



ISSN: 2500-4212. Свидетельство о регистрации СМИ: ЭЛ № ФС 77 - 67083 от 15.09.2016

Научное обозрение. Раздел I. Научные исследования. 2020. № 3. ID 256

**Молдабеков Мейрбек Молдабекович**

*доктор технических наук, профессор, академик, Институт космической техники и технологий, г. Алматы (Республика Казахстан)*

*m.moldabekov@mail.ru*

**Ерёмин Денис Иванович**

*магистр, заместитель директора по развитию, заведующий лабораторией космических информационных технологий, Институт космической техники и технологий, г. Алматы (Республика Казахстан)*

*denis.e@bk.ru*

**Жаксыгулова Динара Галимжановна**

*PhD-докторант, научный сотрудник, лаборатория космических информационных технологий, Институт космической техники и технологий, г. Алматы (Республика Казахстан)*

*zhaxygulova.d@istt.kz*

**Калиева Римма Абдыжапаровна**

*магистр, младший научный сотрудник, лаборатория космических информационных технологий, Институт космической техники и технологий, г. Алматы (Республика Казахстан)*

*keshrim95@gmail.com*

УДК 689.723

**СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ СЕТЬЮ РЕФЕРЕНЦНЫХ СТАНЦИЙ КАК  
ЭЛЕМЕНТ ОПОРНОЙ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ СЕТИ В КАЗАХСТАНЕ**

*Система управления сетью референчных станций является элементом опорной геодезической сети. Она решает задачу по обеспечению высокоточного определения координат. В статье приведен анализ опыта создания опорных геодезических сетей в России, США, Германии и Беларуси, а также описано текущее состояние системы определения геодезических координат и высот в Казахстане.*



*Ключевые слова: навигационная система, система управления, станции глобальных навигационных спутниковых систем, сеть референчных станций, геодезическая сеть.*

В настоящее время на всей территории Казахстана действует единая государственная система координат, высот, гравиметрических и спутниковых измерений, а также масштабный ряд государственных топографических карт и планов СК-42, внедренных еще в 1942 году [1, 2]. Учитывая, что 90 % геодезических пунктов СК-42 оказались утраченными, проведение геодезических работ для протяженных вдоль географической широты объектов в этой системе характеризуется большими погрешностями. Кроме того, имеющаяся система не позволяет использовать достижения современных спутниковых технологий геодезического обеспечения различных работ [3]. В свою очередь, отсутствие государственной опорной системы координат, соответствующей требованиям современных спутниковых технологий, не позволяет автоматизировать, а также предоставлять качественные координатно-временные и навигационные услуги на территории страны.

Создание государственной геодезической сети позволит:

- осуществлять высокоточное определение геодезических координат и нормальных высот инфраструктурных и подвижных объектов в режимах реального времени и постобработки;
- применять современные методы автоматизированной диагностики и мониторинга;
- повысить качество услуг по предоставлению пространственных данных магистральных сетей и автоматизировать их предоставление;
- более детально изучать деформацию земной поверхности и геодинамики;
- предоставить метрологическое обеспечение высокоточных технических средств определения местоположения и ориентирования.

Опыт зарубежных стран [4, 5, 6, 7] в построении государственной опорной геодезической сети показал важность ее дополнения сетью референчных станций ГНСС (глобальная навигационная спутниковая система), реализующей дифференциальные коррекции навигационных определений с целью повышения их точности.

Так, например, на сегодняшний день в состав единой интегрированной геодезической пространственной основы Германии, принявшей в качестве единой координатной системы ETRS89 (European Terrestrial Reference System 89), которая



ISSN: 2500-4212. Свидетельство о регистрации СМИ: Эл № ФС 77 - 67083 от 15.09.2016

Научное обозрение. Раздел I. Научные исследования. 2020. № 3. ID 256

связана с Международной земной системой координат ITRS (International Terrestrial Reference System), включены [4]:

- главная геодезическая сеть (сеть GGN), состоящая из опорных геодезических пунктов;
- главная нивелирная сеть (сеть DHHN), состоящая из опорных нивелирных пунктов первого порядка (HFP 1.0);
- главная гравиметрическая сеть (сеть DHSN), состоящая из опорных гравиметрических пунктов первого порядка (SFP 1.0);
- сеть референчных станций, состоящая из пунктов референчных станций DREF-Online (рисунок 1) и SAPOS (рисунок 2).

