



# Городская геодезическая сеть Нижегородского города. Перспективы применения для градостроительной деятельности

С.В. Еруков<sup>1</sup>, П.А. Пермяков<sup>2</sup>, Г.Г. Побединский<sup>3,4</sup>✉

## АФФИЛИАЦИИ

<sup>1</sup> Верхневолжское аэрогеодезическое предприятие, Нижний Новгород, Россия

<sup>2</sup> Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, Нижний Новгород, Россия

<sup>3</sup> Российское общество геодезии, картографии и землеустройства, Москва, Россия

<sup>4</sup> Научно-производственное объединение геодезии и геодинамики, Нижний Новгород, Россия

✉ pobedinskij-gg@yandex.ru

## ЦИТИРОВАНИЕ

Еруков С.В., Пермяков П.А., Побединский Г.Г. Городская геодезическая сеть Нижегородского города. Перспективы применения для градостроительной деятельности // Пространственные данные: наука и технологии. 2023. Т. 14. № 3. С. 56–78. DOI:10.30533/scidata-2023-14-11.

## КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

геодезические системы координат, геодезические сети, городские геодезические работы, городская геодезическая сеть

## АННОТАЦИЯ

В статье проанализированы предложения об использовании местных систем координат субъектов РФ (МСК-NN) для обеспечения градостроительной и эксплуатационной деятельности, а также геодинимических исследований природных и техногенных явлений на территории города (карстоопасных и оползнеопасных территорий). Отмечена недостаточная точность МСК-NN и сделан вывод о необходимости развития специальных

городских геодезических сетей повышенной точности. Рассмотрена история создания городской геодезической сети г. Нижнего Новгорода и представлен опыт разработки проекта ее реконструкции, в котором выполнены определение границ территории функционирования геодезической сети, анализ точности геодезического обеспечения на территории города, расчет точности создания специальной геодезической сети для размещения дифференциальных геодезических станций, а также расчет точности геодезического обеспечения потребителей на территории города и связанных с ним территорий на основе новых технологических решений. Рассмотрен вариант связи пунктов городской геодезической сети г. Нижнего Новгорода с государственной геодезической сетью (постоянно действующими пунктами фундаментальной астрономо-геодезической сети) и выполнена оценка точности. Представленный вариант проекта реконструкции городской геодезической сети обеспечивает точность взаимного положения пунктов, удовлетворяющую требованиям геодинамических исследований карстоопасных и оползнеопасных территорий.

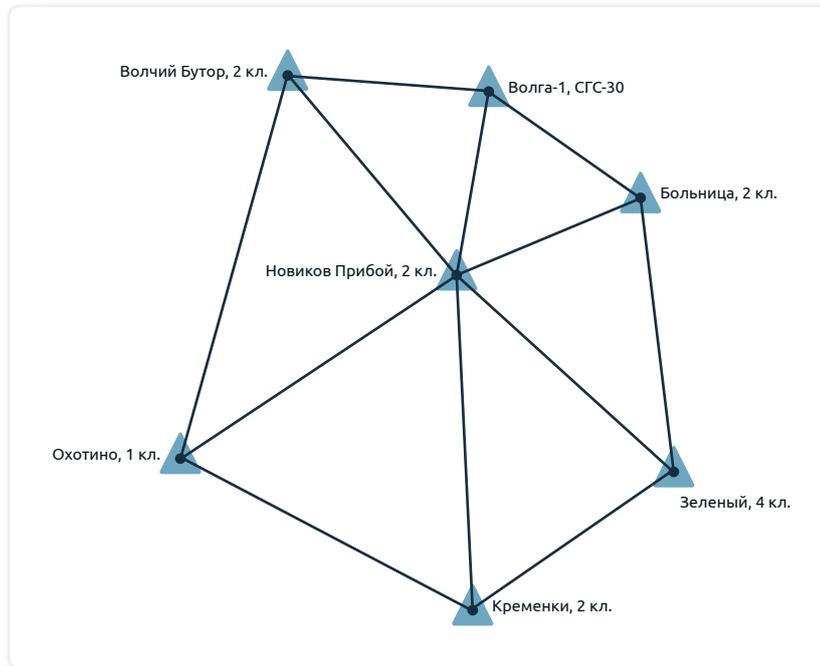
## 1 Введение

В 1929 году была создана городская триангуляция г. Нижнего Новгорода и определена местная система координат г. Нижнего Новгорода [1]. За прошедшее время сеть трижды реконструировалась и расширялась. По результатам работ 1982 года городская сеть включала 123 исходных пункта триангуляции 2–4-го классов, около 2500 пунктов полигонометрии 4-го класса, 1-го и 2-го разрядов. Кроме того, в городе существовала высокоточная геодезическая сеть метро-строя, не связанная с городской сетью.

