

УДК 528.3

ПРОБЛЕМИ МЕТРОЛОГІЇ КООРДИНАТНО-ЧАСОВОГО ПРОСТОРУ ПРИ СУПУТНИКОВИХ І НАЗЕМНИХ ГЕОДЕЗИЧНИХ ВИМІРЮВАННЯХ

І. Тревого, І. Цюпак

Національний університет “Львівська політехніка”

Ключові слова: система координат, координатно-часовий простір, супутникові та наземні виміри, GNSS-технологія.

Постановка проблеми

Точність визначення координат пунктів методом GPS/GNSS оцінюється на рівні 2–3 мм. Різниця між координатами пунктів, визначеними за двома добовими сесіями GPS-спостережень з використанням для опрацювання точних ефемерид, як правило, коливаються в межах 1–4 мм. Разом з цим, аналіз добових визначень координат перманентних GPS-пунктів протягом тривалого часу, наприклад, одного року, показує їх вікові або трендові зміни, періодичні коливання (у межах до 1 см) та окремі “викиди”. На основі опрацювання GPS-спостережень сукупності (певної кількості) перманентних станцій, розміщених по всій поверхні Землі, встановлюється реалізація ITRF-YY земної системи координат ITRS [13] на певну епоху 20YY. Супутникові виміри і системи координат, в яких їх опрацьовують, залежні від часу, тому вони відносяться до певного координатно-часового простору, де і система координат, і система вимірювання часу у певний спосіб вибрані й відповідають певним умовам. Отже, можемо говорити про умовний координатно-часовий простір, прийнятий для земної системи координат ITRS.

Цей координатно-часовий простір (реалізація земної системи координат ITRF) створюється як однорідний, але добудова, чи “заселення” цього простору іншими пунктами і геодезичними мережами пунктів, визначених з різною точністю, перетворюють його на неоднорідний.

Виміри і величини або параметри, які визначаються з їх опрацювання, до яких належать і координати пунктів, а також система координат або координатно-часовий простір, повинні відповідати еталонним (стандартним) одиницям вимірювань для забезпечення їх єдності, точності й однозначності як основних вимог (принципів) метрології.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

У зазначеному координатно-часовому просторі створюються континентальні, регіональні, локальні геодезичні мережі. До таких належать мережі активних референціальних станцій диференціального GNSS (DGNSS), наприклад, EUPOS (European Position Determination System) [16], або частини цієї мережі як локальні: SAPOS – в Німеччині, ASG-EUPOS – в Польщі, CZPOS – в Чехії, SK POS – у Словаччині, UA-EUPOS/ZAKPOS [8] – в Україні. На основі мережі перманентних, а також мереж активних референціальних станцій розвиваються і активні геодезичні мережі для моніторингу інженерних споруд [12], і місцеві мережі активних референціальних станцій, призначені для

розв’язання задач топографії, кадастру, інженерної геодезії. Також на основі перманентних станцій створюються фундаментальні геодезичні мережі для метрологічної атестації GPS/GNSS-приймачів і контролювання точності методик визначення параметрів за супутниковими спостереженнями [10, 17].

Внаслідок широкого застосування технології GPS/GNSS виникає поняття геодезичного навігаційного простору [7]. У багатьох випадках [1, 3] геодезичні мережі створюються супутниковими (GPS/GNSS-виміри) і наземними (електронними тахеометрами) методами, але опрацювання часто виконують окремо: спочатку визначається мережа вихідних пунктів за супутниковими спостереженнями, а між ними розвиваються геодезичні мережі, створені наземними методами. При цьому опрацювання супутникових спостережень виконується в системі координат, залежній від часу, а наземних вимірів – у системі, в якій місцеположення пунктів незмінні з часом. Тим самим порушується однозначність розв’язку [7], а отже, і основні метрологічні принципи (вимоги).

Постановка завдання

Вищезазначене свідчить про те, що необхідно аналізувати можливості збереження точності вихідної системи координат, визначаючи нові пункти і геодезичні мережі у прийнятій системі. Одночасно потрібно виявити умови збереження еталонної (стандартної) одиниці вимірювань і у вимірах, і у системі координат, і у геодезичних мережах, координати пунктів яких визначені у вихідній (референціальній) системі координат.