Единая интегрированная геодезическая пространственная основа Германии характеризуется равномерным покрытием территории государства пунктами всех сетей, причем пункты сети GGN находятся на расстоянии не более 30 км друг от друга, пункты сети GREF – 200 км, а пункты сети SAPOS – 60 км, что обеспечивает высокий уровень взаимосвязей между опорными пунктами различных сетей и высокую плотность их размещения. При этом, среднеквадратичное отклонение (СКО) взаимного положения центра контрольного пункта относительно центра основного пункта составляет не более 2 мм в плане и 0,5 мм по высоте. СКО определения координат опорного пункта не превышает 5 мм в плане, 8 мм по высоте и 12 мкГал по силе тяжести.

Система дифференциальной коррекции представлена сетями референчных станций DREF-Online и SAPOS, установленными с точностью до 5–8 мм.



ISSN: 2500-4212. Свидетельство о регистрации СМИ: ЭЛ № ФС 77 - 67083 от 15.09.2016  
Научное обозрение. Раздел I. Научные исследования. 2020. № 3. ID 256



Рис. 1. Пункты референсных станций Германии DREF-Online [11]

Созданная таким образом интегрированная геодезическая пространственная основа в Германии обеспечивает развитие национальной



ISSN: 2500-4212. Свидетельство о регистрации СМИ: ЭЛ № ФС 77 - 67083 от 15.09.2016  
Научное обозрение. Раздел I. Научные исследования. 2020. № 3. ID 256

модели квазигеоида и постепенный переход от геометрического нивелирования III–IV классов к аналогичному по точности спутниковому.



Рис. 2. Сеть референчных станций Германии SAPOS [11]

В России действуют две координатные системы: ГСК-2011, используемая для выполнения картографических и геодезических работ, и ПЗ-90.11, используемая для геодезического обеспечения орбитальных полётов и решения навигационных задач. Кроме того, в России имеется собственная ГНСС ГЛОНАСС.



ISSN: 2500-4212. Свидетельство о регистрации СМИ: Эл № ФС 77 - 67083 от 15.09.2016  
Научное обозрение. Раздел I. Научные исследования. 2020. № 3. ID 256