В связи с недостаточным количеством исходных пунктов высших классов (только один пункт 1-го класса, остальные — 2-го) и в целях максимального совмещения спутниковой сети с городской триангуляцией на территории города Верхневолжским аэрогеодезическим предприятием (ВАГП) в 1996 году была построена высокоточная базисная часть каркасной сети, представляющая собой центральную систему из семи пунктов, опирающуюся на базис длиной 22 км (абсолютная разность традиционных и спутниковых наблюдений составила 12 мм). Длины сторон треугольников центральной системы составляли от 10 до 22 км, углы в треугольниках — не менее 40°. С помощью этого построения, совместившего наиболее точные пункты работ прошлых лет и охватившего всю прилегающую территорию города, сохранена местная система координат г. Нижнего Новгорода (**Рис. 1**) [1].

**Рис. 1** Схема спутниковой базисной каркасной сети г. Нижнего Новгорода.

**Fig. 1** Scheme of the satellite basic frame network of Nizhny Novgorod.



Вся каркасная геодезическая сеть, включающая 76 пунктов, была построена как сплошная сеть треугольников с углами не менее  $30^\circ$  и сторонами не менее 3000 м, **пункты которой по возможности совмещены с существующими пунктами городской триангуляции:**

- 2 пункта базисной каркасной сети г. Нижнего Новгорода;
- 6 пунктов государственной сети 1–3-го классов;
- 24 пункта городской триангуляции 2-го класса;
- 11 пунктов городской триангуляции 4-го класса;
- 10 пунктов ведомственных геодезических работ;
- 4 пункта смежных городских геодезических сетей;
- 3 пункта городской полигонометрии;
- 2 грунтовых репера II и III классов;
- 10 вновь заложенных пунктов (тип центра 160).

Следующим этапом было совместное уравнивание каркасной сети и сети городской полигонометрии в местной и государственной системах координат как линейно-углового построения с учетом весов измеренных величин старых и новых наблюдений. В 1997 году на базе ВАГП по адресу: ул. Ванеева, д. 205, был создан постоянно действующий спутниковый пункт, в дальнейшем — пункт «Нижний Новгород» фундаментальной астрономо-геодезической сети (ФАГС) [1].

Вопросы создания и эксплуатации дифференциальных геодезических станций достаточно широко рассмотрены в геодезической литературе [2–7]. В 2010 году на базе Нижегородской экспедиции филиала ВАГП по адресу: ул. Щербакова, д. 37Х, в рамках работ по созданию стационарных спутниковых дифференциальных геодезических станций на территории РФ был создан пункт «Нэкср». В 2012 году на базе нижегородского филиала Ростехинвентаризации — Федерального бюро технической инвентаризации по адресу: пер. Холодный, д. 10, была создана постоянно действующая дифференциальная геодезическая станция «N\_Novgorod». В настоящее время на территории города действуют четыре дифференциальные геодезические станции.

С учетом времени, прошедшего с момента последней реконструкции городской геодезической сети г. Нижнего Новгорода, развитие техники и технологии геодезических работ, изменение требований потребителей к точности и оперативности геодезического обеспечения на территории города встал вопрос о разработке проекта реконструкции городской геодезической сети.

Основной целью создания специальной геодезической сети является обеспечение выполнения геодезических работ повышенной точности при осуществлении градостроительной и кадастровой деятельности, землеустройства, недропользования, иной деятельности на территории г. Нижнего Новгорода. При этом для повышения оперативности выполнения геодезических работ необходимо предусмотреть создание городской геодезической сети в виде сети дифференциальных геодезических станций.

