

# Проблема обеспечения единого координатного пространства для объектов дорожной отрасли

DOI: 10.17273/CADGIS.2015.1.10

Гулин В.Н., директор по технологиям ООО «ИндорСофт» (г. Томск)

Мионов С.А., старший научный сотрудник ФГБУ «Центр геодезии, картографии и ИПД» (г. Москва)

Неретин А.А., к.т.н., доцент кафедры геодезии и геоинформатики МАДИ (г. Москва)

*Рассматривается задача формирования единого координатного пространства для объектов Государственной компании «Российские автомобильные дороги». Предлагается создать ведомственную опорную геодезическую сеть (ВОГС), состоящей из 1) каркасной сети пунктов, предназначенной для привязки ВОГС к государственным системам координат и высот, и 2) сети рабочих реперов, предназначенной для сгущения пунктов каркасной сети в непосредственной близости от объектов дорожной отрасли. Рассматривается процесс создания ВОГС в виде четырёх этапов. Предлагаемое решение позволит: 1) применять ВОГС во всех видах дорожной деятельности; 2) сократить затраты на инженерные изыскания; 3) обеспечить совместимости данных, полученных в разных системах координат; 4) обеспечить возможности выполнения работ в различных системах координат (СК-42, СК-95, ГСК-2011, МСК регионов, локальных и т.п.); 5) обеспечить возможность целостного координатного описания информационных моделей объектов.*

## Государственные системы координат: текущее состояние дел

Задача обеспечения единого координатного пространства всегда являлась приоритетной для ведомств, ответственных за деятельность в области геодезии и картографии в масштабах государства. В советское время (с 1919 года) таким ведомством было Высшее геодезическое управление (ВГУ), в 1967 году преобразованное в Главное управление геодезии и картографии (ГУГК), а в 1992 году вновь преобразованное в Федеральную службу геодезии и картографии (Роскартография). С марта 2009 года функции Роскартографии переданы Федеральной службе государственной регистрации, кадастра и картографии (Росреестр).

Действительно, вся территория страны покрыта достаточно плотной сетью пунктов государственной геодезической сети (ГГС), обеспечивающих реализацию государственных плановых систем координат СК-42, СК-63, СК-95. Кроме того, имеется большое количество пунктов государственной нивелирной сети, обеспечивающих реализацию Балтийской системы высот 1977 года. Почему же вопрос обеспечения единого координатного пространства возникает вновь и вновь? Давайте разберёмся.

Во-первых, задача создания единой государственной системы координат всегда решалась инструментальными метода-



ми, доступными на определённый момент времени. Геодезические и нивелирные сети страны создавались и развивались с применением традиционных линейно-угловых измерений, геометрического нивелирования и т.п. Всем этим методам измерений присущи определённые ошибки, которые имеют свойство накапливаться при передаче координат на большие расстояния. Но это ещё не всё.

Во-вторых, территория страны огромна, причём она вытянута в направлении восток — запад. Чем же это плохо? С точки зрения государства и его жителей это совсем даже не плохо — большая страна с огромными ресурсами. А вот с точки зрения геодезии это создаёт определённые сложности.

---

...плотность имеющихся пунктов ФАГС, ВГС и СГС-1 недостаточна для высокоточной реализации системы ГСК-2011 в масштабах всей страны...

---

Дело в том, что поверхность Земли имеет сложную геометрическую форму, которую каким-то образом нужно преобразовать к математически правильной (описываемой строгими математическими формулами) поверхности относимости. В глобальном масштабе такой поверхностью является эллипсоид вращения, на котором основаны общеземные (геоцентрические) системы координат. Но для повседневной хозяйственной деятельности гораздо удобнее использовать плоские системы координат, привязанные не к абстрактной поверхности эллипсоида, а к реальной поверхности Земли, аппроксимируемой плоскостью. Для этого нужно каким-то образом «развернуть» (или трансформировать) реальную поверхность территории страны на плоскость, а это неминуемо сопряжено с определёнными искажениями геометрической формы объектов.

Все перечисленные ранее государственные системы координат (СК-42, СК-63, СК-95) являются плоскими. В качестве картографической проекции применяется проекция Гаусса-Крюгера, которая использует шестиградусные зоны, ориентированные с севера на юг. Другими словами, в плоскость разворачиваются участки поверхности эллипсоида, заключённые между двумя соседними меридианами, расположенными с интервалом 6 градусов. Линейные искажения в каждой зоне минимальны вдоль осевого меридиана, а вот чем ближе к краям зоны, тем больше искажения. А территория страны ориентирована как раз в направлении восток — запад, следовательно, таких переходов от зоны к зоне с максимальными искажениями у нас тоже много. Как уже отмечалось, на момент создания государственной системы координат СК-42 и её поэтапного развития в распоряжении геодезистов не было средств измерений, позволяющих

с высокой точностью передавать координаты на большие расстояния. Даже в результате выполненного уравнивания достигнутая точность взаимного положения пунктов ГГС на сегодняшний день может удовлетворять лишь некоторым приложениям. В частности, в [1] приводятся следующие показатели точности взаимного положения смежных пунктов ГГС:

- СК-42, СК-63 и МСК на основе СК-42 — 0,35 м между смежными пунктами триангуляции 1–2 классов;

- СК-95 и МСК на основе СК-95 — 0,1 м между смежными пунктами триангуляции 1–2 классов.