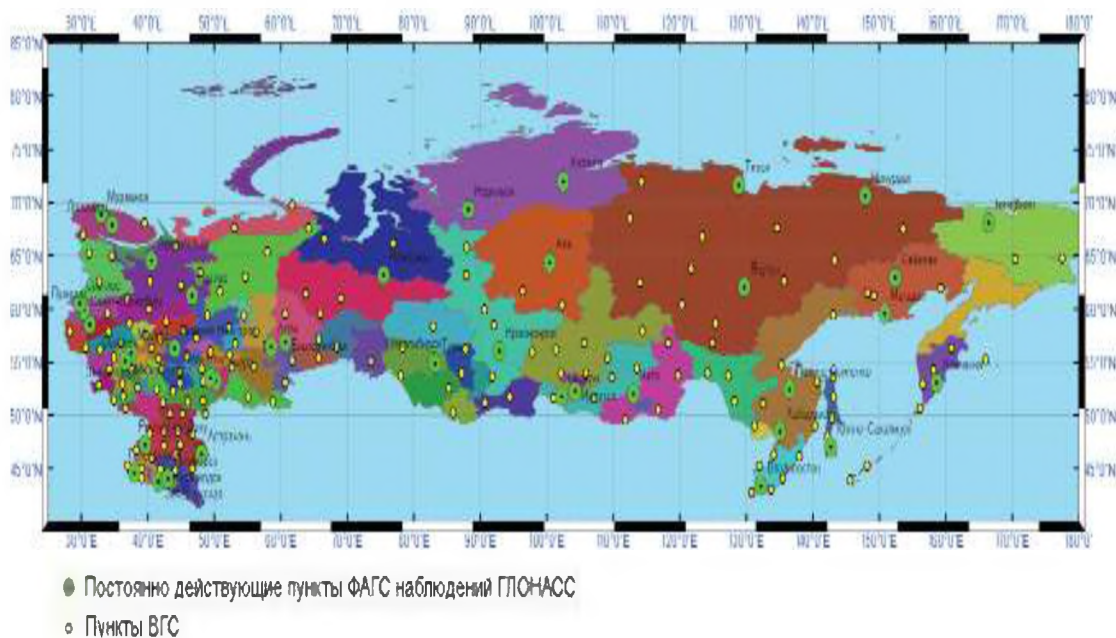


Рис. 3. Расположение пунктов ФАГС и ВГС на территории России [5]

Основу ГСК-2011, идентичной по принципам построения ITRS, составляет государственная геодезическая сеть (ГГС), которая включает следующие пункты, выполняющие геодезические, нивелирные и гравиметрические [5]:

- 50 пунктов фундаментальной астрономо-геодезической сети (ФАГС), выполняющих постоянное наблюдение ГНСС (рисунок 3);
- 300 пунктов высокоточной геодезической сети (ВГС), выполняющих периодическое наблюдение ГНСС (рисунок 3);
- 4500 пунктов спутниковой геодезической сети 1-го класса (СГС-1) (рисунок 4).



Рис. 4. Расположение пунктов СГС-1 на территории России [5]

Исходя из представленной информации, можно выделить следующие характерные черты геодезического обеспечения России:

- большое расстояние между опорными пунктами сетей (для ФАГС порядка 650–1000 км);
- пункты ФАГС и ВГС распространены по территории государства с примерно одинаковой плотностью, однако наиболее высокая плотность расположения пунктов наблюдается в экономически наиболее развитых районах;
- наиболее высокая концентрация пунктов СГС-1 наблюдается в западных, южных и юго-восточных регионах страны, что позволяет предположить высокий уровень использования дифференциальной коррекции при выполнении прикладных и научных задач;
- высокая точность при определении координат опорных пунктов сети по высоте, в плане и по силе тяжести (порядка 6 мкГал).

Государственная геодезическая сеть Беларуси, построенная с учетом опыта России, основана на единой системе геодезических координат 1942 года и Балтийской системе высот 1977 года. ГГС Беларуси включает следующие компоненты (рисунок 5) [6]:

- 1 пункт ФАГС;
- 9 пунктов ВГС, расположенных на расстоянии 150–300 км;



ISSN: 2500-4212. Свидетельство о регистрации СМИ: Эл № ФС 77 - 67083 от 15.09.2016

Научное обозрение. Раздел I. Научные исследования. 2020. № 3. ID 256

- пункты СГС-1, удаленные на расстояние 8–25 км друг от друга;
- геодезические сети сгущения (ГСС);
- сеть референсных станций.

Таким образом, геодезическое обеспечение Беларуси имеет следующие характерные черты:

- равномерное распределение пунктов ГГС по всей территории страны;
- наличие всего одного пункта ФАГС, постоянно определяемого с ошибкой в  $\pm 2$  см по плановому положению и  $\pm 3$  см по высоте [8] относительно пунктов ФАГС России;
- большое количество контрольных (не менее 4) и рабочих (не менее 4) пунктов на пунктах ФАГС и ВГС;
- на каждом пункте ВГС может размещаться референсная станция, что фактически делает пункт ВГС пунктом системы дифференциальной коррекции;
- положение пунктов ВГС определяется спутниковыми методами относительно пунктов ФАГС Беларуси и России;
- все пункты ВГС и ФАГС расположены вблизи крупных городов (Минск, Могилев, Полоцк и т.д.).

