

Проект справочного документа «Цифровая Земля в КВНО»

© О. В. Денисенко, И. С. Сильвестров, В. Ф. Фатеев, Р. А. Давлатов, Д. С. Бобров,
М. М. Мурзабеков, Е. А. Рыбаков, В. П. Лопатин

ФГУП «ВНИИФТРИ», пос. Менделеево, Моск. обл., Россия

Реферат

В настоящее время для обеспечения определения местоположения потребителя, находящегося в условиях полного отсутствия сигналов ГНСС (под водой, под землей) или нарушения непрерывности навигационного сигнала (тоннели, каньоны, пещеры), а также при работе в закрытых помещениях, разрабатывается ассистирующая технология навигации по геофизическим полям. Для обеспечения этой системы необходима информация о параметрах гравитационного и магнитного полей Земли, что требует разработки специального справочного документа (СД). Таким образом, целью данной работы является формирование проекта такого СД, которое получило название «Цифровая Земля в КВНО».

В статье представлены результаты создания проекта СД, содержащего расширенный объем информации. Дополнительно к существующим СД представляемый документ включает следующие разделы: цифровая модель геоида, характеристики гравитационного градиента, параметры магнитного поля Земли, методы расчета релятивистских поправок при навигации в околоземном пространстве – времени, краткое описание основных технических средств в обеспечении геодезии и навигации по геофизическим полям Земли, методы и средства метрологического обеспечения в навигации и геодезии, прогноз развития методов и средств навигации по геофизическим полям Земли, а также предложения по расширению состава Российских сегментов сервисов IAG (International Association of Geodesy) и GGOS (Global Geodetic Observing System). Указанные новые разделы необходимы для решения задач геодезии и навигации в околоземном пространстве, в том числе по гравитационному и магнитному полям Земли. На данный момент СД «Цифровая Земля в КВНО» получил одобрение нескольких организаций.

Ключевые слова: гравитационное поле, магнитное поле, навигация, система координат.

Контакты для связи: Давлатов Руслан Аскарджонович (davlatov_r_a@mail.ru).

Статья поступила в редакцию 27.12.2019, принята к публикации 20.02.2020, опубликована 12.05.2020.

Для цитирования: Денисенко О. В., Сильвестров И. С., Фатеев В. Ф., Давлатов Р. А., Бобров Д. С., Мурзабеков М. М., Рыбаков Е. А., Лопатин В. П. Проект справочного документа «Цифровая Земля в КВНО» // Труды ИПА РАН. 2020. Вып. 52. С. 23–26.

<https://doi.org/10.32876/ApplAstron.52.23–26>

Draft of a Reference Document “Digital Earth for PNT”

O. V. Denisenko, I. S. Silvestrov, V. F. Fateev, R. A. Davlatov, D. S. Bobrov,
M. M. Murzabekov, E. A. Rybakov, V. P. Lopatin

Federal State Unitary Enterprise “National Research Institute for Physical and Technical
and Radio Engineering Measurements”, Mendeleev, Moscow region, Russia

Abstract

Currently, to ensure the location of a consumer who is in the complete absence of GNSS signals (under water, underground), disruption in the continuity of the navigation signal (tunnels, canyons, caves), or when working in enclosed spaces, a technology for navigation through geophysical fields is being developed. To ensure this technology, information of the parameters of the gravitational and magnetic fields of Earth is needed. This requires the development of a special reference document (RD). Thus, the goal of this work is the formation of the draft RD, which was called “Digital Earth for PNT” (Positioning, Navigation and Timing).

The paper presents the results of the development of the draft RD, containing an expanded amount of information. The RD developed includes the following new sections: digital model of the geoid, characteristics of the gravitational gradient, Earth’s magnetic field parameters, methods for calculating relativistic corrections for navigation in near-Earth space – time, a brief description of the basic technical means of geodesy and navigation along the geophysical fields of the Earth, methods and means of metrological support in navigation and geodesy, a forecast of the development of methods and means of navigation through the geophysical fields of the Earth, as well as proposals to expand the composition of the Russian segments of IAG (International Association of Geodesy) and GGOS (Global Geodetic Observing System) services. These new sections are necessary for solving the problems of geodesy and navigation in near-Earth space, including the Earth’s gravitational and magnetic fields. At present, RD “Digital Earth for PNT” has received approval from several organizations.

The paper presents the results of producing a draft document for solving geodesy and navigation problems in near-Earth space, including the Earth’s gravitational and magnetic fields.

Keywords: gravitational field, magnetic field, navigation, coordinate system.