Не лучше обстоят дела и с пунктами государственной нивелирной сети (ГНС). Государственная нивелирная сеть в отсутствие регулярной гравиметрии достаточной плотности и частоты повторения характеризуется точностью определения нормальных высот квазигеоида 0,3 м [1].

С развитием спутниковых технологий геодезических измерений, в частности, геодезическим применением приёмной аппаратуры системы ГЛОНАСС, существующее положение дел с государственными системами координат и созданными на их основе местными системами координат регионов (МСК-NN) признаётся неудовлетворительным даже ведущими специалистами геодезической отрасли [2]:

«Система координат СК-42 в силу поэтапности её развития и технологии уравнивания результатов измерений с позиции современных требований имеет низкую точность, а погрешности координат пунктов ГГС, её реализующей, имеют неоднородное распределение на территории России. Даже в пределах одного административного района погрешности координат пунктов могут колебаться в пределах нескольких метров. Эти характеристики СК-42 и образованных на её основе СК-63 и МСК-NN не позволяют эффективно использовать ГЛОНАСС в системе геодезического обеспечения.»

Нельзя сказать, что государством ничего не делается для решения первоочередной задачи отрасли геодезии и картографии — создания единого координатного пространства на всей территории страны, удовлетворяющего современным требованиям к точности геодезического обеспечения хозяйственной деятельности. В соответствии с Постановлением Правительства РФ от 28 декабря 2012 г. № 1463 «О единых государственных системах координат» на территории РФ для выполнения геодезических и картографических работ вводится единая государственная геоцентрическая система координат ГСК-2011. В соответствии с этим постановлением действующие государственные системы координат СК-42 и СК-95 будут продолжать использоваться до 1 января 2017 года в части материалов, созданных на их основе. Физическую реализацию системы ГСК-2011 на поверхности земли обеспечивают пункты

фундаментальной астрономо-геодезической сети (ФАГС), высокоточной геодезической сети (ВГС) и спутниковой геодезической сети 1 класса (СГС-1). Однако говорить о полной готовности системы ГСК-2011 к повсеместному использованию пока не приходится. Дело в том, что плотность имеющихся пунктов ФАГС, ВГС и СГС-1 недостаточна для высокоточной реализации системы ГСК-2011 в масштабах всей страны, в процессе решения находится задача пересчёта координат различных типов объектов в ГСК-2011, до конца не решены вопросы учёта влияния геодинамических процессов на точность взаимного положения пунктов, закрепляющих систему ГСК-2011 на местности и т.д. Но важен тот факт, что, несмотря на существующие проблемы и ограничения, ГСК-2011 может уже сегодня официально использоваться для выполнения геодезических и картографических работ в Российской Федерации.

### Координатное обеспечение дорожной отрасли: текущее состояние дел

Вопрос координатного обеспечения встаёт практически на каждом этапе жизненного цикла объекта дорожной отрасли — в процессе инженерных изысканий под проектирование, собственно проектирования, строительства, последующей эксплуатации, ремонта или реконструкции и т.д. Использование государственной системы координат СК-42 или МСК региона не вызывает особых проблем до тех пор, пока речь идёт об объектах сравнительно небольшой протяжённости — до нескольких десятков километров. Действительно, хотя дороги и являются линейно-протяжёнными объектами, но они проектируются, строятся и эксплуатируются не как единое целое, а как совокупность участков, каждый из которых может быть без особых искажений представлен плоскими системами координат, каковыми являются СК-42, СК-95 или МСК региона. Проблемы начинают возникать, например, в том случае, если предпринимаются попытки привязки на местности проектов участков дорог протяжённостью в несколько сотен километров, когда проекция реальной поверхности Земли на плоскость приводит к серьёзным иска-

жениям действительности. Причём если объект ориентирован строго в направлении север — юг, то особых проблем, может, и удастся избежать благодаря тому, что линейные искажения картографической проекции Гаусса-Крюгера вдоль осевого меридиана в этом направлении минимальны (о чём уже говорилось выше). Если же объект ориентирован в направлении восток — запад, линейные искажения (нестыковки) на краях зон картографической проекции будут максимальны и могут достигать нескольких метров.

Ещё один аспект существующего положения дел с координатным обеспечением — закрепление пунктов планово-высотного обоснования (ПВО) на местности. Этот процесс повторяется несколько раз на протяжении жизненного цикла объекта. В процессе изысканий под проектирование определяются пункты съёмочного обоснования, которые привязываются к пунктам ГГС. После выполнения проектирования подрядная организация заново создаёт сеть пунктов ПВО на участке работ. По окончании строительства эти пункты, как правило, утрачиваются. В процессе эксплуатации объекта опять встаёт задача создания пунктов ПВО для обеспечения съёмочных работ, например, в целях проектирования ремонта участка дороги. И это может быть ещё не конец истории многократного повторения работ, которые уже выполнялись на этом участке, может, даже неоднократно. Не нужно объяснять, что всё это затраты, которых можно избежать при несколько ином подходе к организации работ.