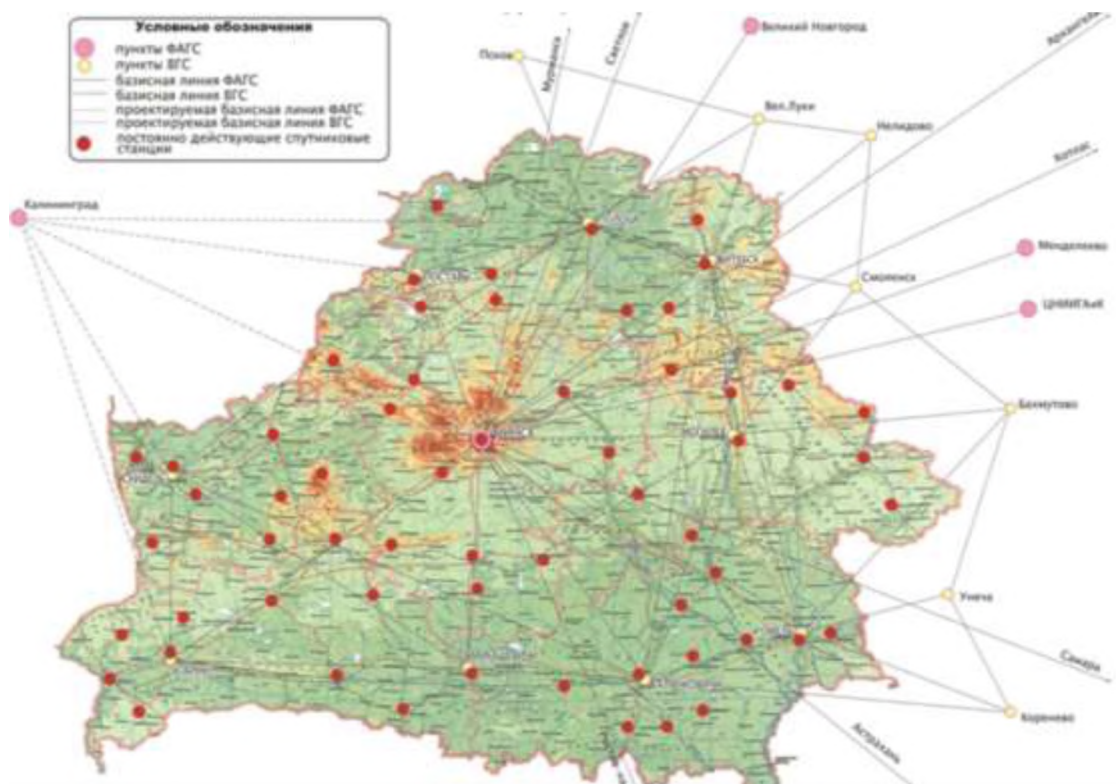


Рис. 5. Схема расположения пунктов ФАГС и ВГС и референсных станций на территории Беларуси [9]





Геодезическая основа США реализуется в направлении развития глобальной спутниковой сети (GPS) и национальной системы пространственных координат (NSRS), развивающейся независимо от GPS [7].

NSRS состоит из следующих составляющих:

– федеральная опорная сеть (FBN), представленная сетью постоянно действующих фундаментальных станций, расположенных на расстоянии 100 км друг от друга. FBN обеспечивает пространственный контроль с наиболее высокой на сегодняшний день точностью (95%): 1 см для широт и долгот, 2 см для геодезической высоты, 3 см для ортометрической высоты, 50 мкГал для силы тяжести, 1 мм/год для движения земной коры;

– объединенная опорная сеть (CBN) – высокоточная сеть постоянно закрепленных пунктов, расположенных на расстоянии 25–50 км друг от друга;

– пользовательская сеть сгущения (UDN), которая обеспечивает пространственную привязку локальных инфраструктурных проектов, контроль качества, архивирование и распространение данных пунктов UDN.