На территории г. Нижнего Новгорода имеет особое значение проблема карстовых и оползневых процессов. В 1999 году был введен в действие нормативный документ Нижегородской области, устанавливающий основные требования к проведению инженерных изысканий, проектированию, строительству и эксплуатации зданий и сооружений на закарстованных территориях Нижегородской области<sup>1</sup>. В работе «Проявления карста на территории Нижегородской области» [8] исследована динамика карстовых явлений в Нижегородской области за период 1997–2012 годов. В 2012 году с учетом изменившегося федерального законодательства и опыта применения ТСН 22-308-98 НН был утвержден новый нормативный документ<sup>2</sup>, в котором приведена карта карстовых (карстово-суффозионных) процессов территории Нижегородской области.

В докладе «Геодезические методы изучения динамики оползней на Окско-Волжском правобережье» [9] представлены развернутый обзор

1 ТСН 22-308-98 НН Инженерные изыскания, проектирование, строительство и эксплуатация зданий и сооружений на закарстованных территориях Нижегородской области. Утверждены и введены в действие постановлением губернатора Нижегородской области от 30 августа 1999 г. № 267. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200005508?ysclid=ls91bm0rj7276429497> (дата обращения: 15.08.2023).

2 Рекомендации по проведению инженерных изысканий, проектированию, строительству и эксплуатации зданий и сооружений на закарстованных территориях Нижегородской области. Утверждены директором Департамента градостроительного развития Нижегородской области 9 апреля 2012 г. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/465562526?ysclid=ls91eo5ewt618408656> (дата обращения: 15.08.2023).

и анализ истории изучения динамики оползней г. Нижнего Новгорода геодезическими методами. В работе «Методологическое обеспечение экологической безопасности строительства на урбанизированных территориях, подверженных воздействию оползневых процессов» [10] методом фрактального анализа смоделирована оползневая активность на предстоящие годы и представлена карта пространственного прогноза развития опасных геологических процессов в нагорной части г. Нижнего Новгорода. В дальнейшем эта проблема неоднократно рассматривалась на секции геодезии, картографии и геоинформатики Международного научно-промышленного форума «Великие реки»/ISEF в таких докладах, как «Морфометрический и гидрологический анализ цифровой модели рельефа как основа для выявления природных предпосылок развития опасных геологических процессов на территории Нижнего Новгорода» [11], «Современное состояние Окского склона на участке бывшей „Казанской“ железной дороги в г. Нижнем Новгороде» [12], «Геоинформационное моделирование уязвимости территории Нижнего Новгорода оползневыми процессами» [13], «Современная концепция мониторинга опасных геологических процессов на территории Нижегородского Кремля» [14] и ряде других.

Таким образом, максимальная точность работ, которые могут быть выполнены с применением дифференциальных геодезических станций на территории Нижнего Новгорода, обеспечивается геодинамическими исследованиями.

## 2 Материалы и методы

### 2.1 Требуемая точность, конфигурации сети и типы центров пунктов

Требуемая точность определения местоположения потребителями включает две составляющие, связанные соотношением:

1

$$m_p^2 = m_{ГГС}^2 + m_{ИЗМ}^2,$$

где  $m_p$  — точность определения местоположения потребителями,  $m_{ГГС}$  — точность взаимного положения пунктов городской геодезической сети,  $m_{ИЗМ}$  — точность определения местоположения потребителями относительно пунктов городской геодезической сети.

Проектируемая специальная геодезическая сеть г. Нижнего Новгорода (сеть дифференциальных геодезических станций) предназначена для решения следующих задач потребителей:

- геодинамические исследования (мониторинг карстовых и оползневых районов города), требуемая точность геодезических работ (скп) от 1–5<sup>3</sup> до 10 мм<sup>4</sup>;
- геодезическое обеспечение строительства, геодезический контроль сооружений, требуемая точность геодезических работ (скп) 5–10 мм<sup>5,6</sup>;
- кадастровые работы, требуемая точность геодезических работ (скп) — 10 см<sup>7</sup>;
- обеспечение топографической съемки масштаба 1 : 500, исполнительных съемок, требуемая точность геодезических работ (скп) 5–10 см<sup>8</sup>.

Для дальнейших расчетов максимальная точность работ, которые могут быть выполнены с применением дифференциальных геодезических станций, (скп) была принята 5 мм.