Contacts: Ruslan Davlatov (davlatov_r_a@mail.ru).

Received December 27, 2020, accepted February 20, 2020, published May 12, 2020.

For citation: Denisenko O. V., Silvestrov I. S., Fateev V. F., Davlatov R. A., Bobrov D. S., Murzabekov M. M., Rybakov Eu. A., Lopatin V. P. Draft of a reference document “Digital Earth for PNT” // Transactions of IAA RAS. 2020. Vol. 52. P. 23–26.

<https://doi.org/10.32876/AplAstron.52.23–26>

Введение

В настоящее время на территории Российской Федерации используются геодезическая система координат (СК) 2011 г. и общеземная геоцентрическая система координат «Параметры Земли 1990 года».

Для каждой СК разработаны справочные документы:

- краткое руководство по работе в геодезической системе координат 2011 г. [1];
- справочный документ «Параметры Земли 1990 года» (ПЗ-90.11) [2].

Справочные документы содержат в себе параметры системы координат, описание ее основных элементов и перечень формул для расчета этих элементов. Однако эти документы не в полной мере соответствуют задачам навигации по геофизическим полям. Необходимо отметить, что указанные СК также не в полной мере соответствуют современным мировым требованиям к точности построения и имеют ряд ограничений [3].

Разработанный проект СД «Цифровая Земля в КВНО» содержит в себе расширенный объем информации, необходимой при решении задачи определения местоположения потребителя на Земле и в околоземном пространстве.

Общее описание справочного документа

С точки зрения развития комплексной навигации в ГНСС с использованием гравитационного поля Земли (ГПЗ) и магнитного поля (МПЗ) принятые справочные документы имеют ограничения по следующим параметрам:

1. При разработке не в полной мере рассматривались результаты зарубежных проектов по созданию глобальных СК и моделей ГПЗ и МПЗ.
2. Структура и содержание недостаточны для осуществления навигации по ГПЗ и МПЗ.
3. Не рассмотрены модели околоземного пространства применительно к геодезии и навигации, в частности Земной системе координат.

Кроме того, актуальность разработки нового специального справочного документа в интересах развития методов КВНО вызвана следующими дополнительными обстоятельствами:

1. Появлением новых высокоточных средств и принципиально новых измерительных средств в геодезии и гравиметрии.
2. Необходимостью обеспечения конкурентно-способного уровня геопространственной инфор-

мации, формируемой в РФ, с учетом требований международного проекта GGOS и мероприятий по формированию единой системы координат.

3. Созданием на сегодняшний день новых, более точных, отечественных версий земной СК и ГПЗ.

4. Созданием релятивистской теории метрологии космических геодезических и навигационных измерительных систем.

5. Необходимостью создания цифровой модели геопространства в КВНО как части цифровой инфраструктуры государства.

В соответствии с вышеперечисленным в проект «Цифровая Земля в КВНО» включена следующая дополнительная информация:

- цифровая модель геоида;
- характеристики гравитационного градиента;
- параметры МПЗ;
- методы расчета релятивистских поправок при навигации в околоземном пространстве;
- краткое описание основных технических средств в геодезии, гравиметрии, магнитометрии и навигации по геофизическим полям Земли;
- методы и средства метрологического обеспечения в навигации и геодезии;
- прогноз развития методов и средств навигации по геофизическим полям Земли;
- предложения по расширению состава российских сегментов сервисов IAG и GGOS.

Ниже представлено содержание нового СД «Цифровая Земля в КВНО». При этом жирным шрифтом отмечаны вновь введенные разделы, отсутствующие в ГСК-2011 и ПЗ-90.11.

Актуальность разработки справочного документа

1. Цифровая Земля как основа КВНО
2. Основные геодезические постоянные
3. Системы координат
 - 3.1 *Невращающиеся системы координат (небесная СК ICRS)*
 - 3.2 *Основные земные СК, вращающиеся вместе с Землей*
 - 3.3 *Проект единой (экспериментальной) государственной геодезической системы координат*
4. Гравитационное поле Земли
 - 4.1 *Параметры гравитационного поля Земли*
 - 4.2 *Государственные модели гравитацион-*

ного поля Земли в РФ

4.3 Зарубежные модели гравитационного поля Земли

5. Магнитное поле Земли

5.1 Параметры магнитного поля Земли

5.2 Основные модели МПЗ

6. Система высот

6.1 Система высот на основе понятия геоида

6.2 Система высот на основе понятия квазигеоида

7. Релятивистские поправки в определении времени, частоты и длины на Земле и в околоземном пространстве