Рассматривая опыт США в вопросах создания и обеспечения спутниковых геодезических сетей, необходимо подробнее остановиться на системе Continuously действующих референсных станций (рисунки 6), которая на январь 2014 года включала 1900 референсных станций, созданных при участии свыше 200 частных, общественных и академических организаций. Данная сеть продолжает расширяться и совершенствоваться и обеспечивает сантиметровую точность позиционирования с применением дифференциальных коррекций на территории США [7].



Рис. 6. Расположение пунктов CORS на территории США

В результате, можно выделить следующие основные черты геодезической основы США:

- высокая плотность пунктов геодезической сети при наибольшей их концентрации в экономически развитых районах;
- высокая точность позиционирования пунктов геодезической сети;
- наличие собственной ГНСС;
- высокий уровень развития сети референчных станций и широкая доступность применения методов дифференциальной коррекции.

Анализируя международный опыт в вопросах создания современных государственных геодезических сетей, выявлены следующие тенденции:

- повсеместное распространение спутниковых технологий, что дает сделать вывод о высокой рентабельности подобных проектов;
- интеграция национальных координатных систем в международную координатную систему ITRS;
- приближение значений датумов национальных координатных систем к параметрам ITRS;
- стремление к максимально возможному совмещению пунктов различного назначения;



ISSN: 2500-4212. Свидетельство о регистрации СМИ: Эл № ФС 77 - 67083 от 15.09.2016

Научное обозрение. Раздел I. Научные исследования. 2020. № 3. ID 256

– повсеместное применение сети референчных станций и внедрение технологии дифференциальной коррекции.

Для модернизации и развития системы определения геодезических координат и высот, системы определения нормальных высот, системы определения ускорения силы тяжести, составляющих опорную геодезическую сеть, и обеспечения максимально возможной точности до единиц сантиметров необходимо применение функциональных дополнений ГНСС в виде сети референчных станций ГНСС и методов дифференциальной коррекции. Таким образом, актуальной, в частности, для Казахстана, является задача создания государственной опорной геодезической сети, использующей дифференциальные коррекции навигационных определений от сети референчных станций ГНСС.

В этих целях существует необходимость создания системы управления сетью референчных станций ГНСС, структура и функции которой обеспечат выполнение задач высокоточного позиционирования с целью создания государственной опорной геодезической сети. В качестве такой системы авторами предлагается Система управления сетевой инфраструктурой референчных GNSS станций, охарактеризованная ниже.

Система управления сетевой инфраструктурой референчных GNSS станций обеспечивает высокоточное определение географических координат объектов (пунктов местности) с использованием методов спутниковой навигации и дифференциальной коррекции сигналов ГНСС, выполняет автоматизированный контроль и управление режимами работы сети референчных станций ГНСС, а также обеспечивает снижение затрат на внедрение и эксплуатацию программной системы управления за счет использования облачных технологий.

Система состоит из сети референчных станций ГНСС, центра управления, вычислительного центра, пользователей системы и каналов связи. Система функционирует под управлением реализуемого в облачной вычислительной системе специального программного обеспечения центра управления [9], который является удаленным пунктом управления и передает команды в вычислительную систему, которые далее транслируются в сеть референчных станций ГНСС. Референчные станции ГНСС обеспечивают поиск, захват и регистрацию сигналов GNSS на частотах L1, L2 и L5 с заданным периодом, конвертируют навигационные данные в унифицированных форматах, измеряют параметры внешней среды и параметры телеметрии о состоянии узлов референчных станций ГНСС, сохраняют измеренные данные во встроенной памяти и передают в режиме реального времени с заданным периодом в вычислительный центр. Входные данные от сети референчных станций ГНСС поступают в вычислительный центр по каналам передачи данных для обработки и хранения (контроль целостности данных, расчет



ISSN: 2500-4212. Свидетельство о регистрации СМИ: Эл № ФС 77 - 67083 от 15.09.2016