Исходя из таких высоких требований к точности выполнения геодезических работ были сформулированы требования к конфигурации сети и типам центров пунктов.

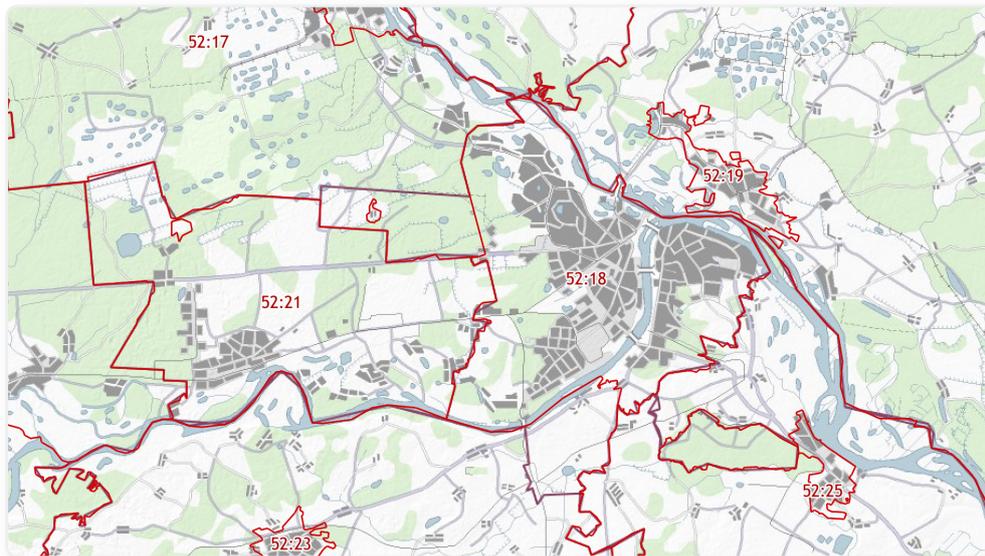
Точность спутниковой сети слабо зависит от схемы и геометрии, но для обеспечения необходимой точности работ потребителей на всей территории города желательна формирование сети дифференциальных геодезических станций в виде равномерной сети треугольников с учетом формы и размеров необходимой территории и рельефа местности. Треугольники в сети по возможности следует проектировать равноугольными, с углами от 20° до 160°. При проектировании необходимо учитывать и особенность алгоритмов программного обеспечения для расчета пространственной модели ошибок спутниковых измерений [5].

- 
- 3 ГОСТ Р 53607–2009. Глобальная навигационная спутниковая система. Методы и технологии выполнения геодезических и землеустроительных работ. Определение относительных координат по измерениям псевдодальностей. Основные положения. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200080737?ysclid=ls91fzxa4d204140189> (дата обращения: 15.08.2023).
  - 4 СТО Роскартография 3.3–2020. Геодезическая, топографическая и картографическая продукция. Процессы и методы спутниковых определений при выполнении геодезических работ в ГСК-2011. Основные требования. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://roscartography.ru/upload/dynamic/2022-04/21/87-18052020-o-standarte-organizaczii-18803f6.pdf?ysclid=ls91idz61o291839978> (дата обращения: 15.08.2023).
  - 5 СП 317.1325800.2017. Инженерно-геодезические изыскания для строительства. Общие правила производства работ. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/556610334?ysclid=ls91jn6xte408278538> (дата обращения: 15.08.2023).
  - 6 СП 126.13330.2017. Геодезические работы в строительстве. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/550965720?ysclid=ls91kplfbz549468724> (дата обращения: 15.08.2023).
  - 7 Приказ Росреестра от 23.10.2020 № П/0393 «Об утверждении требований к точности и методам определения координат характерных точек границ земельного участка, требований к точности и методам определения координат характерных точек контура здания, сооружения или объекта незавершенного строительства на земельном участке, а также требований к определению площади здания, сооружения, помещения, машино-места». [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202011170010?ysclid=lrp1kp2uws409037954> (дата обращения: 15.08.2023).
  - 8 Приказ Минэкономразвития России от 6 июня 2017 г. № 271 «Об утверждении требований к государственным топографическим картам и государственным топографическим планам, включая требования к составу сведений, отображаемых на них, к условным обозначениям указанных сведений, требования к точности государственных топографических карт и государственных топографических планов, к формату их представления в электронной форме, требований к содержанию топографических карт, в том числе рельефных карт». [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201707040044?ysclid=lrp1m7dl93514284856> (дата обращения: 15.08.2023).