### Единое координатное пространство объектов дорожной отрасли: зачем это нужно

Технологии не стоят на месте. Появляются новые средства измерений, например системы мобильного лазерного сканирования, которые позволяют перейти на совершенно новый уровень сбора детальной и высокоточной пространственной информации об объекте съёмки. Совершенствуются технологии высокоточных измерений с использованием приёмной аппаратуры сигналов спутниковых навигационных систем (ГЛОНАСС/GPS и т.п.). Всё более ши-

рокое применение в нашей стране находят системы автоматизированного управления дорожно-строительными машинами (САУ ДСМ). Все эти технологии открывают новые возможности для выполнения работ. В частности, они позволяют без потери точности иметь дело с объектами большого размера и большой протяжённости, а это накладывает определённые требования к наличию соответствующего опорного геодезического обоснования.

Особого внимания заслуживают стремительно развивающиеся информационные технологии, уже который год определяющие вектор развития многих направлений человеческой деятельности. На сегодняшний день, пожалуй, сложно найти специалиста в области САПР и ГИС, который не слышал что-либо о BIM-технологиях — информационном моделировании объекта на всех этапах его жизненного цикла [3-6]. Дорожная отрасль имеет дело с объектами протяжённой формы, порой слишком протяжённой... Если стоит задача создания, а главное — последующей эволюции информационной модели такого объекта, потребуется обеспечить единое координатное пространство на всём протяжении объекта. Что же это означает? Это означает, что необходимо обеспечить преемственность перехода на локальных участках в различные системы координат и обратно без потери целостности координатного описания объекта. Действительно, объект проектируется и строится частями, в разных системах координат, но это не должно быть препятствием для формирования его целостной информационной модели.

С проблемой обеспечения единого координатного пространства уже столкнулись наши коллеги в РЖД, особенно при проектировании, строительстве и эксплуатации участков высокоскоростного движения электропоездов, где предъявляются особые требования к точности монтажа рельсовых путей и поддержания их в рабочем состоянии. Более того, в РЖД активно внедряются технологии высокоточного мониторинга текущего положения подвижного состава с использованием приёмной аппаратуры системы ГЛОНАСС, применяются системы мобильного лазерного сканирования для моделирования текущего состояния



Рис. 1. Вариант расположения пунктов каркаса ВОГС ГК «Автодор»

рельсовых путей и придорожной инфраструктуры и т.п. В этом случае обойтись существующей сетью пунктов ГГС просто не представляется возможным. Решением стало создание и официальное оформление ведомственной высокоточной координатной системы (ВКС) [7]. В состав ВКС входят: сеть наземных спутниковых базовых станций дифференциальной коррекции спутниковых измерений, опорные геодезические сети, аппаратно-программные средства сбора, обработки и передачи информации. Многие из опыта наших коллег может быть взято на вооружение и в дорожной отрасли, хотя речь о полном копировании не идёт, поскольку спектр решаемых задач в одном и другом случае различается, и порой существенно.

До сих пор речь в данной статье шла о дорожной отрасли в целом. Действительно, озвученная проблематика актуальна для всей дорожной отрасли, и не только для неё одной. Однако далее мы постараемся предложить решение существующей проблемы на конкретном примере, и в качестве такого примера мы рассмотрим зону ответственности Государственной компании «Автодор». Важно понимать, что если удастся получить эффективное решение на определённой территории, его впоследствии можно успешно тиражировать в масштабах всей дорожной отрасли страны.

Государственная компания «Автодор» по праву является инновационным лидером дорожной отрасли, стараясь внедрять в производство наиболее передовые технологии. Применительно к теме данной статьи можно в качестве примера

упомануть о нескольких фактах. Так, в декабре 2012 года в ГК «Автодор» была запущена в промышленную эксплуатацию ГИС М-4 «Дон». Для инженерных изысканий под проектирование используются самые передовые технологии сбора пространственных данных — системы мобильного лазерного сканирования. В настоящее время по заказу ГК «Автодор» выполняются научно-исследовательские работы, касающиеся разработки рекомендаций по применению инновационных технологий информационного моделирования на всех этапах жизненного цикла автомобильных дорог. В связи с этим задача формирования единого координатного пространства на территории объектов госкомпании становится всё более актуальной. К этим объектам в настоящее время относятся автомагистрали: М-1 «Беларусь», М-3 «Украина», М-4 «Дон», М-11 Москва — Санкт-Петербург, ЦКАД МО (Центральная кольцевая автомобильная дорога Московской области).

