 2009 г. – Новосибирск, 2009. – Т. 1, ч. 1. – С. 117 – 122.

21 ВСН–195–83. Инструкция по изысканиям и проектированию притрассовых автомобильных дорог в условиях Сибири и Дальнего Востока / [Электронный ресурс].– Режим доступа :<http://portstroy.ru/spb/vsn/195-83/>.

22 Гайрабеков, И. Г. Особенности учета сверхнормативных неравномерных кренов конструкций при подъеме и выравнивании многоэтажных зданий [Текст] / И. Г. Гайрабеков, Ю. И. Пимшин // Вестник Северо-Кавказского государственного технического университета. – 2011. – № 1. – С. 88–92.

23 Гайрабеков, И. Г. Крен как одна из важных характеристик при определении деформированного состояния и восстановлении эксплуатационной надежности здания [Текст] / И. Г. Гайрабеков, Ю. И. Пимшин // Инженерный вестник Дона. – 2010. – Т. 13, № 3.– С. 67–79.

24 Галахов, В. И. Мультимодальные транспортные коридоры [Текст] / В. И. Галахов. – М. : Транспорт, 2001. – 71с.

25 Ганышин, В. Н. Таблицы для разбивки круговых и переходных кривых [Текст] / В. Н. Ганышин, Л. С. Хренов. – М. : Недра, 1985. – 430 с.

26 Геодезические работы с помощью GPS [Электронный ресурс]. – М., 2009.– Режим доступа : <http://www.navgeocom.ru/gps/expl/index.htm>.

27 Генике, А. А. Глобальные спутниковые системы определения местоположения и их применение в геодезии [Текст] / А. А. Генике, Г. Г. Побединский. – М. : Картгеоцентр, 2004. – 355 с.

28 Геодезические работы для строительства оросительных и осушительных систем [Текст] / К. С. Соберайский, И. Ф. Сирота, Ю. Г. Батраков, С. В. Взнуздаев, С. М. Дворянков. – М. : Недра, 1963. – 204 с.

29 Геодезические работы при строительстве мостов [Текст] / В. А. Коугия, В. В. Грузинов, О. Н. Малковский, В. Д. Петров. – М. : Недра, 1986. – 248 с.

30 Геоинформатика [Текст] : толковый слов. основных терминов [Текст] / под ред. А. М. Берлянта, А. В. Кошкарева. – М.: ГИС–Ассоциация, 1999. – 204 с.

31 Геоинформатика [Текст] / А. Д. Иванников, В. П. Кулагин, А. Н. Тихонов, В. Я. Цветков. – М. : Макс–Пресс, 2001. – 349 с.

32 ГОСТ 32869 – 2014 Дороги автомобильные общего пользования. Требования к проведению топографо-геодезических изысканий [Текст]. – М. : Стандартиформ, 2016. – 40 с.

33 Гладкий, В. И. Кадастровые работы в городах [Текст] / В. И. Гладкий. – Новосибирск : Наука, 1988. – 281с.

34 Глотов, Н. М. Строительство фундаментов глубокого заложения [Текст] / Н. М. Глотов, К. С. Силин. – М. : Транспорт, 1983. – 248 с.

35 Дорожная передвижная лаборатория [Текст] / В. М. Круглов, В. В. Щербаков, И. И. Козяткин и др. // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2005. – № 1. – С. 29–31.

36 Дьяков, Б. Н. Оперативная оценка точности площади земельного контура с прямолинейными границами [Текст] / Б. Н. Дьяков // Геодезия и картография. – 1996. – № 2. – С. 39–41.

37 Дьяков, Б. Н. Комментарий к инструкции по межеванию земель [Текст] / Б. Н. Дьяков // Геодезия и картография. – 2000 . – № 6. – С. 42–45.

38 Евстафьев, О. В. Наземная инфраструктура ГНСС для точного позиционирования [Текст] / О. В. Евстафьев. – М. : Проспект, 2009. – 48 с.

39 Елугучёв, П. А. Актуальность метода пространственного трассирования автомобильных дорог [Текст] / П. А. Елугачёв, В. Н. Бойков, П. С. Крысин // Вестник ТГСУ. – 2006. – № 1.– С. 145–149.

40 Ефремов, И. Н. Особенности содержания кривых в плане при использовании специальной реперной системы [Электронный ресурс] / И. Н. Ефремов.– Режим доступа:<http://www.css-rzd.ru/vestnik-vniizht/v2004-5/V5-8a.htm>.

41 Жарников, В. Б Проектирование технологий геодезического контроля осадок и деформаций инженерных комплексов [Текст] / В. Б. Жарников, Б. Н.

Жуков. – Новосибирск : НИИГАиК, 1989. – 74 с.

42 Железняков, Г. З. Гидрология и гидрометрия [Текст] / Г. З. Железняков. – М. : Высшая школа, 1981. – 263 с.

43 Жидов, В. М. Обоснование комплексирования спутниковых и инерциальных измерений для съемки железнодорожных путей [Текст] / В. М. Жидов // Геодезия и картография. – 2010. – № 11. – С. 10–12.

44 Жилин, Н. С. Современные автоматизированные технические средства диагностики автомобильных дорог [Текст] : обзор. информ. / Н. С. Жилин, В. Н. Ермолаев. – М. : Информавтодор, 2002. – 60 с.

45 Жуйкова, А. Н. Системы диагностики автомобильных дорог [Электронный ресурс] / А. Н. Жуйкова. – Режим доступа: <http://www.rae.ru/forum2011/pdf/article828.pdf>.

46 Жуков, Б. Н. Нормирование точности геодезических измерений при возведении сооружений, монтаже оборудования и контролем за их состоянием [Текст] / Б. Н. Жуков // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 1983. – № 4. – С. 28 – 35.

47 Зайцев, В. И. Построение линии, параллельной оси, методом бокового нивелирования [Текст] / В. И. Зайцев // Геодезия и картография. – 1980. – № 6. – С. 30–32.

48 Зайцев, В. Н. Активный геодезический контроль при строительстве мостов [Текст] / В. Н. Зайцев, А. В. Никитин // Совершенствование методики и средств топографо-геодезических работ. – Хабаровск, 1990. – С. 88–93. – Деп. в ВИНТИ № 3467–В 90.

49 Зеленский, А. М. Об определении крена высоких сооружений башенного типа [Текст] / А. М. Зеленский // Геодезия и картография. – 1974. – № 12. – С. 30–33.

50 Информационная система / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Система>.

51 Ивлев, А. П. Определение площадей по аэроснимкам с использованием локальных наземных систем базисов [Текст] / А. П. Ивлев // Науч. тр. Омского с.-х. ин-та. – 1975. – Вып. 136. – С. 87–92.

52 Инструкция по разбивочным работам при строительстве, реконструкции и капитальном ремонте автомобильных дорог и искусственных сооружений [Текст] – М. : Транспорт, 1983. – 102 с.

53 Инженерная геодезия (с основами геоинформатики) [Текст] / С. И. Матвеев и др. – М. : ГОУ Учебно-метод. центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2007. – 555 с.

54 Инструкция по полигонометрии и триангуляции [Текст]. – М. : Недра, 1976. – 105 с.