Виклад основного матеріалу

Принципи метрології. Метрологія покликана забезпечити єдність вимірів збереженням одиниці вимірювань, що дорівнює стандартній (еталонній). Вимірювання виконуються з похибками, тому забезпечити відповідність одиниці вимірювань цих вимірів до еталонної можливо з певною точністю.

Система координат у гравітаційному полі.

Геодезичні вимірювання виконуються для визначення взаємного місцезнаходження точок земної поверхні та їх можливих змін з часом. Місцезнаходження точок у просторі визначають у просторовій системі координат. Як відомо, рух – це характеристика існування матерії, тому нам важливо знати властивості взаємного руху точок у просторі з часом. З фізики [5] відомо, що рух може бути відносним, тобто визначається зміна положення однієї точки відносно іншої або відносно системи координат – з одного боку, і з плином часу,

тобто в часі – з іншого. Зміна положення точки за певний проміжок часу – це швидкість руху. Отже, вивчення руху можливе у просторі й часі.

Оскільки все у просторі рухається і змінюється (незначно рухається), а це можливо відзначити, якщо порівняти стан простору в різні моменти часу (епохи), то в супутниковій геодезії системи координат є змінними з часом. Отже, можемо стверджувати, що вивчення змін положення точок з часом відбувається у координатно-часовому просторі.

Простір і час – величини взаємопов'язані, тому що переміщення у просторі відбувається з часом. Час є одиницею вимірювання простору, якщо відома швидкість світла як стала величина (у вакуумі).

Крім цього, відомо, що існує явище гравітації [2], яке впливає на все, що перебуває в межах його впливу, тобто у гравітаційному полі. Гравітаційне поле має більшу потужність (вплив) ближче до тіла, яке створює (генерує) гравітацію своєю масою, тобто кількістю потенціальної енергії. Відомо, що гравітаційне поле також впливає на прямолінійний рух електромагнітної хвилі, викривляючи чи заломлюючи її траєкторію руху, притягуючи в напрямі до центра маси. Оскільки тіло Землі має форму сфероїда, то лазерний чи візирний промінь, рухаючись між точками на поверхні Землі, викривляється, “зберігаючи” паралельність до поверхні, вздовж якої рухається, і відповідна поправка за це явище в геодезії називається поправкою за кривину Землі. Систему координат реалізують за спостереженнями супутників і вимірами між пунктами на поверхні Землі. На супутникові чи наземні вимірювання (останні виконуються електронним тахеометром), як на електромагнітні хвилі, діє гравітаційне поле Землі. Для прикладу, внаслідок сфероїдності Землі промінь світла, коли довжини ліній більші за 500–600 м, відчутно вигинається [11], перетворюючись на криву другого порядку.

Простір геоцентричної системи координат перебуває у гравітаційному полі Землі, яке впливає і на координатні лінії, викривляючи їх через зміну насиченості поля, з віддаленням від її поверхні. Вплив земної гравітації зменшується радіально з віддаленням від поверхні, але одночасно існує сталий вплив гравітаційних полів Місяця і Сонця, а також їх періодично змінний вплив, викликаний рухом Місяця навколо Землі і Землі по орбіті відносно Сонця та обертання самого тіла Землі, з нерівномірним розподілом маси в середині, довкола своєї осі. Отже, простір, в якому створюється система координат, є неоднорідним через зміну дії гравітаційних полів тіл Землі, Місяця і Сонця у кожній його точці [5]. Атмосфера має масу і вона також створює додаткове гравітаційне поле, яке змінюється з часом через переміщення мас, а також через зміну густини внаслідок зміни метеорологічних даних (температури, атмосферного тиску, вологості). Осі такої системи координат не будуть прямими лініями і масштаб по осях координат буде змінним, а отже, у кожній точці цього простору масштаб є функцією координат і часу.

Якщо електромагнітна хвиля поширюється у просторі із швидкістю світла, то гравітація діє миттєво. Це означає, що гравітація не поширюється, а вже існує усюди, де є небесне тіло, і до межі дії його поля, створюваного масою. Небесне тіло рухається по орбіті разом із своїм гравітаційним полем. Гравітаційна взаємодія між двома небесними тілами виникає одразу, як тільки їх гравітаційні поля досягають відчутної взаємодії. Швидкість зміни (збільшення або зменшення) взаємодії між тілами залежить від взаємної швидкості руху тіл по лінії, що з'єднує їх центри мас. Звідси розміри кожного небесного тіла складаються із трьох частин: розмірів самого тіла, товщі атмосфери, якщо вона є, і радіуса дії гравітаційного поля.