Как уже было отмечено ранее, задачу обеспечения единого координатного пространства в масштабах территории объектов ГК «Автодор» с помощью существующих пунктов ГГС, определённых в системах СК-42, СК-95 или МСК регионов, решить на соответствующем уровне точности не представляется возможным, а имеющаяся на сегодня инфраструктура практической реализации государственной геоцентрической системы координат ГСК-2011 пока сделать этого не позволяет. Ниже предлагается видение авторов данной статьи по решению этой проблемы. Формат отдельной статьи не позволяет авторам привести подробное обоснование каждого аспекта предлагаемого решения с необходимой степенью детальности, однако дополнительные аргументы и материалы, лежащие в основе предлагаемых мероприятий, будут представлены в последующих публикациях в рамках обозначенной темы.

### Формирование единого координатного пространства для объектов ГК «Автодор»: предлагаемое решение

Задачу формирования единого координатного пространства для объектов ГК «Автодор» предлагается решать путём создания ведомственной опорной геодезической сети (далее ВОГС), состоящей из следующих элементов:

- Каркасной сети пунктов, предназначенной для привязки ВОГС к государственным системам координат и высот.
- Сети рабочих реперов, предназначенной для сгущения пунктов каркасной сети в непосредственной близости от объектов дорожной отрасли.

Процесс создания ВОГС предусматривает несколько этапов выполнения работ, как описано ниже:

**1 этап.** Закладка пунктов каркасной сети и рабочих реперов.

**2 этап.** Привязка пунктов каркасной сети к системам координат и высот.

**3 этап.** Привязка сети рабочих реперов к пунктам каркасной сети.

**4 этап.** Постановка ВОГС на государственный учёт в качестве ведомственной сети сгущения ГГС и ГНС.

### 1 этап. Закладка пунктов

На этом этапе закладываются пункты каркасной сети и рабочие реперы. Нарращивание ВОГС можно осуществлять постепенно, в зависимости от стоящих задач и доступного финансирования.

Каркасная сеть состоит из пунктов с взаимными расстояниями друг относительно друга порядка 200–300 км. Они предназначены для выполнения серии спутниковых наблюдений с целью привязки данных пунктов к общемировой и государственной системе координат и для дальнейшей передачи системы координат ВОГС на рабочие реперы сети. По завершении этих измерений пункты каркасной сети не планируются использовать в качестве постоянно действующих базовых станции дифференциальной коррекции спутниковых измерений, поскольку авторы не находят в этом обоснованной необходимости для текущей деятельности ГК «Автодор». Тем не менее эти пункты могут быть легко модернизированы для выполнения функций постоянно действующих базовых станций в случае выявления такой целесообразности.

Пункты каркасной сети располагаются на крышах фундаментальных зданий с хорошим обзором неба. На крыше здания закладывается специальная марка, определяющая центр пункта каркасной сети. Должна быть обеспечена возможность принудительной установки спутниковой антенны в одно и то же положение относительно закреплённой марки пункта каркасной сети. Для закладки таких пунктов предпочтительно использование ведомственных зданий организаций дорожной отрасли (филиалы ГК «Автодор», ДЭП и т.п.). Пример геометрии расположения пунктов каркасной сети для объектов ГК «Автодор» представлен на рисунке 1.

Сеть рабочих реперов является сетью сгущения пунктов каркасной сети. Рабочие реперы используются в качестве опорных пунктов для выполнения инженерных изысканий, для создания плано-высотного обоснования конкретных участков строительных работ, а также для геодезической привязки любых видов работ в процессе строительства, эксплуатации, ремонта и реконструкции объекта дорожной отрасли.

Реперы предлагается закладывать в полосе отвода дорог попарно для формирования опорного базиса, расстояния между реперами в паре не должно превышать 800 м при условии соблюдения прямой видимости между реперами.

Расстояния между базами (парами реперов) не должно превышать 30 км. Наличие таких пар рабочих реперов позволит эффективно использовать для работ оптико-электронные приборы (электронные тахеометры, нивелиры), а также обеспечит дополнительный контроль точности выполненных построений ВОГС.

### 2 этап. Привязка пунктов каркаса к системам координат и высот

Для последующего официального использования пунктов ВОГС их необходимо привязать к государственным системам геодезических координат и высот. Под государственной системой координат подразумевается ГСК-2011, которая является единой государственной геодезической системой координат для осуществления геодезических и картографических работ. Однако с практической реализацией системы ГСК-2011 пока имеются определённые проблемы. Другими словами, процессу внедрения ГСК-2011 в повседневную практику ещё предстоит преодолеть некоторые этапы своего развития.