55 Инструкция по межеванию земель [Текст]. – М. : Роскомзем, 1996. – 32 с.

56 Инструкция по развитию съемочного обоснования и съемки ситуации и рельефа с применением глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС и GPS [Текст] / под ред. Л. В. Неверова. – М. : ЦНИИГАиК, 2002. – 55 с.

57 Инструкция NCC/1164. Об особенностях постановки на государственный кадастровый учет участков, занятых объектами железнодорожного транспорта и предоставлении сведений о таких земельных участках [Текст]. – М.: Росземкадастр, 2002. – 10 с.

58 Инструкция по расчёту стока с малых водосборов. ВСН 63–76. Минтрансстрой СССР [Текст]. – М. : Оргтрансстрой, 1976. – 103 с.

59 Канашин, Н. В. Сканерная сеть для съемки железнодорожной станции [Текст] / Н. В. Канашин, К. П. Виноградов // Геодезия и картография. – 2009. – № 5. – С. 14 – 16.

60 Каленицкий, А. И. Методика и некоторые результаты экспресс-оценки площади участков поверхности и территорий [Текст] / А. И. Каленицкий, Е. Е. Васильева // Геодезия и картография. – 2011. – № 2. – С. 35 – 39.

61 Карпик, А. П. Прикладная геодезия. Геодезическое обеспечение изысканий, строительства и мониторинга мостовых сооружений [Текст] : учеб. пособие // А. П. Карпик, П. П. Мурзинцев, В. А. Падве. – Новосибирск : СГУГиТ, 2015. – 222 с.

62 Карпик, А. П. Управление территорией в геоинформационном дискурсе [Текст] : монография / А. П. Карпик, А. Г. Осипов, П. П. Мурзинцев. – Новосибирск : СГГА, 2010. – 280 с.

63 Карпик, А. П. Технология обеспечения геопространственными данными инфраструктуры транспортных коридоров [Текст] / А. П. Карпик, А. В. Никитин, А. Р. Едигарян // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012 : VIII Междунар. науч. конгр., 10-20 апр. 2012 г., Новосибирск : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия»: сб. материалов в 3 т. – Новосибирск: СГГА.–2012 Т.1 – С. 7–18.

64 Карпик, А. П. Теория моделирования пространственной длины трассы [Текст] / А. П. Карпик, А. В. Никитин // Интерэкспо ГЕО-Сибирь – 2013 : IX Междунар. науч. конгр., 15-26 апр. 2013 г., Новосибирск : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия»: сб. материалов в 3 т. – Новосибирск: СГГА.– 2013.– Т.1 – С. 49–53.

65 Карпик, А. П. Информационная система построения инфраструктуры геопространственных данных для автомобильных и железных дорог [Текст] / А. П. Карпик, А. В. Никитин // Вестник СГУГиТ. – 2016. – № 4 (36) . – С. 7 – 15.

66 Катущков, В. А. Определение площадей способом координат и трилатерации [Текст] / В. А. Катущков, В. М. Сердюков // Геодезия и картография. – 1998. – № 4 – С. 45 – 49.

67 Колобов, Р. В. Функционал новой линейки программных продуктов CREDO 3 и методические аспекты их внедрения в проектно-изыскательских организациях Дальнего Востока [Текст] / Р. В. Колобов, А. Р. Едигарян // Проблемы проектирования и строительства железных дорог : сб. науч. тр. / под ред. В.С. Шварцфельда. – Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2011. – С. 86– 92.

68 Конусов, В. Г. О применении эллипса ошибок при разбивочных работах [Текст] / В. Г. Конусов // Изв. вузов. Строительство и архитектура. – 1968. – № 10. – С. 111–115.

69 Контроль качества на строительстве мостов [Электронный ресурс] : пособие для инженерно-техн. работников мостостроительных организаций. – Режим доступа: [http:// libgost.ru/posobie /63523](http://libgost.ru/posobie/63523).

70 Корженевич, И. Н. Специальная реперная система для контроля положения пути в плане [Электронный ресурс] / И. Н. Корженевич. – Режим доступа: http://www.nbuu.gov.ua/portal/Natural/Vdnuzht/2008_25/Artic-Korzenевич

71 Котлов, А. Ф. Допуски и технические измерения при монтаже металлических и железобетонных конструкций [Текст] / А. Ф. Котлов. – М. : Стройиздат, 1988. – 34 с.

72 Крохмалев, В. Ф. О способах определения площадей плоских фигур на чертежах [Текст] / В. Ф. Крохмалев, В. Ф. Крохмалев // Геодезические методы контроля качества в строительстве. – Куйбышев : КИСИ, 1984. – С. 54–59.

73 Кулиш, В. И. Технологические основы гибких производственных систем в мостовом строительстве [Текст] : учеб. пособие / В. И. Кулиш, В. Н. Зайцев. – Хабаровск : Хабар. политехн. ин-т, 1987. – 96 с.

74 Кунц, Р. И. Оптимальное планирование навигационного эксперимента для мониторинга автомобильных дорог [Электронный ресурс] : дис. канд. техн. наук: 05.13.18 / Кунц Роберт Иоахимович. – Новосибирск, 2003.– 146 с. ; РГБ ОД, 61:04–5/196–0. – Режим доступа: [http:// www.disserr.com / contents / 57484.html](http://www.disserr.com/contents/57484.html).

75 Купцов, И. П. Проектирование и строительство тепловых электростанций [Текст] / И. П. Купцов, Ю. Р. Иоффе. – М. : Энергия, 1985. – 408 с.

76 Ларченко, Е. Г. Вычисление площадей приусадебных участков [Текст] / Е. Г. Ларченко, У. Г. Ниязгулов // Геодезия и картография. – 1988. – № 6. – С. 20–21.

77 Левитин, И. Е. Развитие транспортной системы и экономический рост регионов (на примере транспортного коридора "Запад – Восток") [Электронный ресурс] / И. Е. Левитин // Материалы международной научно – практической конференции, 16.04.2008.– М.: Совет Федерации Федерального Собрания РФ, 2008. – С. 7 –10. – Режим доступа: / [http://www.council.gov.ru /files / journalsf / number / 20100227141157.pdf](http://www.council.gov.ru/files/journalsf/number/20100227141157.pdf).

78 Лисицкий, Д. В. Основные принципы цифрового картографирования [Текст] / Д. В. Лисицкий. – М. : Недра, 1988. – 261 с.

79 Лисицкий, Д. В. Автоматизированные информационно–измерительные системы [Текст] : учеб. пособие / Д. В. Лисицкий, В. А. Середович. – Новосибирск : НИИГАиК, 1989. – 96 с.

80 Ловягин, В. Ф. Информационные технологии в инженерных изысканиях трасс линейных сооружений [Текст] : монография / В.Ф. Ловягин. – Новосибирск: СГГА, 2010. – 153 с.

81 Лютц, А. Ф. Геодезические работы при изысканиях и строительстве мостовых и тоннельных переходов [Текст] / А. Ф. Лютц. – М. : Недра, 1966. – 167 с.

82 Лысов, Г. Ф. Вынос проекта в натуру способом условных прямоугольных координат [Текст] / Г. Ф. Лысов // Геодезия и картография. – 1985. – № 7. – С. 28 – 29.

