

ПЕРВАЯ ОЧЕРЕДЬ БАЗОВОЙ РЕГИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ НАВИГАЦИОННО-ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГОРОДА МОСКВЫ

С.Г. Гаврилов (ГУП «Мосгоргеотрест»)

В 1982 г. окончил геодезический факультет МИИГАиК по специальности «прикладная геодезия». После окончания института работал на кафедре прикладной геодезии МИИГАиК, с 1996 г. — в ООО ЦПГ «Терра-Спейс». С 1999 г. работает в ГУП «Мосгоргеотрест», в настоящее время — начальник отдела основных и вычислительных работ. Кандидат технических наук. Лауреат премии им. Ф.Н. Красовского.

А.Я. Черников (ГУП «Мосгоргеотрест»)

В 1974 г. окончил МИИГАиК по специальности «астрономогеодезия». После окончания института работал в Центральной геодезической части, с 1978 г. — во ВНИИЭМ. С 1999 г. работает в ГУП «Мосгоргеотрест», в настоящее время — начальник сектора камеральных работ отдела основных и вычислительных работ.

И.Б. Ефремова (ГУП «Мосгоргеотрест»)

В 1987 г. окончила МИИГАиК по специальности «прикладная геодезия». В настоящее время — ведущий инженер сектора камеральных работ отдела основных и вычислительных работ ГУП «Мосгоргеотрест».

В 2010 г. в соответствии с Постановлением Правительства Москвы [1] по заказу Москомархитектуры разработан рабочий проект Базовой региональной системы навигационно-геодезического обеспечения города Москвы на основе спутниковых технологий ГЛОНАСС/GPS (СНГО Москвы). Основным разработчиком проекта является Московский городской трест геолого-геодезических и картографических работ (ГУП «Мосгоргеотрест»). Предпроектное обследование части базовых станций и разработка раздела «Метрологическое обеспечение» выполнены Федеральным государственным унитарным предприятием «Государственный проектно-изыскательский институт земельно-кадастровых съемок» (ФГУП «Госземкадастр-съемка» — ВИСХАГИ).

СНГО Москвы предназначена для формирования в городе Москве и прилегающих к городу

территориях Московской области, ориентировочно в пределах проектируемой Центральной кольцевой автодороги, спутникового навигационного пространства, в пределах которого для неограниченного количества мобильных и стационарных объектов, оснащенных навигационной спутниковой аппаратурой потребителей, обеспечивается возможность определения координат собственного местоположения по сигналам ГНСС ГЛОНАСС/GPS, в том числе в режиме реального времени. СНГО Москвы сможет применяться в качестве геодезической основы при выполнении следующих видов работ:

- проведение геодезических измерений с целью развития, сгущения или восстановления геодезической основы с погрешностями определения координат 1–2 см;

- выполнение геодезических измерений при землеустро-

ительных, изыскательских, инженерно-геодезических и иных видах работ в режиме реального времени;

- проведение инженерно-геодезических работ специального назначения;

- навигация повышенной точности с погрешностями определения положения объекта не более 1 м в режиме реального времени;

- эксплуатация систем автоматизированного дистанционного мониторинга деформационных процессов природных объектов и объектов капитального строительства.

СНГО Москвы будет состоять из 19 базовых станций ГЛОНАСС/GPS, основного и резервного центров высокоточного позиционирования. При этом шесть базовых станций будут одновременно входить в состав СНГО Москвы и спутниковой системы межевания земель города Москвы и Московской об-

ласти (Московской ССМЗ), эксплуатацию которой в настоящее время осуществляет ФГУП «Госземкадастръёмка» — ВИСХАГИ. Важной частью проекта создания СНГО Москвы является развитие ее геодезического обеспечения. Проектные решения разработаны на основании рекомендаций Федерального государственного унитарного предприятия «Центральный орден «Знак Почета» научно-исследовательский институт геодезии, аэросъемки и картографии им. Ф.Н. Красовского» (ФГУП «ЦНИИГАиК») [2].

▼ Пространственная местная система координат

В основу геодезического обеспечения СНГО Москвы положено введение пространственной местной системы координат (ПМСК) с учетом следующих условий (рис. 1):

- смещение точки начала отсчета ПМСК (O') относительно точки начала отсчета пространственной государственной системы координат (O) не менее 10 м;

- углы разворота осей координат равны нулю;

- масштабный коэффициент равен единице.