Це все впливає як на електромагнітний сигнал, так і на тіло супутника, який рухається під дією цих ефектів як сил, що викликають прискорення у його русі. Спостерігач з поверхні Землі виконує супутникові чи наземні вимірювання, на основі яких реалізує систему координат. Отже, простір системи координат буде неоднорідним і нерівномірним, тому масштаб такого координатного простору у кожній її точці буде різний. Доволі складно і неоднозначно у такій системі координат виконувати опрацювання вимірів і визначати координати точок простору або будь-яких параметрів моделей Землі (форми, розмірів, зовнішнього гравітаційного поля, параметрів обертання і орієнтації Землі, її рівневої поверхні, рухів континентальних плит, змін земної поверхні тощо).

Моделювання координатно-часового простору.

Ще Ньютон, Лагранж, Гамільтон, встановлюючи закони механіки, виводячи диференціальні рівняння для опису руху точки (тіла), вказували на умови, за яких вони можуть діяти для забезпечення однорідності простору [5]. Принцип відносності Галілея [5] застосував Лоренц для перетворень в інерціальних системах координат, які рухаються зі швидкостями, близькими до швидкості світла. На цих перетвореннях ґрунтується теорія відносності, яка доводить вплив гравітаційного поля тіла на відхилення променів світла.

Спеціальна і загальна теорії відносності краще описують взаємодію тіл і зміну ліній (інтервалів) у чотиривимірних інерціальних системах координат, які рухаються зі швидкостями, близькими до швидкості світла, і значною кривиною простору з великими відстанями [2]. На невеликих просторах, де кривина гравітаційних ліній не набагато відрізняється від прямолінійного евклідового простору, достатньо користуватися прямолінійними просторовими системами координат і теорією ньютонівського потенціалу для опису руху супутника у гравітаційному полі Землі [14]. Однак необхідно вводити поправки за релятивістські ефекти як рух супутника, так і у супутникові виміри.

Отже, використовуються барицентрична небесна ICRS і геоцентрична земна ITRS просторові системи координат [6]. Осі системи ICRS фіксовані у просторі й вона реалізується, як інерціальна система координат ICRF, каталогом координат зірок і квазарів. У цій системі

визначають координати планет і супутників. Координати точок на поверхні Землі визначають у реалізації земної системи координат ITRF, осі якої пов'язані з тілом Землі координатами постійно діючих станцій, визначених космічними методами (SLR, LLR, GPS і DORIS) і мають добове обертання. Земна система координат визначається також одиницею довжини (метр), яка узгоджена зі сталою швидкості світла у вакуумі. Похибка суміщення центра системи ITRF з геоцентром ~ 5 см [6]. Внутрішню точність (узгодженість) системи координат, як і геодезичної мережі, характеризує масштабний множник, який для системи ITRF становить $2 \cdot 10^{-9}$.

Система координат ITRF залежна від часу через рухи континентальних плит, а також через припливи. Тому для обчислення координат пунктів на різні епохи застосовують принцип відносності Галілея [5] за формулами

$$\left. \begin{aligned} X_t &= X_0 + \ddot{X}(t-t_0) \\ Y_t &= Y_0 + \ddot{Y}(t-t_0) \\ Z_t &= Z_0 + \ddot{Z}(t-t_0) \end{aligned} \right\},$$

де X_0, Y_0, Z_0 і X_t, Y_t, Z_t – відповідно координати пункту на епоху t_0 і t , $\ddot{X}, \ddot{Y}, \ddot{Z}$ – швидкості зміни координат у цій системі. Для врахування навантаження припливів твердої Землі на зміну координат пунктів можна визначити параметри відповідної моделі. Дослідження такого впливу на координати GNSS-станцій показали [18], що це явище можна моделювати з похибками 0.1–0.3 мм.