83 Малявский, Б. К. Методы определения гидрологических характеристик рек с самолёта [Текст] / Б. К. Малявский. – М. : Транспорт, 1965. – 84 с.

84 Маслов, А. В. Способы и точность определения площадей [Текст] / А. В. Маслов. – М. : Геодезиздат, 1955. – 227 с.

85 Маслов, А. В. Геодезия [Текст] / А. В. Маслов, А. В. Гордеев, Ю. Г. Батраков. – М. : Недра, 1980. – 616 с.

86 Маслов, А. В. Геодезические работы при землеустройстве [Текст] / А. В. Маслов, А. Г. Юнусов, Г. И. Горохов. – М. : Недра, 1990. – 215 с.

87 Марков, А. П. Практическое использование GPS [Электронный ресурс] / А. П. Марков. – М., 2001.– Режим доступа: <http://www.geomatica.kiev.ua/training/DataCapture/GPS/chapter101.html>.

88 Матвеев, С. И. Геоинформационные системы и технологии на железнодорожном транспорте [Текст] / С. И. Матвеев, В. А. Коугия, В. Я. Цветков. – М. : УМК МПС, 2002.– 220 с.

89 Матвеев, С. И. Высокоточные цифровые модели пути и спутниковая навигация на железнодорожном транспорте [Текст] : монография / С. И. Матвеев, В. А. Коугия. – М. : Маршрут, 2005. – 290 с.

90 Метод повышения точности расчётов гидрологических характеристик при

проектировании малых водопропускных сооружений [Текст] / А. В. Никитин, В. И. Никитин, А. Б. Солодовников, А. Р. Едигарян // Проблемы развития сети железных дорог : межвуз. сб. науч. тр. – Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2006. – С.150–156.

91 Методические рекомендации по расчёту максимального дождевого стока и его регулированию [Текст]. – М. : Союздорпроект, 1980. – 141с.

92 Методологические основы теории проектирования изменения мощности региональной сети железных дорог [Текст] : монография / А. В. Никитин, В. С. Шварцфельд, В. А. Анисимов, Вл. А. Анисимов и др.; под ред. В. С. Шварцфельда. – Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2005.– 344 с.

93 Методы инструментального контроля геометрических элементов автомобильных дорог / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http:// inf-remont.ru/road/roa141](http://inf-remont.ru/road/roa141).

94 Методы разбивки мостов [Текст] / Г. С. Бронштейн, В. С. Грузинов, О. Н. Малковский, Л. И. Хенкин. – М. : Транспорт, 1982. – 81с.

95 Мурзинцев, П. П. Применение спутниковых геодезических приемников для обеспечения строительства опор моста через пролив Босфор Восточный на остров Русский в г. Владивосток [Текст] / П. П. Мурзинцев, Н. А. Казаненко // Интерэкспо ГЕО-Сибирь–2012 : VIII Междунар. науч. конгр., 10–20 апр. 2012 г., Новосибирск: Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия»: сб. материалов в 3 т. – Новосибирск : СГГА. – 2012. – Т.1– С.155–160.

96 Наземное лазерное сканирование: монография [Текст] / В. А. Середович, А. В. Комисаров, Д. В. Комисаров, Т. А. Широкова. – Новосибирск, 2009. – 261 с.

97 Неумывакин, Ю. К. Обоснование точности топографических съемок для проектирования [Текст] / Ю. К. Неумывакин. – М. : Недра, 1976. – 185 с.

98 Неумывакин, Ю. К. Геодезическое обеспечение землеустроительных и кадастровых работ [Текст] : справ. Пособие / Ю. К. Неумывакин, М. И. Перский. – М. : Картгеоцентр-Геодезиздат, 1996. – 344 с.

99 Никитин, А. В. Способ определения крена сооружений башенного типа

[Текст] / А. В. Никитин // Информационный листок № 26–96 / Хабаровский ЦНТИ. – Хабаровск, 1996. – 4 с.

100 Никитин, А. В. Метод контроля за деформациями инженерных сооружений [Текст] / А. В. Никитин // Информационный листок № 61–96 / Хабаровский ЦНТИ. – Хабаровск, 1996. – 4 с.

101 Никитин, А. В. Методика разбивки сложных кривых на автомобильных дорогах [Текст] / А. В. Никитин, В. И. Никитин // Информационный листок № 70–97 / Хабаровский ЦНТИ. – Хабаровск, 1997. – 4 с.

102 Никитин, А. В. Методика детальной разбивки горизонтальных кривых в автодорожном строительстве [Текст] / А. В. Никитин // Информационный листок № 35–99 / Хабаровский ЦНТИ. – Хабаровск, 1999. – 4 с.

103 Никитин, А. В. Способ учёта фактической длины трассы в проектах строительства автомобильных дорог [Текст] / А. В. Никитин // Информационный листок № 36–99 / Хабаровский ЦНТИ. – Хабаровск, 1999. – 4 с.

104 Никитин, А. В. Совершенствование технологии геодезических изысканий автомобильных дорог [Текст] / А. В. Никитин, В. И. Никитин // Информационный листок № 37–99 / Хабаровский ЦНТИ. – Хабаровск, 1999. – 4 с.

105 Никитин, А. В. Методика разбивочных работ при возведении земляного полотна автомобильных дорог с использованием электронного тахеометра [Текст] / А. В. Никитин // Информационный листок № 38–99 / Хабаровский ЦНТИ. – Хабаровск, 1999. – 4 с.

106 Никитин, А. В. Электронная тахеометрия как метод комплексного топографо-геодезического обеспечения мостовых переходов [Текст] / А. В. Никитин, В. И. Никитин // Информационный листок № 91–99 / Хабаровский ЦНТИ. – Хабаровск, 1999. – 4 с.

107 Никитин, А. В. Автоматизация геодезических измерений при выполнении землеустроительных и кадастровых работ [Текст] : учеб. пособие / А. В. Никитин. – Хабаровск : Изд-во Хабар. гос. техн. ун-та, 2000. – 83 с.

108 Никитин, А. В. Геодезические работы при изысканиях автомобильных дорог и мостовых переходов [Текст] : учеб. пособие / А. В. Никитин. – Хабаровск :

Изд-во Хабар. гос. техн. ун-та, 2000. – 87 с.

109 Никитин, А. В. Геодезические работы при строительстве и эксплуатации автомобильных дорог и мостов [Текст] : учеб. пособие / А. В. Никитин. – Хабаровск : Изд-во Хабар .гос. техн. ун-та, 2001. – 207 с.

110 Никитин, А. В. Способ определения крена сооружений цилиндрической формы [Текст] / А. В. Никитин // Геодезия и картография. – 2002. – № 7. –С.15–17.

111 Никитин, А. В. Особенности геодезических изысканий железных дорог и искусственных сооружений с применением электронных тахеометров [Текст]/ А. В. Никитин, В. И. Никитин // Проблемы развития региональной сети железных дорог : сб. науч. тр. – Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2003. – С. 118 – 128.

112 Никитин, А. В. Способ контроля монтажа цилиндрических оболочек при возведении опор железнодорожных мостов [Текст] / А. В. Никитин // Проблемы развития региональной сети железных дорог : сб. науч. тр. – Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2003. – С. 177–185.