Ввод ПМСК обусловлен необходимостью предоставления пользователям данных, не имеющих режимных ограничений

на распространение, при безусловном соблюдении требований действующих документов по защите государственной тайны. Как известно, запрещено открытое опубликование каталогов координат геодезических пунктов в геоцентрических системах координат и параметров (ключей) перехода от государственных к местным системам. ПМСК не является геоцентрической, поэтому каталоги координат базовых станций подлежат открытому опубликованию. Параметры перехода от ПМСК к местным топоцентрическим системам обеспечивают переход от одной местной системы к другой местной системе и на этом основании засекречиванию не подлежат.

▼ Каркасная геодезическая сеть

СНГО Москвы создается с целью обеспечения возможности определения плановых координат в местных (условных) системах координат (МСК) и нормальных (ортометрических) высот. Для этого пользователям должны предоставляться параметры перехода от пространственной системы координат в топоцентрические местные системы координат и цифровые модели высот квазигеоида, необходимые для вычисления поправок для перехода к нормальным высотам. Формирование этих данных выполняется поэтапно:

1. Создание геодезической основы в виде каркасной геодезической сети (КГС) в зоне покрытия СНГО Москвы.

2. Определение параметров перехода (ключей) между системами отсчета координат, поддерживаемых в СНГО Москвы.

3. Построение моделей высот квазигеоида для систем отсчета высот, поддерживаемых в СНГО Москвы.

С целью вывода и оценки точности указанных данных осуществляется комплекс гео-

дезических работ, техническое задание на проведение которых согласовано с Роскартографией 25.02.2009 г. В соответствии с ним геодезическая основа (каркасная геодезическая сеть), которая используется для вывода параметров перехода и построения цифровых моделей высот квазигеоида, должна быть однородна по плотности и точности во всей зоне покрытия СНГО Москвы. Пункты геодезической основы равномерно распределяются по территории в зоне покрытия СНГО Москвы, их плотность должна составлять не менее 1 пункта на 25 км². На пунктах КГС выполняются спутниковые измерения и определяются их высоты геометрическим нивелированием не ниже III класса. КГС уравнивается в ПМСК и местных топоцентрических системах координат. Уравнивание в местных системах координат выполняется с опорой на сохранившиеся геодезические пункты с учетом погрешностей исходных данных для максимально возможного сохранения точности спутниковых определений и минимизации отклонений плановых координат пунктов нового каталога от существующего. В результате создаются каталоги пунктов с уточненными координатами в местных системах, соответствующие по точности современным средствам геодезических измерений, которые будут использоваться для вывода параметров (ключей) перехода соответствующей точности.

Проект проведения геодезических работ разрабатывался на основании сведений Московского окружного управления геодезии и картографии (в настоящее время — Управление Росреестра по Московской области) о состоянии геодезических сетей и с учетом работ, выполнявшихся ФГУП «Госземкадастръёмка» — ВИСХАГИ в ходе эксплуатации Московской ССМЗ (табл. 1).

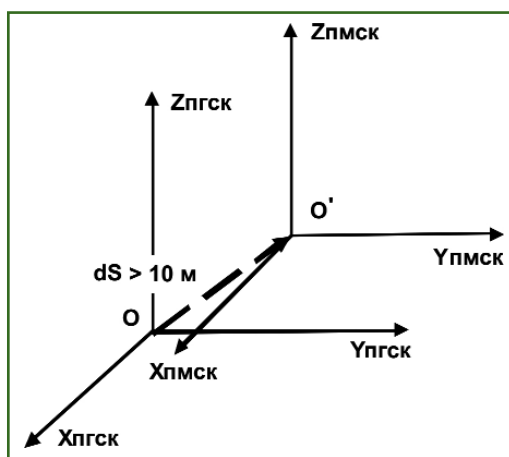


Рис. 1
Условия ввода ПМСК

В зоне покрытия СНГО Москвы используются следующие местные системы отсчета координат:

— Московская система координат — местная топоцентрическая система координат города Москвы;

— МСК-50 — местная топоцентрическая система координат Московской области.

Физической реализацией на местности Московской системы координат является опорная геодезическая сеть Москвы (ОГС Москвы) [3, 4]. Плотность ОГС Москвы и точность определения координат ее пунктов полностью обеспечивают возможность вывода параметров перехода в Московскую систему координат. Проведение дополнительных работ на этом участке не потребовалось.