В связи с этим видится целесообразным, помимо ГСК-2011, также привязать пункты каркаса ВОГС к международной общеземной системе координат ITRF (International Terrestrial Reference Frame). Как отмечается в [2], по уровню точности и принципам ориентации в теле Земли система

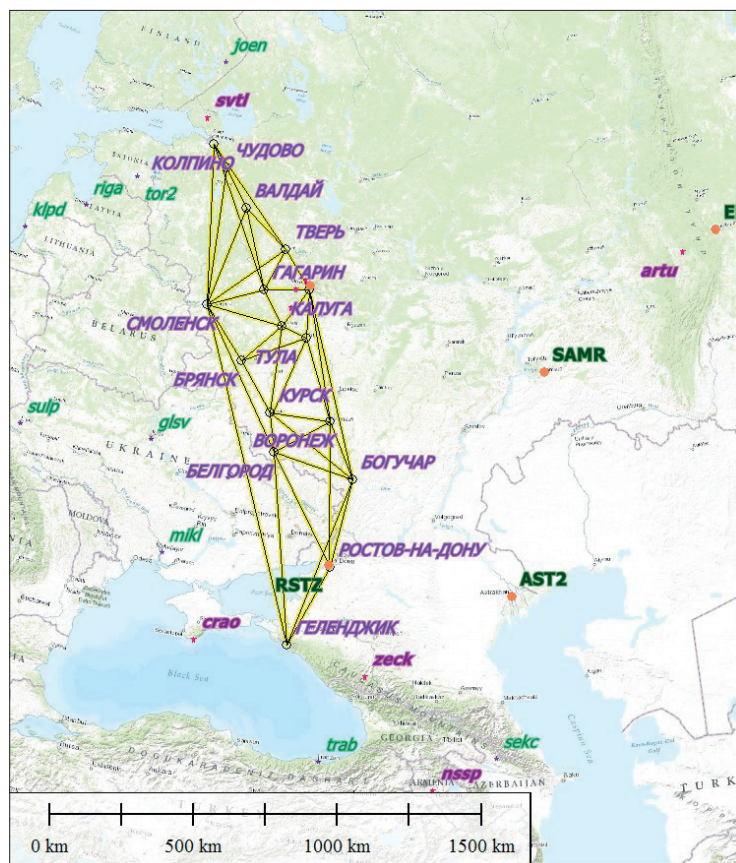


Рис. 2. Каркас сети ВОГС после независимого уравнивания.

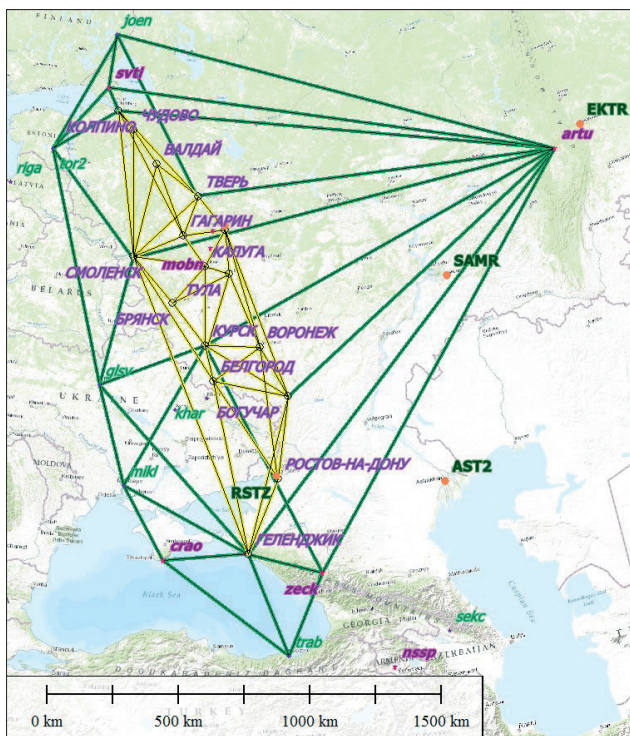


Рис. 3. Привязка каркаса ВОИС к пунктам IGS

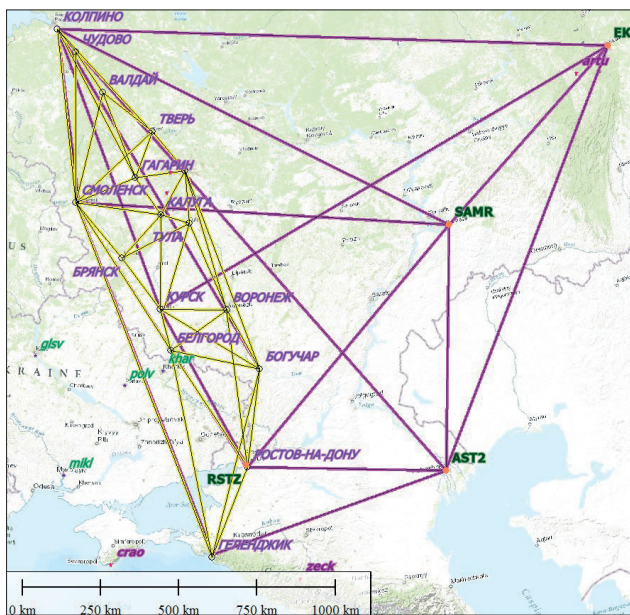


Рис. 4. Привязка каркаса ВОИС к пунктам ФГС

координат ГСК-2011 соответствует международной системе координат ITRF. Различия между ними состоят только в составе геодезических пунктов, реализующих данные системы координат, и скоростях изменения положения этих пунктов вследствие геодинамических процессов. Система координат ITRF реализована на земной поверхности многочисленными пунктами IGS (International GNSS Service), 17 из которых расположены на территории нашей страны (включая один пункт в Крыму).

