

На правах рукописи



Sign

Макаров Станислав Олегович

**Совершенствование методики повышения точности передачи
координат с использованием PPP-алгоритма**

Специальность **1.6.22** —
«**Геодезия**»

Автореферат
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Москва — 2024

Работа выполнена в Государственном университете по землеустройству.

Научный руководитель: кандидат технических наук
Тихонов Александр Дмитриевич

Официальные оппоненты: **Фамилия Имя Отчество**,
доктор физико-математических наук, профессор,
Не очень длинное название для места работы,
старший научный сотрудник

Фамилия Имя Отчество,
кандидат физико-математических наук,
Основное место работы с длинным длинным длин-
ным длинным названием,
старший научный сотрудник

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образо-
вательное учреждение высшего профессиональ-
ного образования с длинным длинным длинным
длинным названием

Защита состоится **DD mmmmmmmm YYYY** г. в **XX** часов на заседании диссер-
тационного совета **Д 123.456.78** при **Название учреждения** по адресу: **Адрес**.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке **Название библиотеки**.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью учреждения,
просьба направлять по адресу: **Адрес**, ученому секретарю диссертационного со-
вета **Д 123.456.78**.

Автореферат разослан **DD mmmmmmmm** 2024 года.
Телефон для справок: **+7 (0000) 00-00-00**.

Ученый секретарь
диссертационного совета
Д 123.456.78,
д-р физ.-мат. наук

Sign

Фамилия Имя Отчество

Общая характеристика работы

Актуальность темы исследования, степень её разработанности

Актуальность темы. Задачи передач координат, построения геодезических сетей возникли столетия назад и, как правило, решались применением таких методик как линейно-угловые и астрономо-геодезические методы измерений. Однако, являясь трудозатратными, они требуют большого количества времени, как на выполнение полевых работ, так и для камеральной обработки получаемых данных.

Спутниковые методы измерений стали неотъемлемой частью производства геодезических работ в части построения геодезических сетей и координирования отдельных точек. В ходе своего развития спутниковые методы показали ряд преимуществ перед классическими геодезическими методами и на сегодняшний день среди них можно выделить следующие: построение геодезических сетей протяженных объектов; повышение точности координатных определений; сокращение временных и вычислительных затрат на полевые и камеральные работы. Однако, как правило, точность позиционирования в закрытых или полужакрытых областях (например, лесной местности или городской застройка) ниже, чем на открытой местности. Область применения спутниковых методов для нужд геодезии обширна и их применяют, начиная от одиночного позиционирования и заканчивая построением геодезических сетей.

До недавних пор для создания геодезических сетей, координирования отдельных точек, решения геодинамических задач применяли относительные методы спутниковых координатных определений. Но на сегодняшний день, благодаря активному развитию вычислительных и телекоммуникационных технологий, появилась возможность использования высокоточных эфемерид, алгоритмов с задержкой и данных, полученных с использование пунктов глобального распределения ITRF. В следствие этого стало возможным использование не только освоенных классических, но и более современных методов обработки спутниковых данных.

Чуть больше двадцати лет назад в NASA (Nasa Jet Propulsion Laboratory) был разработан метод высокоточных координатных определений или по-другому Precise Point Positioning (далее «PPP»). Однако, термин метод высокоточных координатных определений еще не устоялся в отечественной геодезической терминологии, а какая-либо регламентирующая информация в зарубежном и российском научном сообществах в настоящее время отсутствует. В следствии этого принято сохранять аббревиатуру PPP.

Степень разработанности темы. Степень разработанности темы определяется исследованием научных публикаций и трудов в области использования PPP-алгоритмов. Авторами трудов, играющих важнейшую роль, являются следующие отечественные и зарубежные ученые: Виноградов А.В., Антонович

К.М., Калинин В.В., Кафтан В.И., Липатников А.А., Мельников А.Ю., Тихонов А.Д., Шевчук С.О., Щербаков А.С., Устинов А.В., Abou-Callala M., Rabah M, Kallop M., Ebner R., Featherstone W.E., Kouba J., Heroux P., Kowalchuk K.