МСК-50 закреплена на местности пунктами государственной геодезической сети различных классов точности, координаты которых вычислены в отмененной системе координат СК-63 [5]. По имевшимся на начало работ предварительным сведениям, создавать высокоточные спутниковые геодезические сети с опорой на пункты

в СК-63 было невозможно из-за наличия грубых методических ошибок при формировании каталогов координат в этой системе, достигающих нескольких дециметров.

В 2002 г. специалисты ГУП «Мосгоргеотрест» провели работы по созданию каталога координат пунктов каркасной спутниковой геодезической сети (КСГС) Москвы, на основе результатов измерений на пунктах КСГС, выполненных сотрудниками МИИГАиК в 1996–1997 гг. Пункты КСГС Москвы располагаются на территории Москвы и Московской области. Методика камеральной обработки результатов измерений предполагает редуцирование векторов на поверхность относимости местной системы координат и затем их уравнивание в этой системе, параметры перехода из пространственной системы координат в плоскую местную не применяются. Такой подход позволяет сначала получить каталог координат пунктов, определенных в местной системе координат высокоточными спутниковыми методами, а затем на его основе вывести параметры перехода с точностью, обеспечивающей

возможность применения современных спутниковых методов. Указанная методика имеет положительное экспертное заключение ФГУП «ЦНИИГАиК». Она применялась для уравнивания КСГС Москвы в СК-63. В качестве исходных использовались координаты 71 пункта из каталогов координат Московского окружного управления геодезии и картографии в СК-63. Уравнивание КСГС Москвы в СК-63 выполнено в два этапа. Сначала спутниковая сеть уравнивалась в пространственной системе координат с фиксацией одного пункта. На этом этапе исключались все векторы, нормализованные поправки которых превышали установленные допуски. На втором этапе сеть уравнивалась в местной системе координат с учетом погрешностей исходных данных. Если нормализованные поправки в координаты исходного пункта превышали допустимые значения, пункт переводился в категорию определяемых. В ходе уравнивания КСГС Москвы в СК-63 в категорию определяемых было переведено всего 4 пункта из 71. Таким образом, погрешности координат

Основные показатели проекта развития геодезической основы СНГО Москвы в зоне действия МСК-50

Таблица 1

Наименование показателя	Значение
Площадь зоны покрытия СНГО Москвы, км ² , в том числе:	10 300,0
— площадь территории ОГС Москвы, км ² (полевые работы не требуются);	1500,0
— площадь зоны полевых работ, км ²	8800,0
Нормативная зона покрытия одним пунктом КГС, км ²	25
Количество необходимых пунктов в зоне полевых работ, в том числе	352
— пунктов КСГС Москвы (существуют, определять не требуется);	32
— пунктов, наблюдавшихся не позднее 2007 г. ФГУП «Госземкадастръсъемка» — ВИСХАГИ (определять не требуется)	70
Общее количество пунктов, определяемых спутниковыми методами, в том числе:	250
— существующих I и II класса в СК-63 (МСК-50);	73
— существующих низших классов или новых	177
Общее количество нивелирных пунктов, в том числе:	352
— II класса (вдоль Малого Московского кольца с учетом привязки к пунктам I-го класса);	95
— III класса	257

пунктов в СК–63, существенно превышающие погрешности спутниковых определений, обнаружены всего у 6% пунктов, использовавшихся в качестве исходных. Максимальные средние квадратические погрешности (СКП) определения координат пунктов КСГС Москвы в системе СК–63 не превысили 3 см. Для оценки степени изменения координат пунктов «старого» каталога за счет применения высокоточных спутниковых методов для одноименных пунктов из «старого» и «нового» каталогов были вычислены разности координат и линейные смещения. СКП смещения пунктов «нового» каталога от исходного составило 4 см. Для 94% всех пунктов линейные смещения по абсолютному значению не превысили 10 см, а максимальное значение линейного смещения составило 18 см. Таким образом, был сделан вывод о том, что в подавляющем большинстве случаев смещение координат пунктов по данным «нового» каталога по сравнению со «старым» не будет превышать 10 см, а СКП замены координат пунктов из «старого» каталога составит 4 см.