Виміряні величини. На виміри також впливає гравітаційне поле й атмосфера. Похибка відстані за релятивістський вплив для GPS-супутників досягає 10–19 мм [4], а вплив на супутниковий годинник, як генератор фундаментальної частоти (10.23 МГц) супутникового сигналу, $4.55 \cdot 10^9$ МГц. Відносний зсув частоти годинника GNSS-приймача через релятивістський вплив на рівні 10^{-12} , що через 3 год призводить до похибки годинника близько 10^{-9} с (похибка у віддалі ~ 30 см). Крім цих похибок, на точність визначення координат точок впливають й інші:

1. Похибки ефемерид GPS-супутників нині можна оцінити так: ефемериди, що приходять із сигналом супутника (broadcast), – близько 1 м [15], точні ефемериди (final-файли) – близько 2.5 см.

2. Похибки врахування впливу тропосферної та іоносферної рефракції, переважно на рівні 1–3 см, але у разі високої активності Сонця похибка врахування впливу іоносферної рефракції може зростати у кілька разів.

3. Величина похибок дрейфу фазового центра антени GPS-приймача і багатошляховості супутникового сигналу, як правило, залежить від конструкції антени. Для багатьох сучасних антен зміна фазового центра – на рівні 1–2 мм, вплив багатошляховості може бути більшим, що суттєво залежить від ситуації навколо місця розташування точки спостереження.

Опрацювання спостережень. Для опрацювання GPS/GNSS-вимірів застосовуються спеціальні програмні пакети. Теорія алгоритму опрацювання, як правило, на

порядок краща від точності вимірів, але у комп'ютерних програмах різних фірм можуть використовуватися різні параметри моделей. І, крім цього, пакети програм можуть мати різне призначення: 1) для високоточного опрацювання GNSS-вимірів та наукових досліджень з можливістю заміни або вибору моделей явищ, наприклад, моделі врахування впливу тропосфери тощо; 2) для побудови геодезичних мереж і розв'язання інженерних задач; 3) для топографічних знімків або навігаційних визначень місця положення. Хоч точність алгоритмів – різна, але вона все одно вища від точності вимірів. Проте параметри моделей і фундаментальні сталі повинні застосовуватися однакові, як стандартні, що й забезпечить єдність одиниць вимірювань, тому що величинами, які задають одиниці вимірювань у фізичних моделях, є фундаментальні сталі.

У випадку сумісного опрацювання наземних і супутникових вимірів і використання відповідних систем координат необхідно забезпечити однозначність їх зв'язку. Для цього координати пунктів, визначені наземними методами, у незмінній в часі системі координат, також повинні характеризуватися епохою визначення.

Супутниковими технологіями визначають величини, які вимірюються наземними методами. До таких величин можна зарахувати віддалі між пунктами, перевищення або результати GPS/GNSS-нівелювання, визначення висот з одночасним урівноважуванням цих перевищень із результатами геометричного нівелювання. Для порівняння цих величин і можливого їх використання у сумісному одночасному врівноважуванні їх одиниці вимірювань повинні відповідати еталонній. Дотримуючись умов тестування геодезичних приладів, необхідно також під час окремого опрацювання вимірів (супутникових і наземних) до сумісного врівноваження використовувати однакові значення фундаментальних сталих.

Геодезична метрологія у координатно-часовому просторі. Геодезичні вимірювання і визначення будь-яких параметрів на їх основі опрацювання виконуються у системі координат на певну епоху, точніше у координатно-часовому просторі. І цей простір також повинен відповідати метрологічним вимогам – забезпечення необхідної точності та єдності одиниць вимірювань. У такому випадку координатно-часовий простір стає основою (референцим) для метрологічної атестації як еталонної геодезичної мережі чи еталонного лінійного геодезичного базису, так і геодезичних приладів, які перевіряють на цих еталонних об'єктах.

Завдання геодезичної метрології в координатно-часовому просторі такі:

- 1) забезпечення використання еталонних одиниць вимірювань, узгоджених між собою;
- 2) прийняття і рекомендація для використання переліку фундаментальних сталих і алгоритмів, які будуть застосовуватися під час опрацювання геодезичних вимірів і моделювання впливу зовнішнього середовища на виміри;
- 3) калібрування і тестування геодезичних приладів для наземних і супутникових вимірювань;
- 4) створення і метрологічна атестація еталонних фундаментальних геодезичних мереж і лінійних ба-

зисів для тестування геодезичних приладів, зокрема, GPS/GNSS-приймачів;

5) забезпечення єдності одиниць вимірювань під час сумісного врівноважування результатів наземних і супутникових вимірювань.

