

А.П. Герасимов

Спутниковые геодезические сети

**Москва
2012**

УДК 528 (470)

ББК 26.1

Г 37

А.П. Герасимов

Спутниковые геодезические сети. – М: ООО «Издательство «Проспект», 2012. – 176 с.

ISBN 978-5-98597-224-5

В монографии излагаются теоретические и практические вопросы построения и уравнивания спутниковых геодезических сетей, к числу которых относятся высокоточная геодезическая сеть, спутниковые геодезические сети 1 класса и геодезические сети специального назначения. В основу теории и методик уравнивания спутниковых сетей положен постулат о том, что по методу наименьших квадратов уравниваются результаты измерений с их средними квадратическими ошибками, а также результаты предыдущих уравниваний с их ковариационными матрицами. С учетом этого постулата изложена теория и методики математической обработки геодезических измерений.

При построении и использовании спутниковых сетей применяются различные геодезические системы координат и проекция Гаусса. В связи с этим в монографии для всех геодезических данных приведены формулы их пересчета из одной системы в другую и формулы их вычисления в проекции Гаусса, в том числе формулы плоских прямоугольных координат в местных системах, создаваемых в государственной системе геодезических координат.

Книга предназначена для специалистов, занимающихся построением государственной геодезической сети, специальных геодезических сетей, государственными геодезическими системами координат, геодезическими и картографическими работами при инженерных изысканиях, строительстве и эксплуатации зданий и сооружений, межевании земель, ведении кадастров и геодезического надзора. Она может быть использована студентами высших и средних специальных учебных заведений при изучении таких дисциплин как геодезия, высшая геодезия, картография, прикладная геодезия и кадастр.

ISBN 978-5-98597-224-5

© А.П. Герасимов

© ООО Информационное агентство «ГРОМ»

ПРЕДИСЛОВИЕ

Подготовленная Александром Петровичем Герасимовым монография «Спутниковые геодезические сети» по содержанию далеко выходит за рамки своего названия. Она является в определенной степени итоговой работой Александра Петровича, включающей его труды, в том числе такие знаковые, востребованные геодезическим сообществом работы, как «Пособие по перевычислению координат из национальных проекций Гаусса и Ламберта в систему координат 1942 г.» (1992), «Уравнивание государственной геодезической сети» (1996), «Местные системы координат» (2010). Кроме того, что в монографии развиваются основные положения этих работ, в ней проработана и представлена теория и методики математической обработки геодезических измерений, изложены теоретические и практические вопросы создания и уравнивания высокоточной геодезической сети, спутниковых геодезических сетей 1 класса и геодезических сетей специального назначения. Полученные и представленные в монографии положения опираются на теоретические разработки, подтвержденные многолетней практикой 29-го Научно-исследовательского института МО РФ.

Работу А.П. Герасимова открывает глава, характеризующая современное состояние и основные направления совершенствования государственной геодезической сети путем создания и развития спутниковых построений – фундаментальной астрономо-геодезической сети, высокоточной геодезической сети, спутниковых геодезических сетей 1 класса.

В следующей главе представлены определения, математические зависимости, формулы определения и связи основных видов геодезических данных – пространственных, эллипсоидальных, плоских координат, разностей пространственных и эллипсоидальных координат, нормальных, ортометрических и динамических высот, высот геоида и квазигеоида, уклонов отвесных линий, углов и направлений, расстояний и азимутов различных видов. В большинстве описаний данных приводятся формулы частных производных и ошибок вычисления данных.

Третья и четвертая главы посвящены системам координат – условиям их создания, современному состоянию практической реализации, дано детальное описание процессов пересчета геодезических данных из одной геодезической системы в другую. Существенное место в четвертой главе занимает проекция Гаусса, ее теоретические основы. Особое внимание уделено ее применению в СК–42, СК–95 и в местных системах плоских прямоугольных координат, в том числе в СК–63 и в региональных МСК. Даются формулы пересчета из одной местной системы в другую и методика уточнения (восстановления) ключей местных систем координат. Приведенный материал убедительно свидетельствует о стройности и качестве теоретической основы используемых в настоящее время систем координат.