113 Никитин, А. В. Определение площадей земельных участков [Текст] : учеб. пособие / А. В. Никитин. – Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2003. – 60 с.

114 Никитин, А. В. Учёт фактической длины трассы в проектной документации строительства железных и автомобильных дорог [Текст] / А. В. Никитин // Актуальные проблемы развития сети железных дорог региона : межвуз. сб. науч. тр. – Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2004. – С.190–193.

115 Никитин, А. В. Демаркация границ и определение площади полосы отвода земель при строительстве железных дорог [Текст] / А. В. Никитин, В. И. Никитин // Актуальные проблемы развития сети железных дорог региона : межвуз. сб. науч. тр. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2004. – С. 202–207.

116 Никитин, А. В. Определение фактической площади земельных участков [Текст] / А. В. Никитин // Геодезия и картография. – № 1. – 2005. – С. 37–39.

117 Никитин, А. В. Повышение точности гидрологических расчётов для малых водопропускных сооружений [Текст] / А. В. Никитин // Соискатель. Прил. к журн. «Мир транспорта». – 2005. – № 2. – С.105–109.

118 Никитин, А. В. Повышение точности измерения трассы [Текст] / А. В. Никитин // Мир транспорта. – 2006. – № 1. – С. 22–24.

119 Никитин, А. В. Геодезический знак [Текст] / А. В. Никитин, В. И. Никитин, А. В. Хлебородов // Проблемы развития сети железных дорог : межвуз. сб. науч. тр. – Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2006. – С.145–150.

120 Никитин, А. В. Совершенствование методов геодезических работ в транспортном строительстве: монография [Текст] / А. В. Никитин. – Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2007. – 152 с.

121 Никитин, А. В. Определение фактической площади земельного участка по пространственной геометрической модели местности на основе электронно-цифровой карты [Текст] / А. В. Никитин // Особенности проектирования и строительства железных дорог в условиях Дальнего Востока : межвуз. сб. науч. тр. – Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2009. – С. 109–115.

122 Никитин, А. В. Определение радиусов кривых при паспортизации автомобильных дорог электронными тахеометрами и приёмниками спутниковых навигационных систем [Текст] / А. В. Никитин // Особенности проектирования и строительства железных дорог в условиях Дальнего Востока : межвуз. сб. науч. тр. – Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2009. – С.115–120.

123 Никитин, А. В. Совершенствование методики геодезического контроля при эксплуатации сооружений радиорелейных линий связи [Текст] / А. В. Никитин, А. Р. Едигарян, В. И. Никитин // Особенности проектирования и строительства железных дорог в условиях Дальнего Востока : межвуз. сб. науч. тр. – Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2009. – С. 104– 09.

124 Никитин, А. В. Разработка и исследование способа определения пространственной (фактической) длины трассы [Текст] / А. В. Никитин // Дальний Восток. Автомобильные дороги и безопасность движения : междунар. сб. науч. тр. / под ред. П. А. Пегина. – Хабаровск : Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2010. – № 10. – С. 423 – 428.

125 Никитин, А. В. Оперативное определение радиусов кривых на автомобильных дорогах [Текст] / А. В. Никитин // Геодезия и картография. – 2010.

– № 11. – С. 8– 9.

126 Никитин, А. В. Определение фактической площади земельных участков по пространственной геометрической модели местности [Текст] / А. В. Никитин // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. – 2010. – № 12. – С.103–107.

127 Никитин, А. В. Инженерно-геодезическая съемка на станциях [Текст] / А. В. Никитин // Мир транспорта. – 2011. – № 3. – С. 46–49.

128 Никитин, А. В. Геодезический мониторинг объектов цилиндрической формы [Текст] / А. В. Никитин, В. И. Никитин // Проблемы проектирования и строительства железных дорог : сб. науч. тр. : под ред. В. С. Шварцфельда. – Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2011. – С. 93–97.

129 Никитин, А. В. Теория способа определения пространственной длины трассы [Текст] / А. В. Никитин, В. И. Никитин // Проектирование развития региональной сети железных дорог : сб. науч. тр. ; под ред. В. С. Шварцфельда. – Хабаровск : Изд-во ДВГУПС.– 2013. – Вып. 1.– С. 111 – 115.

130 Никитин, А. В. Контроль пространственного положения сооружений башенного типа [Текст] / А. В. Никитин, В. И. Никитин // Проектирование развития региональной сети железных дорог: сб. науч. тр. ; под ред. В. С. Шварцфельда. – Хабаровск : Изд-во ДВГУПС. – 2014 а– Вып. 2.– С. 193 – 198.

131 Никитин, А. В. Оптимальные методы построения инфраструктуры геопространственных данных для транспортных коридоров [Текст] : монография / А. В. Никитин. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2015. – 159 с.

132 Никитин, А. В. Способ определения крена объектов инфраструктуры железных дорог [Текст] / А. В. Никитин // Международный научно-исследовательский журнал. – 2016. – № 9 (51) – Часть 2. – С. 149 – 153.

133 Никитин, А. В. Система контроля пространственной информации в мостостроении [Текст] / А. В. Никитин, В. С. Хорошилов // Международный научно-исследовательский журнал. – 2016. – № 11 (53) – Часть 5. – С. 95– 98.

134 Никитин, А. В. Оптимальные методы повышения эффективности геодезических работ на железных дорогах, станциях и узлах [Текст] / А. В. Никитин // Геодезия и картография. – 2016. – № 12. – С. 3– 6.

135 Никитин, А. В. Координатный способ определения радиусов кривых на автомобильных дорогах [Текст] / А. В. Никитин // Международный научно-исследовательский журнал. – 2017. – № 02 (56) – Часть 2 . – С. 49 – 52 .

136 Никитин, А. В. Геодезический контроль строительства опор мостов [Текст] / А. В. Никитин // Вестник СГУГиТ. – 2017. – Том 22. № 1. – С. 70 – 80.

137 Никитчин, А. А. О структуре системы геоинформационного мониторинга вантовых мостов [Текст] / А. А. Никитчин, М. Я. Брынь, Е. Г. Толстов // Современные проблемы инженерной геодезии : тр. междунар. научно-практ. конф. ; под ред. М. Я. Брыня.– СПб.: Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 2010. – С. 123–128.

138 Определение действительных радиусов на закруглениях автомобильных дорог электронным тахеометром [Текст] / Ю. А. Каткало, Е. Н. Подстрелова, А. С. Терещенко, Н. В. Тулуевский // Вестник Белорусско-Российского университета. –2012. – № 3 (36). – С. 89 –95.

139 Определение площадей земельных участков [Текст] / Б. Н. Баландин, М. Я Брынь, В. А. Коугия, А. Ю. Матвеев, А. В. Юськевич. – М. : Новости, 2005. – 112 с.

140 О новых понятиях городского землепользования [Текст] / Ю. А. Крюков, А. П. Сизов, В. Б. Дарский, А. В. Берладир // Геодезия и картография. – 1994. – № 10. – С. 47–50.