Для определения конфигурации сети необходимо определить границы территории, которая будет обеспечена данными дифференциальных геодезических станций. С одной стороны, необходимо обеспечивать максимальной точностью застроенную территорию, но застроенная часть города гораздо меньше официальной границы города в соответствии с данными публичной кадастровой карты<sup>9</sup> (**Рис. 2**).

**Рис. 2** Границы Нижнего Новгорода по данным публичной кадастровой карты. 52:18 Нижний Новгород, 52:19 Бор, 52:21 Дзержинск, 52:25 Кстово.

**Fig. 2** Borders of Nizhny Novgorod according to the public cadastral map. 52:18 Nizhny Novgorod, 52:19 Bor, 52:21 Dzerzhinsk, 52:25 Kstovo.



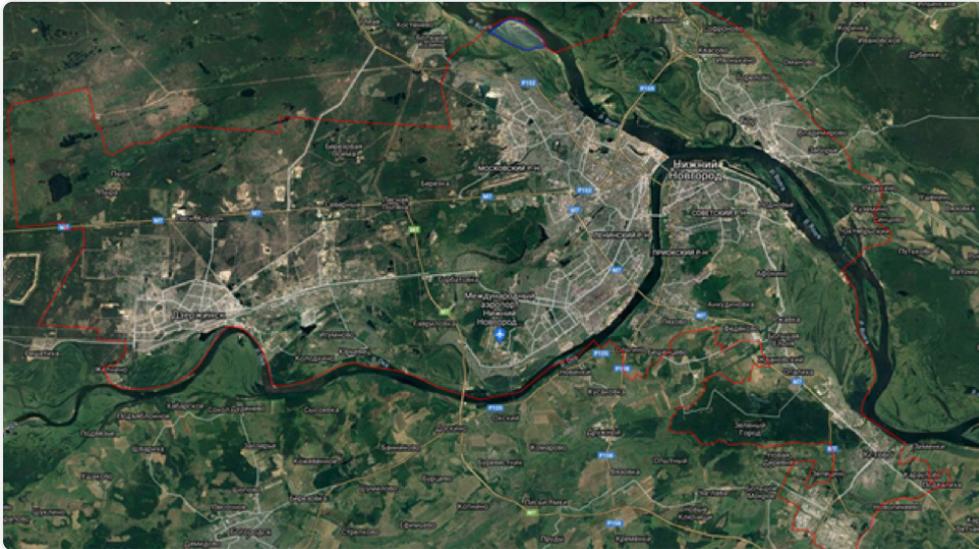
Исходя из рассмотренных данных о наличии зон карстовых и оползневых процессов граница территории, на которой могут быть востребованы геодезические работы с использованием сети дифференциальных геодезических станций, существенно расширяется.

Городами-спутниками Нижнего Новгорода являются Бор, Дзержинск и Кстово. Поэтому представляется целесообразным проектировать специальную геодезическую сеть Нижнего Новгорода (сеть дифференциальных геодезических станций) таким образом, чтобы были обеспечены высокоточные геодезические работы, в том числе на карстоопасных участках, четырех городов, а также на территории проектируемых низконапорной плотины и моста через реку Волгу. Границы проекта создания геодезической сети специального назначения представлены на **Рисунке 3**.

<sup>9</sup> Публичная кадастровая карта. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://pkk.rosreestr.ru/#/search/56.2869412509642,44.138069693620885/10/@4tlqe9szx> (дата обращения: 15.08.2023).

**Рис. 3** Граница проекта создания геодезической сети специального назначения.

**Fig. 3** The boundary of the project of creating a geodetic network for special purposes.



В заданных границах должна обеспечиваться точность геодезических работ (скп) 5 мм.