Научное обозрение. Раздел I. Научные исследования. 2020. № 3. ID 256

навигационных решений, архивирование). Вычислительный центр выполняет алгоритмы реализуемого в облачной вычислительной системе прикладного программного обеспечения, выполняющего дифференциальную коррекцию навигационных определений, и реализует функции сбора, хранения, обработки и отображения данных, осуществляет операции приема и передачи данных по каналам связи. Прикладное программное обеспечение также реализует алгоритм уравнивания пространственного положения сети референсных станций ГНСС относительно точных координат местоположения референсных станций Международной службы ГНСС (IGS), что позволяет корректировать (уточнять) координаты сети референсных станций ГНСС, в свою очередь это повышает точность навигационных решений и предоставляемых навигационных данных для пользователей. Выходные данные предоставляются пользователям, подключенным к системе через веб-браузер в экранной форме личного кабинета на информационном портале системы после прохождения идентификации и аутентификации и авторизации.

Работа выполнена в рамках проекта AP05134038 «Разработка программной системы управления сетевой инфраструктурой референсных GNSS станций с использованием облачных технологий» грантового финансирования Комитета науки Министерства образования и науки Республики Казахстан.

### *Список использованных источников*

1. О геодезии и картографии [Электронный ресурс]: Закон Республики Казахстан от 3 июля 2002 г. № 332. Доступ из информ.-правовой системы нормативных правовых актов Республики Казахстан ИПС «Әділет».

2. Об установлении единых государственных систем координат, высот, гравиметрических и спутниковых измерений, а также масштабного ряда государственных топографических карт и планов [Электронный ресурс]: Постановление Правительства Республики Казахстан от 28 декабря 2002 г.



ISSN: 2500-4212. Свидетельство о регистрации СМИ: Эл № ФС 77 - 67083 от 15.09.2016

Научное обозрение. Раздел I. Научные исследования. 2020. № 3. ID 256

№ 1403. Доступ из информ.-правовой системы нормативных правовых актов Республики Казахстан ИПС «Эділет».

3. Уразбеков А. К. Комплексная система диагностики технического состояния элементов железнодорожного пути // Вестник НИИ РПС. 2005. № 1 (10). С.11–17.

4. Единая интегрированная геодезическая пространственная основа ФРГ. Структура и тенденции развития / У. Д. Самратов, Л. С. Сатыбалдина, Д. Б. Тажединов, В. В. Хвостов, Б. А. Хиллер // Геопрофи. 2015. № 2. С. 16–23.

5. Современное состояние и направления развития геодезического обеспечения РФ. Системы координат / В. П. Горобец, Г. В. Демьянов, А. Н. Майоров, Г. Г. Побединский // Геопрофи. 2013. № 6. С. 4–9.

6. Совершенствование государственной геодезической опоры Республики Беларусь / А. А. Соломонов, А. И. Зенькович, Н. Ф. Бондарук, Б. А. Фурман, В. В. Хрусталева // Геодезия и картография. 2000. № 5. С. 12–16.

7. Doyle D. R. Development of the National Spatial Reference System // Horizontal Reference Systems : сайт национальной геодезической системы. URL: [https://www.ngs.noaa.gov/PUBS\\_LIB/develop\\_NSRS.html](https://www.ngs.noaa.gov/PUBS_LIB/develop_NSRS.html) (дата обращения: 05.06.20).

8. СТБ 1653-2006. Государственная геодезическая сеть Республики Беларусь. Основные положения. Введ. 2007.02.01. Минск : Госстандарт, 2006. 8 с.

9. Демьяненко А. В. Информационное взаимодействие элементов Единой системы навигационно-временного обеспечения Республики Беларусь // SlideServe.

10. Программное обеспечение системы управления сетевой инфраструктурой референсных GNSS станций с использованием облачных технологий / М. М. Молдабеков, Д. И. Еремин, Д. Г. Жаксыгулова, С. Трепашко, Р. А. Калиева // Вестник КазНУ. Серия математика, механика, информатика. 2020. № 2(106). С. 69–90.