В 2007–2008 гг. был выполнен комплекс геодезических работ по обновлению и расширению КСГС Москвы. В результате был получен каталог координат 192 пунктов, из которых для 100 пунктов координаты определены повторно, для остальных пунктов — впервые. В состав новых пунктов вошли: 12 пунктов спутниковой геодезической сети города Москвы; 10 пунктов нивелирной сети I класса; 60 пунктов триангуляции I–IV классов; 2 пункта полигонометрии I-го разряда, а также 7 постоянно действующих базовых станций Московской ССМЗ и базовая станция ФГУП «ЦНИИГАиК». Схема КСГС Москвы 2008 г. приведена на рис. 2. Уравнивание КСГС Москвы было выполнено в Мос-

ковской системе координат и в системе координат СК–63 по описанной выше методике. В качестве исходных использовались координаты и СКП пунктов КСГС из каталога 2002 г. Для 7 пунктов были получены поправки в координаты, превышающие допустимые значения. Эти пункты признаны изменившими свое положение и переведены в категорию определяемых. Максимальные СКП определения плановых координат пунктов КСГС Москвы 2008 г. в СК–63 составили: по оси X — 6,3 мм, по оси Y — 6,2 мм, что примерно в пять раз точнее результатов КСГС Москвы 2002 г. Эти данные свидетельствуют о том, что координаты исходных пунктов, полученные описанным выше методом, не искажают результатов высокоточных спутниковых определений. Повторные измерения КСГС Москвы в 2008 г. подтвердили возможность ее уравнивания как единого геодезического построения во всей зоне покрытия СНГО Москвы, при этом СКП определения координат не превышают 1 см. В каталоге координат СК–63 погрешности координат пунктов более 10 см не выявлены.

В 2009–2011 гг. проводились работы по сгущению геодезической основы СНГО Москвы на территории Московской области. Пункты геодезической основы СНГО Москвы установлены вдоль Малого Московского кольца, Ленинградского, Волоколамского, Минского, Киевского, Варшавского, Новорязанского, Щелковского, Ярославского и Дмитровского шоссе, а также вдоль основных автомобильных дорог на территории между МКАД и Малым Московским кольцом. Уравнивание спутниковой сети выполнено с опорой на пункты КСГС Москвы 2008 г., полученный каталог плановых координат использован для вывода единых параметров перехода из пространственной системы координат в МСК–50.

Высотной основой СНГО Москвы являются пункты нивелирных сетей II и III класса, в состав которых включены все пункты КГС. Она развивалась с опорой на пункты нивелирной сети I класса, обновление которой было выполнено ГУП «Мосгоргеотрест» в 2007–2008 гг.

Таким образом, в течение ряда лет в зоне покрытия СНГО Москвы создана современная и

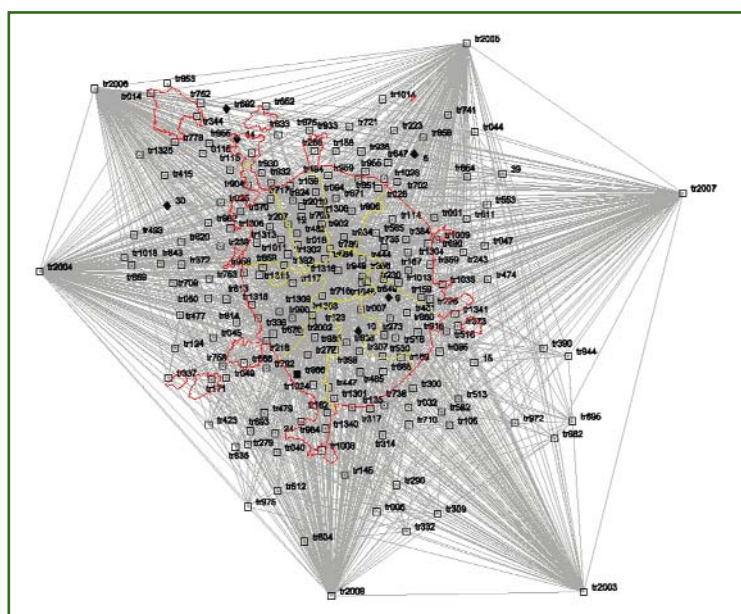


Рис. 2
Схема КСГС Москвы 2008 г.

точная геодезическая основа, позволяющая с требуемой точностью вычислить и надежно проконтролировать все данные, необходимые пользователям для эксплуатации сети дифференциальных базовых станций ГЛОНАСС/GPS.