Весьма полезным и оправданным следует считать включение в монографию материалов по математической обработке геодезических измерений, содержащих теоретические основы метода наименьших квадратов, сведения из матричной алгебры, полную математическую основу и технологию обработки измерений. Следует отметить, что в этом материале освещен и обоснован практический опыт автора и 29-го НИИ МО РФ по обработке государственных и специальных сетей (например, идеи технологий многогруппового, многоэтапного уравнивания).

Собственно обработке и уравниванию измерений в спутниковых сетях посвящена шестая глава. В ней детально рассмотрен относительный метод спутниковых определений, где исходными данными для обработки и уравнивания являются разности пространственных прямоугольных координат $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ и их ковариационная матрица K' . Вопросы получения значений приращений пространственных координат на основе фазовых или кодовых измерений лежат вне рамок монографии. В данной главе также изложены основные положения о построении сетей, детально проработаны и представлены задачи определения и учета при производстве измерений и обработке эксцентриситетов фазовых центров спутниковых приемников, полевые и предварительные вычисления, вопросы уравнивания сетей с разностями пространственных и эллипсоидальных координат, спутникового нивелирования.

Монографию отличают свойственные работам А.П. Герасимова, продолжающая традиции российских военных геодезистов четкость, детальность, сочетание сжатости и полноты изложения, незагроможденность второстепенной информацией, тщательный подход к представлению и описанию формул и переменных. Эти обстоятельства характеризуют ее как прекрасное рабочее и справочное пособие, материал для удобного практического применения в реализации при создании программных решений, приходящих на смену «черным ящикам» фирменных программ производителей спутникового оборудования.

Можно с уверенностью сказать, что представленная монография – книга, которую ждали. Полнота охвата теоретических и практических вопросов, решаемых в процессе построения и уравнивания спутниковых геодезических сетей, позволит ей стать настольной книгой самому широкому кругу специалистов, студентам высших и средних специальных учебных заведений.

*А.П. Пигин,
кандидат технических наук*

ОТ СПОНСОРОВ ИЗДАНИЯ

ЗАО «ГЕОСТРОЙИЗЫСКАНИЯ»

ЗАО «ГЕОСТРОЙИЗЫСКАНИЯ» не случайно выступило спонсором издания данной монографии, так как темы, изложенные в книге, являются чрезвычайно важными и полезными для практического использования.

За последнее десятилетие спутниковые методы определения координат нашли широкое применение в различных геодезических приложениях. ГНСС технологии используются при создании опорных межевых сетей, необходимых для обеспечения кадастровых работ, для развития сетей сгущения и сетей съёмочного обоснования в изысканиях под строительство объектов различного назначения, при развитии государственной геодезической сети и геодезических сетей специального назначения.

Учитывая, что в нашей стране для решения различных задач наряду с государственной системой координат применяется большое количество местных систем, вопросы уравнивания спутниковых измерений и перехода к нужной системе координат приобретают особое значение. Важно, что все эти вопросы освещены в одном издании.

Осуществляя поставки оборудования и программного обеспечения для спутниковых определений, ЗАО «ГЕОСТРОЙИЗЫСКАНИЯ» проводит подготовку специалистов заказчика. На занятиях освещаются все этапы проведения работ: от их планирования до получения конечного результата. Вопросы уравнивания сетей и переход к нужной системе координат достаточно часто вызывают затруднения у слушателей. Поэтому монография «Спутниковые геодезические сети» станет хорошим подспорьем для всех, кто использует в своей работе ГНСС технологии, позволит лучше представить и понять теорию процессов, а значит более грамотно и уверенно подходить к решению стоящих задач.

Нужно заметить, что в последнее время выходит не так много книг отечественных авторов, посвященных обработке ГНСС измерений, и это только подчеркивает важность и своевременность выхода монографии А.П. Герасимова.

АНО ЦДО «КРЕДО-образование»

Развитие техники и технологий, в том числе космических, привнесло в инженерно-геодезическую деятельность новые эффективные методы работ и современные точные и качественные средства измерений. Сегодня для создания опорных геодезических сетей широко используются глобальные навигационные спутниковые системы, а программные средства позволяют обрабатывать как наземные, так и спутниковые геодезические данные.