На сегодняшний день система ITRF представляет собой наиболее точную реализацию общеземных систем координат — точность взаимного положения пунктов в системе ITRF достигает 1–3 мм! Ещё очень важный момент — спутниковое оборудование на всех пунктах IGS работает в круглосуточном режиме, а файлы измерений находятся в свободном доступе через сеть Интернет. Идея использования международной системы координат ITRF для геодезического обеспечения территорий РФ не нова, например, можно обратиться к документу [8].

Имеется несколько эпох реализации системы ITRF, наиболее новой является эпоха 2008 года (ITRF2008), к которой и предлагается осуществить привязку ВОИС ГК «Автодор». Важно отметить, что привязка к ITRF2008 осуществляется параллельно с привязкой к ГСК-2011 и не требует каких-либо особых дополнительных мероприятий, помимо специальной процедуры обработки данных. Однако такая установленная связь позволит обеспечить максимально возможный уровень точности собственной системы координат ВОИС ГК «Автодор» и гарантировать формирование единого координатного пространства объектов ГК «Автодор» независимо от степени реализации государственной системы координат ГСК-2011.

Помимо систем координат ITRF2008 и ГСК-2011, также потребуется привязка ВОИС к Балтийской системе высот 1977 года (Б77). Система Б77 является системой нормальных высот. Нормальные высоты на равнинных территориях РФ с превышениями над уровнем моря до 1500 м отличаются от ортометрических высот в пределах первых миллиметров. В процессе спутниковых измерений непосредственно измеряются эллипсоидальные высоты. Следует отметить, что эллипсоидальные высоты пунктов международной геодинамической сети IGS определены с высочайшей абсолютной точностью в пределах 1 мм. Связь эллипсоидальной и ортометрической высот выражается простой формулой:

$$H = h - N,$$

где

$H$  — ортометрическая высота;

$h$  — эллипсоидальная высота (определяется из спутниковых измерений);

$N$  — высота геоида над эллипсоидом (вычисляется путём интерполяции модели геоида).

Мировая модель геоида EGM 2008 опубликована для открытого доступа в виде регулярной матрицы с шагом 2 угловых минуты. Таким образом, значения ортометрических высот на пунктах каркаса и рабочих реперах ВОИС можно напрямую получить из обработки спутниковых измерений при условии использования модели геоида EGM 2008. Более подробно специфику высотных определений с использовани-

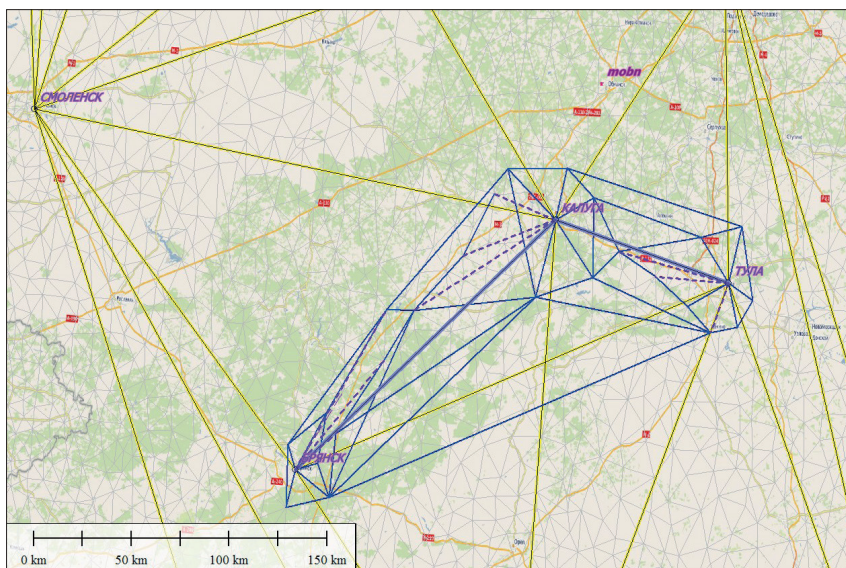


Рис. 5. Пример проекта привязки соседних пунктов каркаса к пунктам ГГС и ГНС

ем спутниковых методов измерений планируется осветить в отдельной публикации.

В целом в рамках второго этапа предлагается выполнить сеансы непрерывных наблюдений спутниковым оборудованием на пунктах каркасной сети ВОГС ГК «Автодор» продолжительностью не менее 5 суток.

В каждом таком сеансе непрерывных измерений должно участвовать не менее 4 пунктов каркаса ВОГС. Эти измерения будут использоваться для совместной обработки с файлами измерений, полученными с пунктов ФАГС (для привязки к ГСК-2011) и с пунктов IGS (для привязки к ITRF2008), а также с пунктов ГГС и ГНС, где необходимо организовать измерения параллельно с пунктами каркаса ВОГС, как описано ниже.