▼ **Вывод параметров перехода и формирование моделей высот квазигеоида**

В соответствии с техническим заданием при выводе параметров перехода остаточные уклоны плановых координат в исходных точках не должны были превышать 10,0 см, а количество используемых пунктов — быть не менее 70. Для вывода параметров перехода использовано примерно 30% пунктов КГС, расположенных как в зоне распространения Московской системы координат (внутренний прямоугольник), так и в зоне распространения МСК–50 (внешний прямоугольник на рис. 3). Величины остаточных отклонений на исходных точках, приведенные в табл. 2, показывают, что для обеих местных систем координат получены весьма высокие и практически одинаковые показатели точности вывода параметров перехода.

На зону покрытия СНГО Москвы имелась модель высот квазигеоида с привязкой к международной пространственной системе координат, разработанная 29 НИИ МО РФ. Модель высот содержит 8946 узлов. Введение ПМСК привело к необходимости формирования моделей высот с привязкой к ПМСК. С этой целью с использованием данных созданной высотной основы были вычислены и введены поправки за разницу геодезических высот в ПМСК и в международной пространственной системе координат.

▼ **Оценка точности параметров перехода и моделей высот квазигеоида**

Оценка точности вычисления координат и высот с помощью

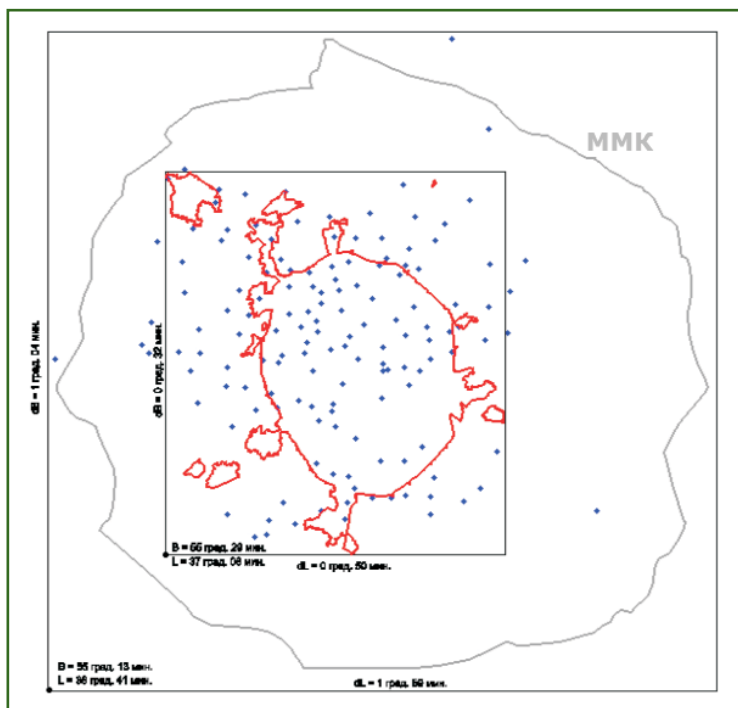


Рис. 3

Схема расположения пунктов КГС, использовавшихся для вывода параметров перехода

Величины остаточных уклонений при выводе параметров перехода

Таблица 2

Наименование местной системы координат	Максимальное отклонение, см	СКП по X, см	СКП по Y, см
Московская система координат	2,1	0,5	0,4
МСК–50	1,9	0,4	0,4

выведенных параметров перехода и модели высот квазигеоида выполнялась по контрольным пунктам в составе КГС, которые не использовались для их вывода. Контроль точности проведен по 55 пунктам в зоне Московской системы координат и 285 пунктам в зоне МСК–50. Схема расположения контрольных пунктов КГС приведена на рис. 4, а результаты оценки точности в табл. 3.

Как видно из табл. 3, СКП вычисления плановых координат в обеих местных системах не превышают 1 см, СКП вычисления нормальных высот в обеих системах отсчета высот не превышают 3 см. Ожидается, что СКП