В работах [mak01; mak02] отражены результаты исследования получаемых точностей при использовании PPP-алгоритма в зависимости от вариаций различных факторов. Исследование возможности применения PPP-алгоритма для построения геодезических сетей различных объектов и различного назначения приведены в работах [mak03; mak09]. Из них следует, что точность обработки по PPP-алгоритму достигает сантиметрового и субсантиметрового уровня при продолжительности измерений не менее двух часов. Основываясь на работах [mak05; mak08; src43; src44] можно утверждать, что точность PPP-алгоритма при одиночном позиционировании составляет несколько сантиметров.

Для реализации PPP-алгоритма требуется дополнительная информация: высокоточные эфемериды, локальные модели ионосферы и тропосферы. Помимо этого вводятся поправки за движение литосферных плит, приливы и отливы; а также учитывается ряд иных факторов, оказывающих влияние на точность передачи координат по PPP-алгоритму обработки спутниковых данных. Метод не является разностным и не обладает свойством компенсации односторонне действующих ошибок, поэтому **надежное определение его современных возможностей является актуальной задачей.**

Сегодня развито немалое количество способов обработки данных с использованием PPP-алгоритма. В качестве интернет-сервисов могут быть названы следующие: Automatic Precise Points Positioning (APPS), Canadian Spatial Reference System Precise Points Positioning (CSRS-PPP), GNSS Analysis and Positioning Software (GAPS), magic-PPP (magic GNSS), Trimble-RTX и ряд других. В свою очередь среди программных продуктов можно выделить: GPS Toolkit, Bernese, Waypoint GrafNET, GIPSY-OASIS, RTKLIB.

Целью диссертационной работы является совершенствование методики передачи координат в широком диапазоне расстояний при использовании современных методов обработки спутниковых данных, а также исследование различных факторов, влияющих на точность определения координат по PPP-алгоритму.

Задачи диссертационной работы:

1. Теоретическое и экспериментальное обоснование возможности использования PPP-алгоритма для построения геодезических сетей в различных диапазонах расстояний.
2. Разработка методики оценки точности при использовании PPP-алгоритма.
3. Теоретические и экспериментальные исследования с целью выявления факторов, влияющих на точность обработки данных по PPP-алгоритму.

В первой главе теоретически рассмотрены факторы, влияющие на точность передачи координат с использованием спутниковых методов. Помимо этого, приводится классификация PPP-методов обработки спутниковых данных.

В начале второй главы описаны современные методы обработки с использованием PPP-алгоритма. Произведено обобщение и сравнение существующих подходов на примере коммерческих и свободных программных продуктов, а также интернет-сервисов.

Практическая значимость диссертационной работы определяется разработанной усовершенствованной технологией построения геодезических сетей. Выполнено исследование точности при обработке данных одиночного позиционирования и оценены различные факторы, влияющие на точность определения координат: продолжительность измерений, количество используемых спутников, дискретность данных (частота записи), выбор подходов к обработке (с использованием интернет-сервисов или программных средств).

Научная новизна диссертационного исследования заключается в следующем:

1. Проведено обширное исследование, в результате которого обоснована возможность получения координат, в том числе высокоточных (**дать конкретику**).
2. Данное исследование с одной стороны позволяет создавать геодезические сети с уменьшением временных затрат на полевые и камеральные **работы**, а с другой стороны **повысить** точность определения координат пунктов сети.
3. Предложена методика создания высокоточных геодезических сетей с использованием PPP-алгоритма обработки спутниковых данных.

Методология и методы исследования

В процессе написания диссертации проанализировано несколько десятков научных источников как отечественных, так и зарубежных. На их основании были поставлены основные этапы диссертационного исследования.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Результаты исследования точности определения координат при использовании PPP-алгоритма.
2. Возможность получения координат с помощью современных программных средств.
3. Методика применения PPP-алгоритма при создании геодезических сетей.

Основные положения диссертации соответствуют паспорту научной специальности 1.6.22 геодезия в части пунктов: 3, 4, 5.

3. Создание и развитие геодезической координатно-временной основы различного назначения с использованием геодезических, астрономических, гравиметрических и других (космических, наземных, подземных и подводных) методов измерений; оценка их стабильности и характера изменений, вопросы проектирования и оптимизации. Разработка и

развитие теорий построения и реализации координатных, высотных и гравиметрических систем отсчета.