Каждый пункт каркаса ВОГС привязывается:

- к трём или более пунктам IGS пятисуточной серией наблюдений;
- к трём или более пунктам ФАГС пятисуточной серией наблюдений;
- к пяти пунктам ГГС, для чего на этих пунктах ГГС необходимо выполнить трёхчасовые сеансы спутниковых измерений в рамках пятисуточного интервала непрерывных измерений на соответствующем пункте каркаса ВОГС;
- к трём реперам ГНС, для чего на этих пунктах ГНС необходимо выполнить шестичасовые сеансы спутниковых измерений в рамках пятисуточного интервала непрерывных измерений

на соответствующем пункте каркаса ВОГС.

Обработка данных будет выполняться в несколько этапов. На первом этапе будет выполнено уравнивание каркасной сети ВОГС без привязки к внешним исходным пунктам для достижения максимальной точности каркаса. Особо следует обратить внимание на тот факт, что в случае применения технологий спутниковых измерений фактор «оптимальной геометрии» сети с точки зрения взаимного расположения определяемых и исходных пунктов не имеет такого значения, как в случае наземных измерений традиционными геодезическими методами [9].

На рисунке 2 показан пример конфигурации каркасной сети ВОГС после выполнения такого уравнивания при условии одновременных измерений на всех пунктах каркасной сети, однако это не обязательно — сеть можно наращивать поэтапно.

Следующим этапом будет привязка каркаса ВОГС к пунктам IGS, как показано на рисунке 3.

На выходе этого этапа будет обеспечена высокоточная привязка каркаса ВОГС к системе координат ITRF2008, а также к системе ортометрических высот на основе мировой модели геоида EGM 2008.

Для перехода в систему координат ГСК-2011 каркас ВОГС будет привязан к пунктам ФАГС, данные с которых находятся в открытом доступе (рис. 4).

Далее будет осуществлена привязка пунктов каркаса к ближайшим пунктам ГГС и высокоточным реперам сети ГНС. Привязка к пунктам ГГС потребуется для перехода в систему МСК региона в случае предоставления материалов в Росреестр для оформления кадастрового учёта. Привязка к высокоточным реперам ГНС требуется для привязки пунктов каркаса к Балтийской системе высот Б77.

Пример проекта привязки соседних пунктов каркаса к пунктам ГГС и ГНС представлен на рисунке 5, где сплошными синими линиями показаны вектора связи с пунктами ГГС, а синими пунктирными линиями — вектора связи с пунктами ГНС.

Для обработки данных должны использоваться специальные программные продукты типа GAMIT, Bernese, GIPSY и т.п., позволяющие достигать максимально возможной точности определения векторов между пунктами спутниковых наблюдений.

В результате выполненных измерений и последующей обработки данных планируется обеспечить следующие показатели точности положений пунктов каркаса ВОГС: в плане — 5 мм; по высоте — 10 мм.

### 3 этап. Привязка сети рабочих реперов к пунктам каркасной сети

В рамках третьего этапа предлагается выполнить спутниковые измерения на рабочих реперах (группе рабочих реперов) с целью передачи на них системы координат ГСК-2011 (ITRF2008) и высот от пунктов каркасной сети ВОГС:

- продолжительность сеанса спутниковых измерений должна быть не менее 6 часов;
- в каждом сеансе измерения участвует не менее 3 пунктов каркасной сети;
- обработка данных выполняется в специализированном ПО (GAMIT, Bernese, GIPSY и т.п.).

Пример привязки нескольких пар реперов (рабочих центров сети сгущения) к близлежащим пунктам каркаса показан на рисунке 6. Красными линиями показаны векторы от рабочих реперов к пунктам каркаса, жёлтыми линиями — векторы между пунктами каркаса.

Для более жёсткого контроля привязки пунктов ВОГС к Балтийской системе высот 1977 года рекоменду-