В технических характеристиках большинства современных спутниковых приемников точность определения планового и высотного положения определяется по формуле

2

$$m_{\text{ИЗМ}} = a + b \cdot L,$$

где  $m_{\text{ИЗМ}}$  — точность определения планового (высотного) положения, мм;  
 $a, b$  — паспортные характеристики точности приемников, мм;  
 $L$  — расстояние между опорным и определяемым спутниковым приемником, км.

В рассматриваемом примере использованы точностные параметры спутниковых приемников, аналогичных Sokkia GRX3. В соответствии с техническими характеристиками точность определения планового положения составляет (3мм + 0,4мм/км), точность определения высоты (геодезической) составляет (10мм + 0,8мм/км)<sup>10</sup>.

Используя эти характеристики, можно определить радиус действия одной дифференциальной геодезической станции по формуле

3

$$L = (m_{\text{ИЗМ}} - a) / b.$$

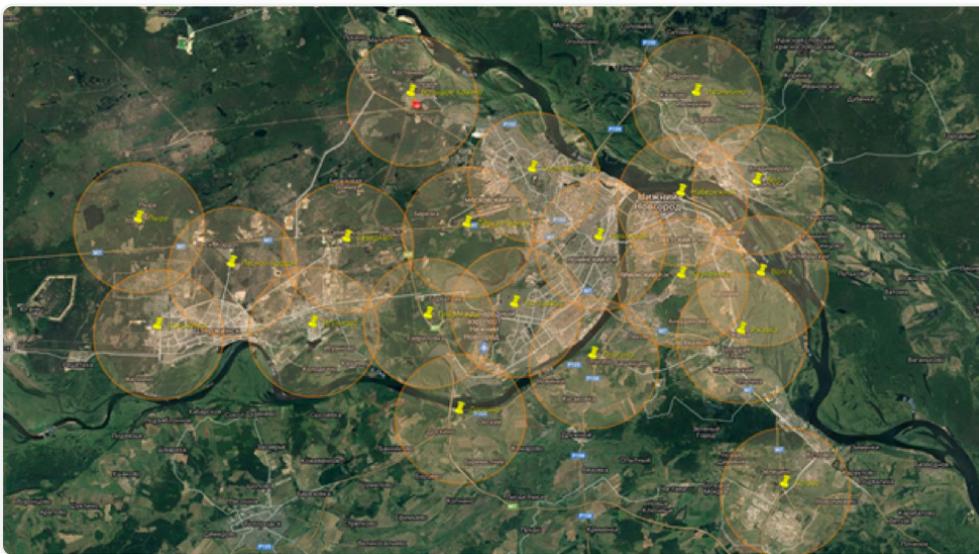
10 Приемники Sokkia GRX3 // Геоостройизыскания. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://www.gsi.ru/catalog/gnss/grx3\\_2\\_shc6000](https://www.gsi.ru/catalog/gnss/grx3_2_shc6000) (дата обращения: 15.08.2023).

Таким образом, для приемников равноточных Sokkia GRX3 и требуемой точности определения планового положения 5 мм радиус действия дифференциальной геодезической станции составит 5 км.

Исходя из рассчитанного минимального радиуса действия и границ территории можно определить предварительное размещение пунктов сети дифференциальных геодезических станций. Предварительная схема размещения пунктов сети дифференциальных геодезических станций представлена на **Рисунке 4**.

**Рис. 4** Предварительная схема размещения дифференциальных геодезических станций.

**Fig. 4** Preliminary layout of differential geodetic stations.



Исходя из требований к точности выполнения геодезических работ требования к конструкции и месту закладки пунктов специальной геодезической сети г. Нижнего Новгорода (сети дифференциальных геодезических станций) должны быть на уровне **требований к пунктам ФАГС<sup>11</sup>**:

- пункты сети дифференциальных геодезических станций с целью «вандалозащищенности» по возможности размещают на базе существующих зданий научных или производственных организаций;
- конструкция пунктов должна обеспечивать надежную связь с поверхностью земли, исключая влияние температурных деформаций, влияние ветровой нагрузки, их сохранность и устойчивость в плане и по высоте в течение длительного времени и др.;
- необходимо обеспечить отсутствие экранирующих антенны препятствий на углах наклона более 10°;

<sup>11</sup> ГОСТ Р 57374–2016. Глобальная навигационная спутниковая система. Методы и технологии выполнения геодезических работ. Пункты фундаментальной астрономо-геодезической сети (ФАГС). Технические условия. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200143240?ysclid=ls91mkgkuf846903658> (дата обращения: 15.08.2023).