141 О точности определения площадей землепользований [Текст] / Ю. Г. Батраков, А. В. Гордеев, Ю. Ю. Каширкин, В. А. Прокопович // Геодезия и картография. – 1985. – № 9. – С. 23–26.

142 Пат. № 2077027 Российская Федерация, МПК⁷G01C15/00. Способ разбивки опоры моста [Текст] / А. В. Никитин А. В. ; заявитель и патентообладатель Хабаровский гос. техн. ун-т ; заявл. 09.03.93 ; опубл. 10.04.97, Бюл. № 10. – 6 с.: ил.

143 Пат. №2141622 Российская Федерация, МПК⁷G01C1/00,15/00. Способ определения крена [Текст] / Никитин А. В. ; заявитель и патентообладатель Хабаровский гос. техн. ун-т ; заявл. 01.10.97 ; опубл. 20.11.99, Бюл.№32.– 16 с.: ил.

144 Пат. № 2172933 Российская Федерация, МПК⁷G01C 15/00. Геодезический знак [Текст] / Никитин А. В. ; заявитель и патентообладатель Хабаровский гос. техн. ун-т ; заявл. 04.08.99 ; опубл. 27.08.01, Бюл. № 24.– 6 с.: ил.

145 Пат. № 2166731 Российская Федерация, МПК⁷G01C 15/00. Способ определения физической площади земельного участка [Текст] / Никитин А. В. ; заявитель и патентообладатель Хабаровский гос. техн. ун-т ; заявл. 06.05.00 ; опубл. 10.05.01, Бюл. № 13.– 8 с.

146 Пат. № 2164972 Российская Федерация, МПК⁷ E 01 C 1/00. Способ определения пространственной длины трассы [Текст] / Никитин А. В. ; заявитель и патентообладатель Хабаровский гос. техн. ун-т ; заявл. 01.06.99 ; опубл. 10.04.01, Бюл. № 10.– 8 с.

147 План поэтапного внедрения технологий информационного моделирования в области промышленного и гражданского строительства и проектирования. Утверждён приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 29 декабря 2014 г. № 926 / пр. – 3 с. / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.minstroyrf.ru/upload/iblock/383/prikaz-926-pr.pdf>.

148 Правила диагностики и оценки состояния автомобильных дорог. ОДН 218.0.006–2002 [Электронный ресурс].– М., 2002.– Режим доступа http://www.standartov.ru/norma_doc/10/10874/index.ht.

149 Правительство РФ. Управление Росреестра по республике Бурятия / [Электронный ресурс].– Режим доступа <http://to03.rosreestr.ru/>

150 Применение технологии дистанционного зондирования и спутниковой связи в интересах железнодорожного транспорта [Текст] / И. Н Розенбер., Н. В. Сазонов, М. М. Железнов, А. С. Василевский // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – М. : ИКИ, РАН, 2008. – С. 1–49.

151 Разработка и совершенствование технологии инженерно-геодезического нивелирования тригонометрическим способом [Текст] / Г. А. Уставич, М. Е. Рахымбердина, А. В. Никонов, С. А. Бабасов // Геодезия и картография. – 2013. – № 6. – С.17–22.

152 Раинкин, В. Я. Определение деформаций сооружений башенного типа посредством измерения горизонтальных и вертикальных углов с одного пункта [Текст] / В. Я. Раинкин // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъёмка. – Вып. 3. – 1972. – С. 27–33.

153 Райфельд, В. Ф. Инженерно-геодезические работы при изысканиях линейных сооружений [Текст] / В. Д. Райфельд. – М. : Недра, 1983. – 143 с.

154 Райфельд, В. Ф. Геодезические работы при строительстве и реконструкции железных дорог [Текст] / В. Д. Райфельд. – М. : Недра, 1989. – 218 с.

155 Руководство по определению кренов инженерных сооружений башенного типа геодезическими методами [Текст] / Центр. н.-и. и проект.–эксперим. ин-т организации, механизации и техн. помощи строительству Госстроя СССР. – М. : Стройиздат, 1981.– 56 с.

156 Руководство по определению гидрографических характеристик картометрическим способом [Текст]. – Л. : Гидрометеиздат, 1986. –91 с.

157 Руководство по технической инвентаризации автомобильных дорог как комплексов недвижимого имущества. Подготовлено ООО «Консалт – Недвижимость» по заказу Федерального дорожного агентства [Электронный ресурс].– М., 2006. – Режим доступа: http://www.tehlit.ru/llib_norma_doc/47/47688.

158 Система видеопаспортазации дорог. Основные концепции [Текст] / НПО «Регион», СВПД, 1993– 2001.

159 СНиП 2.05.02 – 85*. Автомобильные дороги. Актуализированная редакция [Текст].– М. : Минрегион России, 2012. – 91 с.

160 СНиП 3.01.03–84 Геодезические работы в строительстве. Актуализированная редакция. СП 13330. 2012 [Текст]. – М. : Минрегион России, 2012. – 84 с.

161 СНиП 3.02.01–87. Земляные сооружения, основания и фундаменты [Текст]. – М. : Стройиздат, 1988. – 106 с.

162 СНиП 1.02.07.–87. Инженерные изыскания для строительства [Текст].–

М.: Госстрой СССР, ГУГК, 1988. – 104 с.

163 СНиП 11.02 –96*. Инженерные изыскания для строительства. Актуализированная редакция [Текст]. – М. : Минрегион России 2012. – 155 с.

164 СНиП Мосты и трубы. Актуализированная редакция СНиП 3. 06. 04. – 91. СП 46. 13330. 2012 [Текст].– М. : Минрегион России, 2011. – 118 с.

165 СНиП 3.06.07– 86. Мосты и трубы. Правила обследований и испытаний. [Текст].– М. : ЦИТП Госстроя, 1987. – 40 с.

166 СНиП 2.01.07 –85 Нагрузки и воздействия. Госстрой России [Текст]. – М. : ФГУП ЦПП, 2004. – 44 с.

167 СНиП 2.01.14–83. Актуализированная редакция. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. (СП 33 – 101 – 2003. [Текст]. – М. : Госстрой России, 2003. – 70 с.).

168 СНиП 2.01.07–85*. Карты районирования территории СССР по климатическим характеристикам; Приложение 5. Госстрой России [Текст].– М. : ЦИПП Госстроя СССР, 1990. – 15 с.

169 СНиП – 23 –81. Стальные конструкции [Текст]. – М. : ЦИПП Госстроя СССР, 1990. – 96 с.

170 Скворцов, А.В., Сарычев, Д.С. Жизненный цикл проектов автомобильных дорог в контексте информационного моделирования [Текст] / А. В. Скворцов, Д. С. Сарычев // САПР и ГИС автомобильных дорог. – 2015. – № 1(4). – С. 4 – 14.

171 Создание электронных паспортов планов железнодорожных станций [Текст] : метод. пособие / В. С. Шварцфельд, А. В. Соколов, В. Г. Науменко, О. А. Кухаренко. – Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2006. – 58 с.

172 Сооружение фундаментов на забивных сваях. Центр качества в строительстве [Электронный ресурс]. – Режим доступа / <http://www.svai.org/docs/17.pdf>.

173 Состав и особенности описания базовых пространственных данных железнодорожной сети Российской Федерации [Электронный ресурс] / Б. А.