4. Геодезические (глобальные) навигационные спутниковые системы (ГНСС) и технологии. Формирование активной координатно-временной инфраструктуры на основе ГНСС. Методы и технологии высокоточного определения местоположения и навигации по сигналам спутниковых навигационных систем. Геодезические системы наземного, морского и космического базирования для определения местоположения и навигации подвижных объектов геопространства. Многосистемные и высокоскоростные (высокочастотные) ГНСС приложения. ГНСС рефлектометрия.
5. Теория и практика математической обработки результатов геодезических измерений и информационное обеспечение геодезических работ.

Очевидно, что все пункты паспорта научной специальности 1.6.22 «Геодезия, подтверждают актуальность темы диссертационного исследования.

Теоретические и практические изыскания доказывают, что тема диссертации актуальна и соответствует заявленной.

Основные положения и полученные результаты научных исследований были доложены и обсуждены в ряде как российских, так и международных конференций. Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии, Могилев, 2021; Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии, Могилев, 2022; Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии, Могилев, 2023; Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии, Могилев, 2024; Конференция, посвященная 125-летию Российского Университета Транспорта, Москва, Россия, 2021. Конференция DiEarth 2021: Международная научно-исследовательская конференция по перспективным исследованиям Земли; геодезия, геоинформатика, картография, землеустройство и кадастры. Пространственные данные: наука и технологии, Москва, Россия, 2024.

Основные результаты диссертационного исследования внедрены в учебный процесс в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования Российском университете транспорта при изучении дисциплин: «Высшая геодезия» и «Спутниковые навигационные системы в кадастре», а также в учебный процесс в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования Государственном Университете по Землеустройству при изучении дисциплин: «Высшая геодезия» (модуль «Спутниковые системы в геодезии» и «спутниковые технологии в геодезии»).

Публикации

Основные результаты по теме диссертации изложены в 0 печатных изданиях, 0 из которых изданы в журналах, рекомендованных ВАК.

Личный вклад

Содержание диссертации и основные положения подтверждают персональный вклад.

Содержание работы

Во введении обосновывается актуальность исследований, проводимых в рамках данной диссертационной работы, приводится обзор научной литературы по изучаемой проблеме, формулируется цель, ставятся задачи работы, излагается научная новизна и практическая значимость представляемой работы. В последующих главах сначала описывается общий принцип, позволяющий ..., а потом идёт апробация на частных примерах: ...и

Первая глава посвящена ...

картинку можно добавить так:

L^AT_EX

а) L^AT_EX



б) Knuth

Рис. 1 — Подпись к картинке.

Формулы в строку без номера добавляются так:

$$\lambda_{T_s} = K_x \frac{dx}{dT_s}, \quad \lambda_{q_s} = K_x \frac{dx}{dq_s},$$

Вторая глава посвящена исследованию

Третья глава посвящена исследованию

Можно сослаться на свои работы в автореферате. Для этого в файле Synopsis/setup.tex необходимо присвоить положительное значение счётчику `\setcounter{usefootcite}{1}`. В таком случае ссылки на работы других авторов будут подстрочными. Изложенные в третьей главе результаты опубликованы в [vakbib1; vakbib2]. Использование подстрочных ссылок внутри таблиц может вызывать проблемы.

В четвертой главе приведено описание

В заключении приведены основные результаты работы, которые заключаются в следующем:

1. На основе анализа ...

2. Численные исследования показали, что ...
3. Математическое моделирование показало ...
4. Для выполнения поставленных задач был создан ...

При использовании пакета `biblatex` список публикаций автора по теме диссертации формируется в разделе «Публикации» файла `common/characteristic.tex` при помощи команды `\nocite`

Макаров Станислав Олегович

Совершенствование методики повышения точности передачи координат с
использованием PPP-алгоритма

Автореф. дис. на соискание ученой степени **к.т.н.**

Подписано в печать _____._____._____. Заказ № _____

Формат 60×90/16. Усл. печ. л. 1. Тираж 100 экз.

Типография _____