- необходимо предусмотреть отсутствие активных помех на частотах, близких частотам спутниковых сигналов;
- обязательным условием является наличие технических средств связи (интернет по выделенной линии) для передачи измерительной информации.

## 2.2 Рекомендации по технологии выполнения работ

В специальной геодезической сети Нижнего Новгорода, включающей пункты, предназначенные для установки дифференциальных геодезических станций, пункты каркасной сети Нижнего Новгорода 1996 года, отдельные пункты городских сетей городов-спутников, должны быть выполнены независимые определения всех линий между ближайшими пунктами специальной геодезической сети.

Для создания одноранговой сети необходимо одновременно производить наблюдения на всех пунктах сети. При наличии ограниченного количества аппаратуры наблюдения на пунктах могут быть выполнены за определенное количество сеансов. Минимальное количество сеансов наблюдений  $N$  для сети с количеством пунктов  $S$  при использовании  $R$  приемников при количестве повторных измерений и количестве совместно используемых приемников в предыдущем и последующем сеансах  $O$  определяется по формуле [2]

4

$$N = (S - O) / (R - O).$$

Так, для сети из 27 пунктов количество сеансов измерений, определенное по формуле (4), —  $N = 12$  сеансов при общем числе используемых приемников  $R = 6$  и количестве совместно используемых приемников в предыдущем и последующем сеансах  $O = 4$ . Время измерений на каждой линии определяется в зависимости от расстояния в соответствии с рекомендациями руководства<sup>12</sup>.

Сеть дифференциальных геодезических станций должна опираться на ближайшие пункты ФАГС «Нижний Новгород» (NNOV), «Москва (ЦНИИГАиК)» (CNG1), «Самара» (SAMR) и «Котлас» (KOTL)<sup>13,14</sup> (Рис. 5).

12 ГКИНП (ОНТА)-01-271-03. Руководство по созданию и реконструкции городских геодезических сетей с использованием спутниковых систем ГЛОНАСС/GPS. Утверждено приказом Федеральной службы геодезии и картографии России от 13 мая 2003 г. № 84-пр. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200037141?ysclid=ls91p9revn719793997> (дата обращения: 15.08.2023).

13 Карта пунктов ФАГС. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://rgs.cgkipd.ru/fags-map> (дата обращения: 15.08.2023).

14 ГОСТ Р 57374–2016. Глобальная навигационная спутниковая система. Методы и технологии выполнения геодезических работ. Пункты фундаментальной астрономо-геодезической сети (ФАГС). Технические условия. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200143240?ysclid=ls91mkgkuf846903658> (дата обращения: 15.08.2023).

При выполнении привязки пунктов специальной геодезической сети к пунктам ФАГС наблюдения на каждом пункте специальной геодезической сети следует выполнять в течение двух гринвичских суток аналогично программе наблюдений на пунктах государственных геодинамических полигонов (от 0:00 часов гринвичского часового пояса дня X до 0:00 часов гринвичского часового пояса дня X + 2).

Приказом Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии<sup>15</sup> установлены требования к оборудованию для функционирования создаваемой сети. **Для функционирования дифференциальной геодезической станции необходимо электронное устройство, оснащенное:**

- двухчастотной геодезической спутниковой аппаратурой;
- стандартом частоты и времени;
- аппаратурой для измерения метеорологических параметров;
- антенной.