Компания «Кредо-Диалог», разработчик инженерного программного комплекса CREDO, внимательно отслеживает мировые тенденции в области инженерной геодезии, учитывает развитие техники и технологий в своих программах и предлагает специалистам современный профессиональный инструмент с инновационными решениями.

Одним из них является система CREDO_DAT Professional, которая наряду с другими программами формирует пакет геодезических программ, входящих в комплекс CREDO. Система предназначена для камеральной обработки наземных и спутниковых геодезических измерений в городских, межевых и государственных опорных сетях и при съемке территорий в выбранной системе координат, с учетом модели геоида, комплекса редуцированных поправок. Несомненными плюсами системы являются ее точный математический аппарат, удобный понятный интерфейс и возможность работы со всеми наиболее известными геодезическими приборами.

Безусловно, новые технологии требуют от исполнителей и высокой квалификации при выполнении геодезических измерений, и хорошего уровня владения современными средствами их обработки. Обучение работе с новым программным обеспечением, базирующимся на передовых методах производства, ведется в Центре дополнительного образования «КРЕДО-образование». Для повышения квалификации инженеров-геодезистов центр предлагает специальные учебные курсы и удобные формы обучения, в том числе дистанционное, а опытные преподаватели помогут освоить учебную программу любой сложности.

Книга «Спутниковые геодезические сети» посвящена теоретическим и практическим вопросам создания и уравнивания высокоточной геодезической сети, спутниковых геодезических сетей 1 класса и геодезических сетей специального назначения. А.П. Герасимов дает четкое теоретическое обоснование используемых в настоящее время систем координат.

Следует отметить важную роль предыдущих работ автора: «Уравнивание государственной геодезической сети» (1996 г.) и «Местные системы координат» (2010 г.). Эти издания оказали положительное влияние на развитие математического аппарата программ CREDO_DAT и ТРАНСКОР, за что коллектив разработчиков выражает Александру Петровичу Герасимову искреннюю благодарность.

Несомненно, книга будет полезна специалистам научно-технической и производственной сфер деятельности, студентам геодезических специальностей, которые стремятся расширять свои профессиональные знания. Для разработчиков программных средств, в том числе и при дальнейшем развитии комплекса CREDO, работа А.П. Герасимова представляет практический интерес, и будет служить основой при реализации функционала предварительных и уравнительных вычислений в программных решениях.

Надеемся, что данная книга найдет своих читателей среди инженеров-геодезистов, пользователей CREDO.

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ

- АГС – астрономо-геодезическая сеть
- ВГС – высокоточная геодезическая сеть
- ГГС – государственная геодезическая сеть
- ГНС – государственная нивелирная сеть
- ГПЗ – гравитационное поле Земли
- ГСС – геодезическая сеть сгущения
- ГССН – геодезическая сеть специального назначения
- ДГС – доплеровская геодезическая сеть
- КГС – космическая геодезическая сеть
- МСК – местная система координат
- ОЗЭ – общеземной эллипсоид
- ОМС – опорная межевая сеть
- ПЗ–90 – государственная геоцентрическая система координат
«Параметры Земли 1990 года»
- СГС – специальная геодезическая сеть
- СГС–1 – спутниковая геодезическая сеть 1 класса
- СК–42 – государственная система геодезических координат 1942 года
- СК–95 – государственная система геодезических координат 1995 года
- ФАГС – фундаментальная астрономо-геодезическая сеть
- ICRS – международная небесная система координат
- IGN – международная геодинамическая сеть
- ITRS – международная земная система координат
- ITRF – система ITRS конкретного года
- WGS–84 – мировая геодезическая система координат 1984 года

ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

Координаты, эллипсоид

X, Y, Z – пространственные прямоугольные координаты
 B, L, H – эллипсоидальные координаты (широта, долгота, высота)
 B, L – геодезические координаты
 H^y – нормальная высота
 $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ – линейные параметры связи систем координат
 $\omega_X, \omega_Y, \omega_Z$ – угловые параметры связи систем координат
 m – масштабный параметр связи систем координат
 a – большая полуось эллипсоида
 b – малая полуось эллипсоида
 Δa – разность больших полуосей двух эллипсоидов
 α – сжатие эллипсоида
 e – эксцентриситет эллипсоида
 e' – второй эксцентриситет эллипсоида
 Δe^2 – разность квадратов эксцентриситетов двух эллипсоидов
 M – радиус кривизны меридиана
 N – радиус кривизны первого вертикала
 R – средний радиус кривизны
 r – радиус кривизны параллели
 R_A – радиус кривизны нормального сечения

Проекция Гаусса

x', y' – истинные координаты в проекции Гаусса
 x_0, y_0 – координаты условного начала
 x, y – координаты в проекции Гаусса-Крюгера
 x_M, y_M – координаты в проекции Гаусса с местной координатной сеткой
 n – номер координатной зоны
 L_1^0 – долгота осевого меридиана первой зоны
 ΔL – ширина координатной зоны

L_n^0 – долгота осевого меридиана зоны с номером n

l – долгота, отсчитываемая от осевого меридиана

X – длина дуги меридиана

Геодезические данные

ΔX , ΔY , ΔZ – разности координат, измеренные относительным методом

x_s , y_s , h_s – составляющие эксцентриситета фазового центра спутникового приемника

δB , δL , δH – элементы центрировки спутникового приемника

$\delta \Delta X_s$, $\delta \Delta Y_s$, $\delta \Delta Z_s$ – поправки за эксцентриситет фазовых центров

S – расстояние между точками в пространстве

s – длина геодезической линии (расстояние, редуцированное на эллипсоид)

d – расстояние на плоскости проекции

m – приведенная длина геодезической линии

D – расстояние между светодальномером и отражателем, в котором учтены поправки за центрировку и редукцию

ΔD – поправка в расстояние за высоту приборов над центрами пунктов

N_u – измеренное направление

N – направление геодезической линии

ΔN_{ϑ} – поправка в направление за уклонение отвесной линии

ΔN_n – поправка в направление за высоту наблюдаемого пункта

ΔN_n – поправка в направление за переход от нормального сечения к геодезической линии

δ – поправка в направление за кривизну изображения геодезической линии

β – горизонтальный угол

α – вертикальный угол

A – геодезический азимут

a – астрономический азимут

α – дирекционный угол

Z – зенитное расстояние

u – уклонение отвесной линии

ξ, η – составляющие уклонения отвесной линии в меридиане и в первом вертикале

ζ – высота квазигеоида над эллипсоидом

Уравнения поправок, нормальные уравнения

t – уравниваемая величина (результат измерения или предыдущего уравнивания)

v – поправка к уравниваемой величине

V – матрица поправок к уравниваемым величинам

x – результат уравнивания (например, координата)

x^0 – предварительное значение результата уравнивания

δx – поправка к значению x^0 (неизвестное)

p – вес результата измерения (или уравнения поправок)

P – весовая матрица уравниваемых величин

Q – корреляционная матрица

K – ковариационная матрица

K_X – ковариационная матрица результатов уравнивания

K_F – ковариационная матрица функций результатов уравнивания

m – средняя квадратическая ошибка

μ_0 – ошибка единицы веса, назначаемая до уравнивания

μ – ошибка единицы веса, получаемая из уравнивания

l – свободный член уравнения поправок

L – матрица свободных членов уравнений поправок

A – матрица коэффициентов уравнений поправок

Герасимов Александр Петрович

Спутниковые геодезические сети

Дизайн обложки И.А. Петрович
Предпечатная подготовка ООО Информационное агентство «ГРОМ»

Подписано к печати 31.01.2012 г. Бумага офсетная. Формат 70x100 1/16. Гарнитура Arial.
Печать офсетная. Усл. печ. л. 11. Тираж 1000 экз. Заказ № 119П.

Отпечатано в типографии ООО «Издательство «Перспект»
119606, Москва, пр-т Вернадского, 84