Альтшулер, С. В. Духин, Н. В. Сазонов, У. Д. Самратов, Д. С. Манойло. – Режим доступа [http : // www.gisa.ru / 41656.html](http://www.gisa.ru/41656.html).

174 СП 233.1326000.2015 Инфраструктура железнодорожного транспорта. Высоточная координатная система. Утверждён Минтранс России от 17.06.2015 №191 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http : // docs.cntd.ru / document / 1200124325](http://docs.cntd.ru/document/1200124325).

175 Справочник по общестроительным работам. Геодезические работы в строительстве [Текст] / В. Н. Ганьшин, Б. И. Коськов, К. И. Зимин, Г. И. Бородулин, А. В. Котов. – М. : Недра, 1975. – 400 с.

176 Справочное руководство по инженерно-геодезическим работам [Текст] / под ред. В. Д. Большакова, Г. П. Левчука. – М. : Недра, 1980. – 781 с.

177 СТО АВТОДОР 2. 10 – 2015. Порядок проведения паспортизации, разработки и актуализации технических паспортов автомобильных дорог государственной компании «Автодор» [Текст]. – М. : Государственная компания «Автодор», 2015. – 124 с.

178 Столбов, Ю. В. Статистический контроль качества строительно–монтажных работ [Текст] / Ю. В. Столбов. – М. : Стройиздат, 1982. – 88 с.

179 Столбов, Ю. В. Обоснование норм точности опорных разбивочных сетей на строительных площадках промышленных предприятий [Текст] / Ю. В. Столбов, С. В. Ляшко // Материалы междунар. научно–практ. конф. «Город и транспорт».– Омск,1998.– Ч. 2. – С. 55–56.

180 Столбов, Ю. В. Исследование точности высотного положения поверхности верхнего слоя покрытия автомобильных дорог [Текст] / Ю. В. Столбов, Д. О. Нагаев, С. Ю. Столбова // Изв. вузов. Строительство. – 2011. – № 4. – С. 53 – 60.

181 Строительство мостов и труб [Текст] : справочник / под ред. В. С. Кирилова. – М. : Транспорт, 1975. – 600 с.

182 Сытник, В. С. Основы расчёта и анализа точности геодезических измерений в строительстве [Текст] / В. С. Сытник. – М. : Стройиздат, 1974. – 190 с.

183 Тихонов, А. Д. Разработка схем спутниковых измерений каркасных геодезических сетей, реперных систем и цифровых моделей железнодорожного пути [Электронный ресурс] / А. Д. Тихонов. – Режим доступа: [http://www.dissercat.com / content/ razrabotka – skhem – sputnikovyx–izmerenii–karkasnykh – geodezicheskikh – setei – repernykh–sistem](http://www.dissercat.com/content/razrabotka-skhem-sputnikovyx-izmerenii-karkasnykh-geodezicheskikh-setei-repernykh-sistem).

184 Точность GPS измерений [Электронный ресурс]. – М., 2008. – Режим доступа: [http:// www.navgeocom.ru / GPS /gps4 / index.htm](http://www.navgeocom.ru/GPS/gps4/index.htm).

185 Транспортные коридоры [Электронный ресурс]. – Режим доступа: / [http:// ru.wikipedia.org / wiki / %D0](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0).

186 Уманский, В. И. Построение цифровых моделей железнодорожного профиля на основе лазерного сканирования [Текст] / В. И. Уманский // Железнодорожный транспорт. – 2011 – № 4 – С. 41–44.

187 Федеральное дорожное агентство (Росавтодор). Свод правил по проектированию геометрических элементов автомобильных дорог и транспортных пересечений. Проект, первая редакция [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http:// copy.yandex.net / text = % 2 Fsvod_ pravil_ rosavtodor. pdf&fmode = envelope&lr](http://copy.yandex.net/text=%2Fsvod_pravil_rosavtodor.pdf&fmode=envelope&lr).

188 Федосин, С. Высокоточные карты автомобильных дорог на основе данных спутникового мониторинга транспорта [Электронный ресурс] / С. А. Федосин, А. В. Матвеев [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http:// fetmag.mrsu.ru / 2011 – 1/ pdf / High_Precision_Road_Maps.pdf](http://fetmag.mrsu.ru/2011-1/pdf/High_Precision_Road_Maps.pdf).

189 Федотов, Г. А., Поспелов П. И. Изыскания и проектирование автомобильных дорог. В 2 кн. Кн. 1 [Текст] / Г. А. Федотов, П. И. – М.: Высш. шк., 2009. – 646 с.

190 Формирование единого геоинформационного пространства российских железных дорог [Электронный ресурс] / С. В. Духин, М. М. Железнов, С. И. Матвеев, Д. С. Манойло. – Режим доступа: [http // www.Eav.ru / publ1.php?publid = 2008–07a07](http://www.Eav.ru/publ1.php?publid=2008-07a07).

191 Хорошилов, В.С. Методология реализации информационной системы «Геодезические работы при монтаже технологического оборудования» [Текст] /

В.С. Хорошилов // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2007. – № 1. – С. 154 – 162.

192 Шварцфельд, В. С. Особенности создания геодезического обоснования для проектирования реконструкции верхнего строения пути участков Забайкальской железной дороги с применением двухчастотных GPS–приёмников TRIMBLE 5700 [Текст] / В. С. Шварцфельд, А. В. Никитин, А. Р. Едигарян // Современные проблемы инженерной геодезии : тр. междунар. научно-практ. конф. ; под ред. М. Я. Брыня.– СПб. : Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 2010. – С. 80–87.

193 Шварцфельд, В. С. Проблемы совершенствования методов инженерно-геодезических изысканий для развития инфраструктуры мультимодальных транспортных коридоров [Текст] / В. С. Шварцфельд, А. В. Никитин, А. Р. Едигарян // Транспорт Урала.– 2010. – №4(27) – С. 32–35.

194 Щербаков, В. В. Координатный способ диагностики железнодорожного пути [Текст] / В. В. Щербаков, К. М. Антонович, В. Д. Овчаров // Современные проблемы геодезии и оптики : сб. материалов ЛШ междунар. научно–техн. конф., посвящ. 70–летию СГГА, 11 – 21 марта 2003 г. – Новосибирск : СГГА, 2003. – Ч. 3.– С. 180–182.

195 Щербаков, В. В. Анализ специальных реперных железнодорожных систем [Текст] / В. В. Щербаков, М. В. Макушинская // Современные проблемы инженерной геодезии : тр. междунар. научно–практ. конф. ; под ред. М. Я. Брыня.– СПб. : Петербургский гос. ун–т путей сообщения, 2010. – С. 73 80.

196 Щербаков, В. В. Диагностика автомобильных дорог по геометрическим параметрам с использованием ГНСС [Текст] / В.В. Щербаков, М.Н. Барсук // Геодезия и картография.. – 2008. – № 6.– С. 55 –57.

197 Шереметьев, И. И. Расчёт максимального поверхностного стока на дальневосточной территории СССР [Текст] / И. И. Шереметьев, С. В. Базилевский. – Хабаровск : Хабаровское кн. изд– во, 1974. – 54 с.