7.1 Длина в ГПЗ

7.2 Длина круговой орбиты спутника Земли

7.3 Координатное время в ГПЗ

7.4 Действительное (измеряемое, собственное) время в ГПЗ

7.5 Релятивистские смещения частоты и времени в наземных мобильных атомных часах

7.6 Релятивистские эффекты в космических навигационных системах

7.7 Релятивистские параметры пространства-времени в системе отсчета ITRS и распространение радиоволн

8. Технические средства обеспечения точности СК, ГПЗ и учета релятивистских поправок

8.1 Технические высокоточные средства формирования СК

8.2 Технические высокоточные средства измерения параметров ГПЗ

8.3 Технические высокоточные средства измерения параметров МПЗ

8.4 Распределенная система мониторинга разности геопотенциальных чисел

9. Метрология околоземного пространства-времени

9.1 Основные эталоны единиц физических величин в области геодезии и гравиметрии

9.2 Разрабатываемые эталоны единиц физических величин в области гравиметрии

9.3 Наземные полигоны как средство метрологического обеспечения проектов систем координат и моделей ГПЗ, высот квазигеоида, высот геоида и др.

9.4 Пункты контроля вариаций уклонений свободного падения (УСП)

9.5 Пункты геодезической колокации

10. Прогноз развития навигации по ГПЗ и геодезических систем

10.1 Наземные гравиметрические средства

10.2 Перспективы развития пунктов колокации

10.3 Квантовая оптическая система «Точка»

10.4 Искусственный спутник Земли «БЛИЦ-М»

10.5 Малогабаритные средства РСДБ

10.6 Космический измеритель разности гравитационных потенциалов

10.7 Необходимые отечественные сервисы следующих служб: геоида, земных приливов, глобальных моделей Земли (ГПЗ, МПЗ, чисел Лява и др.), цифровых моделей рельефа, альтиметрической

Список использованных источников

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А. Результаты сравнения измеренных и модельных значений уклонений отвесной линии

Приложение Б. Фрагмент модели гравитационного поля Земли АПК ГГСК/720

Приложение В. Фрагмент модели Международного геомагнитного аналитического поля IGRF12 (с 1990 г.)

Приложение Г. Цифровая модель превышений геоида на акваториях

Приложение Д. Цифровая модель превышений квазигеоида

Приложение Е. Структура и характеристики макета квантового нивелира

Приложение Ж. Результаты экспериментов по бистатической радиовысотометрии

Приложение З. Результаты оценки характеристик модели гравитационного поля Земли (ГПЗ) EGM2008 на примере Московской области

Приложение И. Результаты регионально-го мониторинга вариаций ускорения свободного падения

На сегодняшний день справочный документ согласован со следующими организациями:

1. МОУ «Институт инженерной физики».
 2. ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет геосистем и технологий».
 3. Акционерное общество «Центральный научно-исследовательский институт машиностроения».
 4. Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии имени Д. И. Менделеева».
 5. ФГБУ «27 Центральный научно-исследовательский институт» Министерства обороны Российской Федерации».
 6. Военно-топографическое управление Генерального штаба Вооруженных Сил Российской Федерации.
 7. Военно-космическая академия имени А. Ф. Можайского.
 8. Институт прикладной астрономии Российской академии наук.
- Указанные организации поддержали идею создания справочного документа, отметили его необхо-

димось и высказали ряд замечаний. В настоящее время идет процесс корректировки справочного документа с целью устранения замечаний.

Заключение

Для повышения точности национальной геоцентрической системы координат и моделей ГПЗ, развития ассистирующих технологий навигации ГЛОНАСС на основе использования геофизических полей Земли, а также обеспечения расширения сферы практического применения цифровой информации КВНО необходимо разработать справочный документ «Цифровая Земля в КВНО». Проект справочного документа разработан кол-

лективом во ФГУП «ВНИИФТРИ» и согласован с заинтересованными организациями. В настоящее время справочный документ редактируется согласно полученным замечаниям и рекомендациям от заинтересованных организаций.

Литература

1. *Ефимов Г. Н., Зубинский В. И., Попадъев В. В.* Объяснение к геодезической системе координат 2011 года. М.: Изд-во Центра геодезии, картографии и ИПД, 2017. 143 с.
2. *Параметры Земли 1990 года.* Справочный документ. М.: Военно-топографическое управление Генерального штаба Вооруженных Сил РФ, 2018.
3. *Денисенко О. В., Сильвестров И. С., Фатеев В. Ф. и др.* Возможности формирования единой геоцентрической системы координат // Альманах современной метрологии. 2018. № 15. С. 92–112.