Отже, точність визначення координат перманентних пунктів і їх часових змін, як опорних точок системи координат, свідчать про точність реалізації системи координат у часі, тобто координатно-часового простору. Рівень геодинамічних змін менш ніж на порядок більший за рівень точності вимірів і, відповідно, точності моделювання впливу атмосфери і гравітаційного поля на виміри. Тому ще одним із завдань метрології повинно бути дослідження впливу цих ефектів на точність вимірів.

Висновки

1. Реалізації загальноземної геоцентричної системи координат ITRF базуються на еталонних одиницях вимірювань (метр і швидкість світла у вакуумі), узгоджених між собою.

2. Метрика координатно-часового простору в системі координат ITRF задається фіксованими на певну епоху координатами референціальних пунктів, які брали участь у її створенні.

3. Координати інших пунктів у цій системі координат можна визначити через одночасні спостереження супутників GPS/GNSS з цих референціальних станцій і пунктів геодезичних мереж, координати яких необхідно визначити. При цьому ефемериди супутників GNSS повинні бути визначені у цій самій системі координат.

4. Зауважимо, що нові пункти, координати яких визначені у цій реалізації земної системи координат ITRF, вже не реалізують саму координатну систему. Це пояснюється тим, що додавання нових пунктів до реалізованої системи координат змінює саму систему.

5. Перевірити це можна визначенням параметрів трансформації між координатами пунктів, які реалізують систему координат, і новим їх визначенням за фіксованих координат пунктів, які додані, використовуючи їх як вихідні.

6. Геодезична мережа пунктів, визначених у певній системі координат, не є реалізацією самої системи координат. Це спричинено більшими абсолютними похибками координат визначених пунктів у заданій системі координат.

7. Збільшення абсолютних похибок координат пунктів не впливає на внутрішню точність геодезичної мережі.

8. Отже, можемо стверджувати, що реалізація системи координат ITRF з використанням нових пунктів, визначених у цій самій системі, уже, як мінімум, не буде однорідною, і її загальна точність, у разі використання усіх пунктів, визначених у цій системі координат, знижується.

9. Використання мереж активних референціальних станцій для визначення координат пунктів у режимі реального часу або з опрацюванням GPS/GNSS-вимірів після спостережень дає змогу визначити координати пунктів із ще більшими абсолютними похибками координат нових пунктів у певній реалізації земної системи координат ITRF.

10. Зміна масштабного множника системи координат з новими пунктами характеризує точність цієї системи.

Література

1. Бойко Е.Г. Методы совместной обработки локальных наземных и спутниковых геодезических сетей / Бойко Е.Г., Зимин В.М., Годжаманов М.Г. // Геодезия и картография. – 2000. – № 11. – С. 11–18.

2. Бронников К. Постулаты относительного мира // www.vokrugsveta.ru/vs/article/330/.

3. Виноградов А.В. Совместное применение спутниковых приемников и электронных тахеометров при создании планового обоснования на застроенных территориях / А.В. Виноградов, А.В. Войтенко, М.С. Куприянов // Геодезия и картография. – 2007. – № 7. – С.33–35.

4. Глобальная система визначення місцезнаходження (GPS). Теорія і практика / Б. Гофманн-Велленгоф, Г. Ліхтенеггер, Д. Коллінз; пер. з англ. третього вид. під ред. Я.С. Яцківа.– К.: Наук. думка, 1995. – 380 с.

5. Иванов Б.О. Конспект лекцій із теоретичної механіки: навч. посіб. / Б.О. Иванов, М.В. Максюта.– К.: Видавничо-поліграф. центр “Київський університет”, 2012.– 207 с.

6. Корсунь А.О. Бюлетень А Українського центру визначення параметрів орієнтації Землі// http://www.mao.kiev.ua/poz/bul_gid1.htm

7. Могильный С. Совместная обработка наземных и спутниковых геодезических измерений в локальных сетях / С. Могильный, А. Шоломницкий // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва.– 2009. – Вип. I (17). – С. 122–131.