198 Шеховцов, Г. А. Современные геодезические методы определения деформаций инженерных сооружений [Текст] : монография / Г. А. Шеховцов, Р. П. Шеховцова. – Н. Новгород : ННГАСУ. – 2009. – 156 с.

199 Яхья, М. Построение створа, параллельного заданной плоскости [Текст] / М. Яхья // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъёмка. – 1989. – № 4. – С. 44 – 51.

200 Ямбаев, Х. К. Геодезический контроль прямолинейности и соосности в строительстве [Текст] / Х. К. Ямбаев. – М.: Недра, 1986. – 264 с.

201 Ямбаев, Х. К. Специальные геодезические приборы для инженерно-геодезических работ [Текст] / Х. К. Ямбаев. – М.: Недра, 1990. – 267 с.

202 3D Laser Scanners & Trackers – Leica Geosystems. – Leica.com [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://hds.leica-geosystems.com/products/products.html>.

203 Glasers Annalen [Электронный ресурс] / М. Joch et al. // Автономные системы оценки параметров пути. – 2003. – № 6/7. – Р. 280 – 285. – Режим доступа: <http://www.css-rzd.ru/zdm/12-2004/04103.htm>.

204 Trimble Geomatics Office. Wave Baseline Processing [Текст] : руководство пользователя. TrimbleNavigationLimited, окт. 2001г.

ПРИЛОЖЕНИЕ А (обязательное)

АКТ ВНЕДРЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

	<p>Министерство транспорта Российской Федерации Федеральное агентство железнодорожного транспорта федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования</p> <p>«ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ» (ДВГУПС)</p>	<p>Certified by Russian Register</p>
--	---	--------------------------------------

Серышева ул., д. 47, г. Хабаровск, 680021, Россия
Тел. (4212) 40-72-00, 40-75-16, Факс: (4212) 40-73-21
E-mail: root@festu.khv.ru, www.festu.khv.ru
ОКПО 01115768, ОГРН 1022701287652, ИНН 2724018158, КПП 272401001

От « ___ » _____ 20__ г. № _____
На № _____ от « ___ » _____ 20__ г.

УТВЕРЖДАЮ:
Проректор по НИР ДВГУПС
д.т.н., профессор
А.Ф. Серенко

_____ 2013 г.



**АКТ О ВНЕДРЕНИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ
доцента кафедры «Изыскания и проектирование железных дорог»
ДВГУПС Никитина А.В.**

В рамках выполнения научно - исследовательских работ, проводимых ДВГУПС, Никитиным А.В. были разработаны методы получения геопространственных данных при выполнении инженерно - геодезических изысканий железнодорожных станций и узлов Забайкальской и Дальневосточной железных дорог, а также способ определения отклонений от вертикальности объектов радиорелейной линии связи.

1. При выполнении инженерно-геодезических работы для проектирования реконструкции верхнего строения пути участков Забайкальской железной дороги Никитин А.В. предложил методику контроля геодезического обоснования с применением приёмников глобальных навигационных спутников систем (ГНСС).

2. Никитин А.В. предложил технологию выполнения геодезических работ на железнодорожных станциях и узлах повышающую производительность работ.

3. Разработал оперативные способы определения геометрических параметров автодорог с применением приёмников ГНСС.

4. Разработал способ определения крена по измеренной разности вертикальных углов, повышающий надёжность при контроле отклонения объектов радиорелейных линий связи от вертикальности.

Разработанные способы и методики позволили получить следующие производственные результаты и на основании этого сделать соответствующие выводы:

- использование приёмников ГНСС и электронных тахеометров позволяет оперативно получать надёжные данные для контроля объектов и систем железных дорог;

- применение двухчастотных GPS-приемников Trimble 5700 с целью контроля полигонометрических ходов большой протяжённости для проектирования реконструкции верхнего строения пути с использованием относительного метода определения координат обеспечивает необходимую точность измерений;

- при построении плановой геодезической сети с применением электронных тахеометров и GPS-приемников двукратное отклонение от нормативных требований к расстояниям между точками съёмочного обоснования не влияет на её качество;

- существенное влияние на точность оказывают построения, в которых присутствует значительное количество переходов с коротких на длинные стороны геодезического обоснования;

- расстояния между GPS пунктами в ходах съёмочного обоснования следует проектировать в интервале 2500 – 3500 м.

- для повышения производительности работ для съёмки под реконструкцию железнодорожных станций и узлов рекомендуется применять оптико-механические и современные геодезические средства измерений;

- применение электронных тахеометров позволяет получать линейную невязку для базисных ходов 1/5000 – 1/10000;

- область применения кинематического метода определения координат приёмниками ГНСС на железнодорожных станциях ограничена.

Разработанные способы и методики получения геопространственных данных Никитин А.В. применял при выполнении следующих научно - исследовательских и производственных работ:

№	Название темы	Заказчик
2005 год		
1.	Инженерно-геодезические работы для проекта реконструкции ст. Карымская ЗабЖД	«Забайкалжелдорпроект» - филиал ОАО «РЖД»
2006 год		
2.	Реконструкция ст. Нанангры ЗабЖД	«Забайкалжелдорпроект» филиал ОАО «РЖД»
3.	Удлинение путей ст. Пеньковская ЗабЖД	«Забайкалжелдорпроект» - филиал ОАО «РЖД»
4.	Реконструкция ст. Карымская ЗабЖД (Вынос проекта путевого развития в натуре)	«Забайкалжелдорпроект» - филиал ОАО «РЖД»
5.	Вынос в натуре и закрепление на местности проекта путевого развития ст. Белогорск - 2	«Забайкалжелдорпроект» - филиал ОАО «РЖД»

	ЗабЖД	
6.	Обследование плана и продольного профиля ПЧ - 14 ЗабЖД	ОАО «РЖД» - ЗабЖД
7.	Исследование отклонения от вертикали базовой станции п. Кавалерово	ОАО «Региональная строительная компания»
	2007	
8.	Инженерно-геодезические и проектные работы для производства работ по реконструкции разъезда Чульбас ОАО «Железные дороги Якутии»	ЗАО «Региостройтранс»
	2008	
9.	Реконструкция верхнего строения пути участка Ульручи – Талдан, путь 1 (7347 км – 7399 км)	ОАО «Забайкалжелдор-проект»
10.	Реконструкция верхнего строения пути участка Поздеевка – Екатеринославка, путь 2 (7932 – 7945 км)	ОАО «Забайкалжелдор-проект»
11.	Инженерно-геодезические работы для проекта реконструкции Восточной горловины ст. Белогорск - 2 ЗабЖД	ОАО «Забайкалжелдор-проект»
12.	Реконструкция верхнего строения пути участка Ледяная – Усть-Пера, путь 1 (7764 км – 7778 км)	ОАО «Забайкалжелдор-проект»
13.	Реконструкция верхнего строения пути участка Белогорск - 1 – Белогорск - 2, путь 2 (7867 км - 7874 км)	ОАО «Забайкалжелдор-проект»
	2010	
14.	Создание геодезической разбивочной основы для строительства площадочных и линейных вспомогательных объектов по стройке «Магистральный газопровод Сахалин – Хабаровск – Владивосток»	«Геотрансинжиниринг», г. Москва
	2011	
15.	Инженерно-геодезические изыскания для реконструкции путевого развития ст. Ландыши ДВЖД и переноса участка автодороги	ОАО «Дальжелдорпроект»