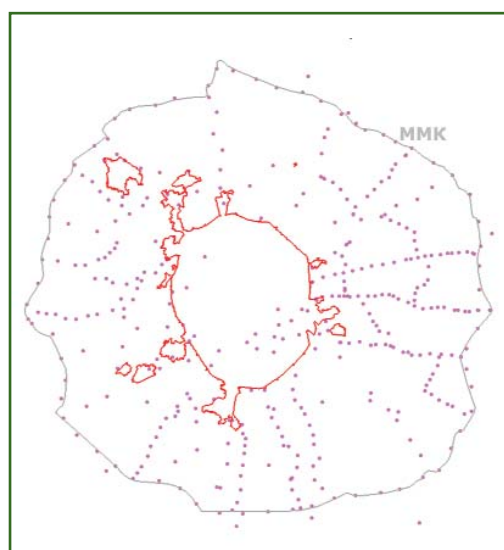


Рис. 4

Схема расположения контрольных пунктов КГС

Результаты оценки точности вычисления плановых координат и нормальных высот в зоне покрытия СНГО Москвы

Таблица 3

Наименование местной системы координат/высот	СКП/Максимальное отклонение, см		
	X	Y	H
Московская/Московская	0,4/1,3	0,2/0,7	2,6/7,9
МСК-50/Балтийская 1977 г.	0,5/1,5	0,7/0,7	2,6/8,3

определения плановых координат и нормальных высот относительно базовых станций СНГО Москвы в режиме реального времени в местных системах не будут превышать 2 см и 4 см, соответственно. Эти исследования будут выполнены на этапе опытной эксплуатации СНГО Москвы.

Опытная эксплуатация СНГО Москвы

В 2010 г. ГУП «Мосгоргеотрест» выполнил монтаж и пусконаладочные работы на 8 базовых станциях ГЛОНАСС/GPS и основного центра высокоточного позиционирования, которые составили первую очередь СНГО Москвы. Зоной покрытия первой очереди СНГО Москвы является территория городов Москвы и Зеленограда. 14 декабря 2010 г. Президент Российской Федерации Д.А. Медведев определил координаты грунтового репера «Сколково № 1» (рис. 5). Изготовление и закладка репера были выполнены ГУП «Мосгоргеотрест». Для измерений применялся комплект двухчастотной спутниковой геодезической системы ГЛО-



Рис. 5
Репер «Сколково № 1»



Рис. 6
Президент РФ Д.А. Медведев определяет координаты репера «Сколково № 1»

НАСС/GPS Leica SmartRover в режиме «кинематика в реальном времени» (RTK) относительно базовых станций СНГО Москвы. Необходимые пояснения давал управляющий ГУП «Мосгоргеотрест» А.В. Антипов (рис. 6).

В I квартале 2011 г. первая очередь СНГО Москвы введена в опытную эксплуатацию, доступ к ее ресурсам предоставляется всем заинтересованным организациям. Поддерживаются режимы: постобработки, реального времени (RTK) и DGPS. Передача корректирующей информации осуществляется через Интернет по протоколу NTRIP. Пользователям предоставляются все необходимые данные для вычисления плановых координат в местных системах (Московской и МСК-50) и нормальных высот в Московской и Балтийской системе отсчета высот. Проводятся работы по внесению первой очереди СНГО Москвы в Государ-

ственный реестр средств измерений. Порядок подключения к СНГО Москвы для участия в ее опытной эксплуатации приведен в Интернет на сайте <http://sngo.mggt.ru>. Развертывание СНГО Москвы в полном объеме предполагается завершить в 2011 г.

Список литературы

1. Постановление Правительства Москвы от 24.02.2010 г. № 162-ПП «О среднесрочной городской целевой программе работ по развитию единого геоинформационного пространства города Москвы на 2010–2011 годы».
2. Демьянов Г.В., Майоров А.Н., Побединский Г.Г. Местные системы координат, существующие проблемы и возможные пути их решения // Геопрофи. — 2009. — № 2. — С. 52–57.
3. Антипов А.В., Гаврилов С.Г. Совершенствование опорной геодезической сети Москвы // Геодезия и картография. — 2003. — № 9. — С. 5–13.
4. Антипов А.В., Гаврилов С.Г. Нормативно-техническое обеспечение работ по развитию ОГС Москвы // Геопрофи. — 2003. — № 4. — С. 44–50.
5. Постановление ЦК КПСС и Совета Министров СССР от 25 марта 1987 г. № 373–85.

RESUME

Key steps in creating a system for Moscow navigation and geodetic support based on the GLONASS/GPS satellite technologies (Moscow SNGO) as well as its accuracy assessment are given. Pilot operation of the system first stage is being carried out since the 1st quarter of 2011. Moscow SNGO will provide the data to all the interested users to calculate both the plane coordinates in the local systems and normal heights.