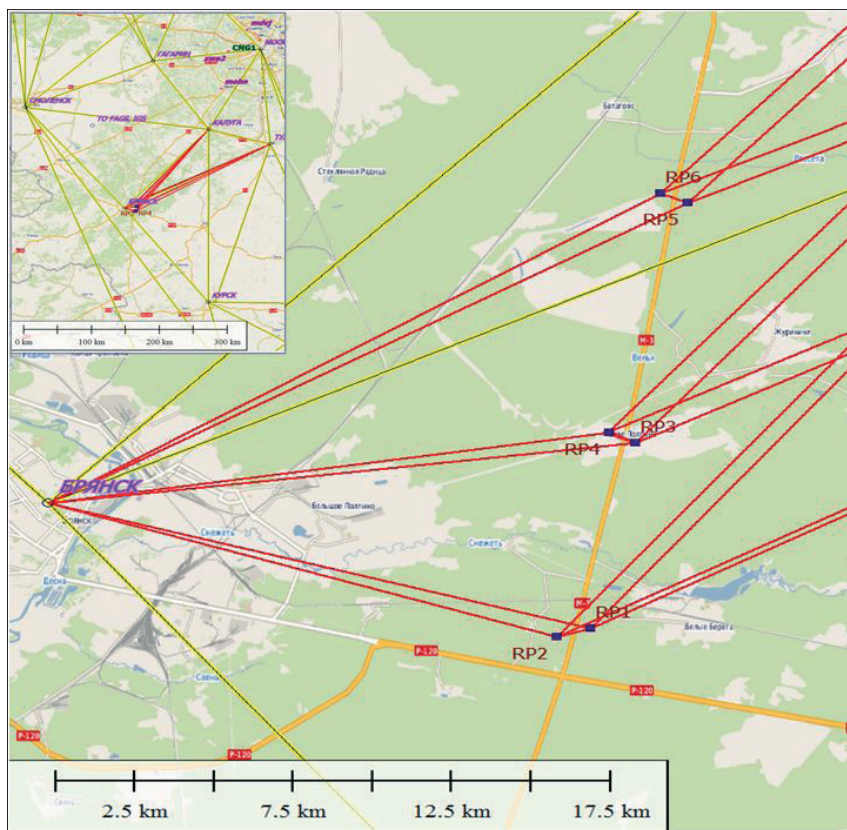


Рис. 6. Пример проекта привязки пар рабочих реперов к пунктам каркаса

ется осуществлять привязку рабочих реперов ВОГС к высотным реперам 1 класса ГНС в среднем через каждые 100 км вдоль объектов ГК «Автодор». Для этого предпочтительно выбирать высокоточные реперы ГНС в непосредственной близости от рабочих реперов ВОГС для выполнения нивелирования 1 класса.

В результате выполненных измерений и последующей обработки данных планируется обеспечить следующие показатели точности положения рабочих реперов ВОГС: в плане — 5 мм; по высоте — 10 мм.

#### 4 этап. Постановка ВОГС на государственный учёт в качестве ведомственной сети сгущения ГГС и ГНС

Этот этап необходим для возможности официального использования рабочих реперов ВОГС в качестве исходных пунктов для выполнения инженерных изысканий, проектирования, строительства и эксплуатации объектов ГК «Автодор». Как уже отмечалось ранее, постановку на учёт можно выполнять поэтапно. Процедуры государственной регистрации регламентируются соответствующи-

ми инструкциями Роскартографии (Росреестра) и другими нормативными актами.

#### Заключение

Предлагаемое решение задачи формирования единого координатного пространства объектов ГК «Автодор», по мнению авторов, должно способствовать достижению следующих результатов:

- Обеспечение достаточного числа носителей системы координат и высот наивысшей точности для поддержки как текущей деятельности ГК «Автодор», так и перспективных средств измерений, применяемых в проектировании, строительстве, эксплуатационном мониторинге и интеллектуальных транспортных системах.
- Обеспечение запаса точности в плане и по высоте для гарантии высокой производительности измерений при разумно-достаточном сочетании пунктов каркаса и рабочих реперов ВОГС ГК «Автодор».
- Сокращение материальных и временных затрат на инженерные изыскания, проектирование, строительство и эксплуатацию объектов ГК «Автодор».

- Обеспечение совместимости данных, полученных в разных системах координат.
- Обеспечение возможности выполнения работ в различных системах координат (СК-42, СК-95, МСК регионов, локальных и т.п.).
- Обеспечение возможности целостного координатного описания информационных моделей объектов ГК «Автодор».

#### Литература:

1. Основные положения о государственной геодезической сети Российской Федерации. ГКИНП (ГНТА)-01-006-03. Утверждены приказом Федеральной службы геодезии и картографии России от 17 июня 2003 г. №101-пр. М.: ЦНИИГАиК, 2004.
2. Современное состояние и направления развития геодезического обеспечения РФ. Системы координат / В.П. Горобец [и др.] // Геопрофи. 2013. №6. С. 4–9.
3. Скворцов А.В. ВИМ для дорожной отрасли: что-то новое или мы этим уже занимаемся? // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2014. №1(2). С. 8–11.
4. Попов В.А., Бойков В.Н. Об информационных моделях дорог в технической политике Госкомпании «Автодор» // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2014. № 2(3). С. 8–11.
5. Скворцов А.В. ВИМ автомобильных дорог: оценка зрелости технологии // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2014. № 2(3). С. 12–21.
6. Скворцов А.В., Сарычев Д.С. Жизненный цикл проектов автомобильных дорог в контексте информационного моделирования // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2015. №1(4). С. 4–14.
7. Гапанович В.А. О роли саморегулирования в инновационном развитии инфраструктуры железнодорожного транспорта // Саморегулирование и Бизнес. 2014. №10(54). С. 32–35.
8. Шендрик Н.К. О возможности применения системы координат ITRF для геодезического обеспечения Новосибирской области // ИНТЕРЭКСПО ГЕО-СИБИРЬ. 2012. Том 2. С. 205–209.
9. Миронов С.А. ГЛОНАСС/GPS — измерения на архипелаге Новая Земля // Геодезия и картография. 2013. №1. С. 2–7.