Зав. кафедрой «Изыскания и проектирование железных дорог» ДВГУПС
д.т.н., профессор



В.С. Шварцфельд

Рисунок А.1 – Акт внедрения результатов исследований

ПРИЛОЖЕНИЕ Б ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО
 СТАНЦИИ «ЛАНДЫШИ» ДвустЖД (обязательное)

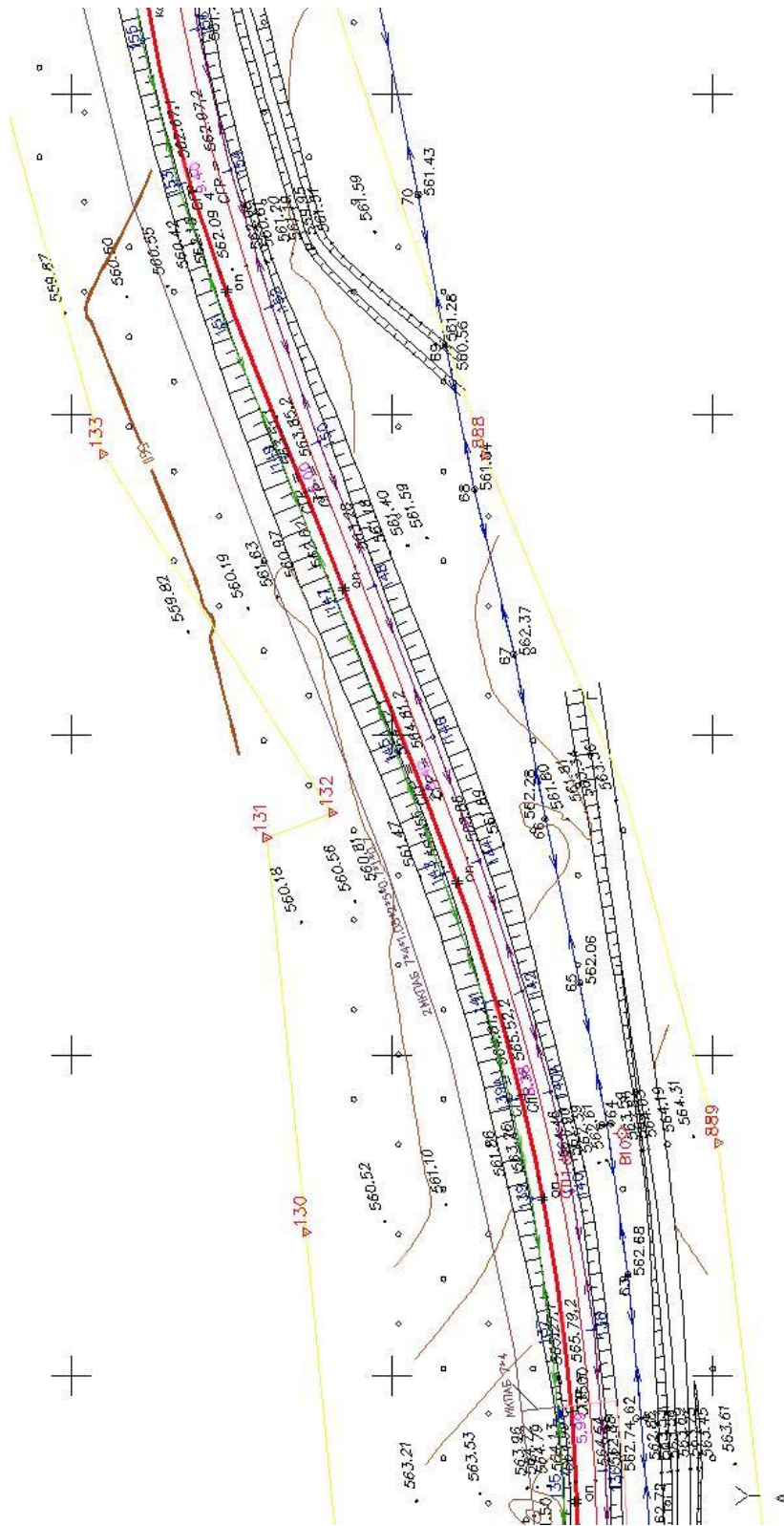


Рисунок Б.1 – Фрагмент поперечников

ВЕДОМОСТЬ КРИВЫХ

Номер пути	Обозначение точки	Координата точки		Расстояние между точками, м	Элементы кривой						Пикет		Прямая вставка, м
		X	Y		углод. °	радиус, м	тангенс, м	кривая, м	длина переходной кривой, м	НК	КК		
1	1-1	58932.23	49040.13		52°48'31"	610	362.79/ 303.68	622.23	120/90	4013+80.78	4020+03.01	0.00	
	1-2	58767.45	49412.56	407.26	41°06'48"	275	103.59/ 148.55	242.33	90/90	4020+03.01	4022+45.34	2.31	
	1-3	58305.12	49628.35	510.21	64°25'37"	498	359.36/ 364.10	654.98	90/100	4022+47.65	4029+02.63	228.49	
	1-4	57670.43	49106.89	821.43	60°48'22"	297	228.84/ 205.92	400.20	110/60	4031+31.12	4035+31.52	264.62	
	1-5	57091.61	49333.72	621.68	46°23'50"	240	151.13/ 105.25	244.35	100/0	4037+95.94	4040+40.29	0.00	
	1-6	57020.03	49509.10	189.43	33°56'38"	270	84.17/ 120.91	199.96	0/80	4040+40.29	4042+40.25	419.42	
	1-7	57161.31	50188.84	694.26	43°52'39"	240	153.95/ 100.27	243.79	120/0	4046+59.67	4049+03.46	0.00	
	1-8	56992.18	50458.07	317.95	81°52'40"	250	217.68/ 251.71	392.26	0/70	4046+03.46	4052+95.72		
2	2-1	58276.95	49597.97		58°09'30"	490	293.85/ 331.87	577.38	40/120	4023+28.30	4029+11.56	230.84	
	2-2	57765.35	49176.57	662.81	23°37'39"	340	100.10/ 72.22	170.21	60/0	4031+42.39	4033+10.21	0.00	
	2-3	57598.33	49129.15	173.62	37°20'32"	299	101.41/ 120.74	214.87	0/40	4033+10.21	4035+21.38		
4	4-1	58257.62	49573.30		52°33'05"	498	276.15/ 280.92	521.76	60/70	4023+57.68	4028+91.24	286.70	
	4-2	57690.65	49110.39	731.94	53°33'37"	305	164.32/ 153.75	295.12	20/50	4031+77.17	4034+61.54	0.0	
	4-3	57521.22	49153.67	174.87	12°29'54"	210	21.13/ 34.93	55.81	50/20	4034+61.54	4035+16.17		
5	57766.11	49158.88		18°38'23"	160	47.94/ 54.75	102.05	40/60	-0+1423	0+87.92			

Рисунок Б.2 – Ведомость кривых