8. Савчук С. Становлення мережі активних референціальних станцій ZAKPOS / С. Савчук, І. Проданець, І. Калинич // Нові технології в геодезії, землевпорядкуванні та лісовпорядкуванні: матер. IV Міжнар. наук.-практ. конфер. (м. Ужгород, 21–22 трав. 2009). – Ужгород: Карпати, 2009. – С. 6–8.

9. Тревого І. Забезпечення метрологічної атестації сучасної геодезичної техніки на науковому геодезичному полігоні / І. Тревого, І. Цюпак, В. Купко // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2011. – Вип. II.(22). – С. 49–51.

10. Тревого І.С. Сучасні вимоги до метрологічного забезпечення еталонної фундаментальної геодезичної мережі для перевірки GNSS-приймачів / І.С. Тревого, І.М. Цюпак // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2013.– Вип. I(25). – С. 40–42.

11. Тревого І.С. Особливості метрологічної атестації еталонних геодезичних базисів / Тревого І.С., Цюпак І.М. // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2014. – Вип. I (27).– С. 29–33.

12. Третяк К.Р. До питання надійності моніторингових геодезичних мереж / К.Р. Третяк, І.Р. Савчин // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 2013. – Вип. 77. – С. 122–126.

13. Altamimi et al. The Terrestrial Reference frame and the Dynamic Earth //EOS, Transactions, American Geophysical Union, Vol. 82, No25, June 19, 2001, P. 273.

14. Bjerhammar A. Relativistic Geodesy// NOAA Technical Report NOS 188 NGS 36.– Sept. 1986.

15. <http://igsceb.jpl.nasa.gov/components/prods.html>.

16. Rosenthal G. EUPOS – European Position Determination System// The Geodetic Infrastructure in Europe – today and tomorrow. – Umea, Sweden, 22–23 June 2011.

17. Trevoho I.S. Prospects of metrological provision linear geodetic of measurements on the geodetic test field / I.S. Trevoho, I.M. Tsyupak // Reports on Geodesy. – 2013. – Vol. 94. – No. 1.– Warsaw University of technology. – P. 56–63.

18. Yuan L. The tidal displacement field at Earth's surface determined using global GPS observations / L. Yuan, B. Fong Chao, X. Ding, P. Zhong // Journal of Geophysical Research: Solid Earth. – 2013. – V. 118, No. 5. – P. 2618–2632.

Проблеми метрології координатно-часового простору при супутникових і наземних геодезичних вимірюваннях

I. Тревого, I. Цюпак

Розглянуто метрологічні аспекти реалізації земної системи координат ITRF, збереження її точності під

час визначення нових пунктів і геодезичних мереж у цій системі.

Проблемы метрологии координатно-временного пространства при спутниковых и наземных геодезических измерениях

I. Тревого, I. Цюпак

Рассмотрены метрологические аспекты реализации земной системы координат ITRF, сохранение ее точности при определении новых пунктов и геодезических сетей в ее рамках.

Problems metrology of coordinate-time space in satellite and terrestrial of geodetic measurements

I. Trevoho, I. Tsyupak

In this article reviewed the metrological aspects of the Earth's coordinate system ITRF, maintaining its accuracy in determining new points and geodetic networks in this system.



Прийшов, побачив, переміг

- теоретичні і практичні положення
- військової топографії
- карти армій інших держав
- супутникові та автономні системи навігації наземних рухомих об'єктів
- використання військових ГІС


ВІЙСЬКОВА ТОПОГРАФІЯ
 Підручник.
 За ред. П. П. Ткачука та І. С. Тревого.
 Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2011. 416 с.
 ISBN 978-617-607-026-9



ГЕОДЕЗІЯ. Частина перша. Топографія
 Навчальний посібник. А.Л. Островський, О.І. Мороз,
 З.Р. Тартачинська, І.Ф. Гарасимчук. 2011. 440 с.
 ISBN 978-617-607-081-8

- загальні відомості з топографії
- сучасні дані про форму та розміри Землі
- найпростіші прилади вимірювання на місцевості
- будова і перевірки технічних теодолітів
- основи тахеометричного, мензуального знімання





ГЕОДЕЗІЯ
 Підручник. Частина друга. За заг. ред. А. Л. Островського.
 Друге видання, виправлене, 2012. 564 с.
 ISBN 978-617-607-241-6

- теорія електронних приладів
- методи супутникової геодезії
- найсучасніші автоматизовані прилади

Для всіх геодезистів