11. Bundesamt für Kartographie und Geodäsie // Федеральное ведомство по геодезии и картографии ФРГ : официальный сайт. URL: [www.bkg.bund.de](http://www.bkg.bund.de) (дата обращения: 07.07.20).



ISSN: 2500-4212. Свидетельство о регистрации СМИ: Эл № ФС 77 - 67083 от 15.09.2016

Научное обозрение. Раздел I. Научные исследования. 2020. № 3. ID 256

**Moldabekov Meirbek**

*Doctor of technical Sciences, Professor, academician, Institute of Space Engineering and Technologies, Almaty (Republic of Kazakhstan)*

**Yeryomin Denis**

*Master, Deputy Development Director, Head of the Laboratory of Space Information Technologies, Institute of Space Engineering and Technologies, Almaty (Republic of Kazakhstan)*

**Zhaxygulova Dinara**

*Doctoral Candidate, Research Officer, Laboratory of Space Information Technologies, Institute of Space Engineering and Technologies, Almaty (Republic of Kazakhstan)*

**Kaliyeva Rimma**

*Master, Research Assistant, Laboratory of Space Information Technologies, Institute of Space Engineering and Technologies, Almaty (Republic of Kazakhstan)*

**CONTROL SYSTEM FOR REFERENCE STATIONS AS AN ELEMENT OF  
THE GEODETIC NETWORK IN KAZAKHSTAN**

*The reference station network control system is an element of the reference geodetic network. It supports the high-precision coordinate tracking. The article analyzes the experience of reference geodetic networks creating in Russia, the United*



ISSN: 2500-4212. Свидетельство о регистрации СМИ: Эл № ФС 77 - 67083 от 15.09.2016  
Научное обозрение. Раздел I. Научные исследования. 2020. № 3. ID 256

*States, Germany and Belarus, as well as describes the current state of the system for tracking of geodetic coordinates and altitude in Kazakhstan.*

*Keywords: navigation system, control system, stations of global navigation satellite systems, network of reference stations, geodetic network.*

- © АНО СНОЛД «Партнёр», 2020
- © Молдабеков М. М., 2020
- © Еремин Д. И., 2020
- © Жаксыгулова Д. Г., 2020
- © Калиева Р. А., 2020

**Учредитель и издатель журнала:**

Автономная некоммерческая организация содействие научно-образовательной и литературной деятельности «Партнёр»  
ОГРН 1161300050130 ИНН/КПП 1328012707/132801001



**Адрес редакции:**

430027, Республика Мордовия, г. Саранск, ул. Ульянова, д.22 Д, пом.1  
тел./факс: (8342) 32-47-56; тел. общ.: +79271931888; E-mail: [redactor@anopartner.ru](mailto:redactor@anopartner.ru)

**О журнале**

Журнал имеет государственную регистрацию СМИ и ему присвоен международный стандартный серийный номер ISSN.

✓ Материалы журнала включаются в библиографическую базу данных научных публикаций российских учёных Российский индекс научного цитирования (РИНЦ).

✓ Журнал является официальным изданием. Ссылки на него учитываются так же, как и на печатный труд.

✓ Редакция осуществляет рецензирование всех поступающих материалов, соответствующих тематике издания, с целью их экспертной оценки.

✓ Журнал выходит на компакт-дисках. Обязательный экземпляр каждого выпуска проходит регистрацию в Научно-техническом центре «Информрегистр».

✓ Журнал находится в свободном доступе в сети Интернет по адресу: [www.srjournal.ru](http://www.srjournal.ru). Пользователи могут бесплатно читать, загружать, копировать, распространять, использовать в образовательном процессе все статьи.

Прием заявок на публикацию статей и текстов статей, оплата статей осуществляется через функционал Личного кабинета сайта издательства "Партнёр" ([www.anopartner.ru](http://www.anopartner.ru)) и не требует посещения офиса.