**Антенна приемника при выполнении измерений должна удовлетворять следующим требованиям:**

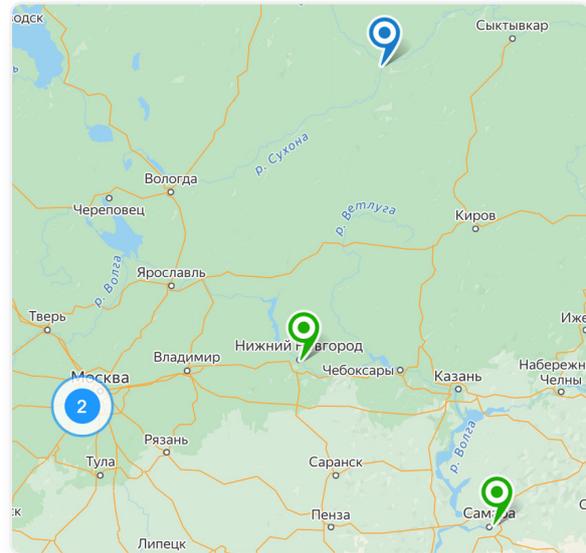
- быть откалиброванной и иметь все индивидуальные характеристики положений фазовых центров для всех регистрируемых частот;
- быть установленной в плоскости горизонта и ориентированной на север по имеющимся на ней маркерам.

Приказом также установлены следующие **требования к техническим и программным средствам:**

- возможность работы дифференциальной геодезической станции в сети станций с обеспечением удаленного контроля работы;
- обязательный прием и обработка сигналов GPS, Galileo, BeiDou;
- формирование и хранение файлов в формате RAW и общепринятом формате;

**Рис. 5** Ближайшие постоянно действующие пункты ФАГС.

**Fig. 5** The nearest permanent points of the FAGN.



<sup>15</sup> Приказ Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии от 2 октября 2020 г. № П/0322 «Об установлении требований к программным и техническим средствам, используемым при создании сетей дифференциальных геодезических станций». [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202011170001?ysclid=lrp1hbslsz895179915> (дата обращения: 15.08.2023).

- формирование корректирующей информации к измеренным значениям фаз несущих частот и иных параметров, вычисленных по известным значениям координат пункта и бортовым эфемеридам спутника;
- предоставление данных для реализации определения местоположения в апостериорном режиме с интервалом не реже чем один раз в 30 с.

**Программные средства должны обеспечивать:**

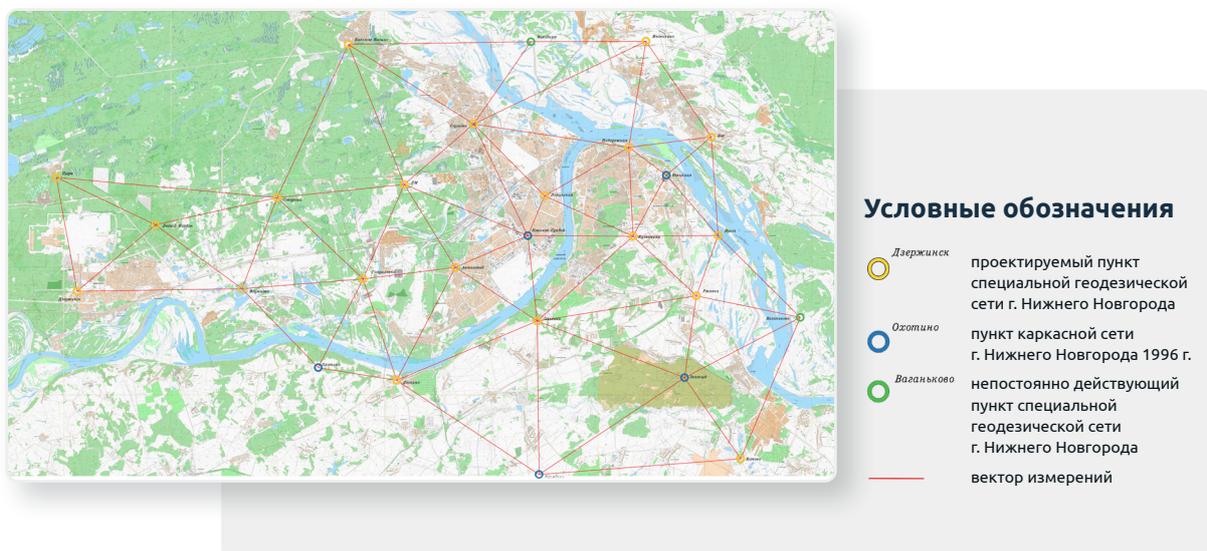
- сбор и хранение спутниковой информации в формате RINEX и предоставление данной информации потребителям;
- формирование и предоставление по каналам связи корректирующей информации в формате RTCM;
- контроль взаимного местоположения дифференциальных геодезических станций;
- работу сети с соблюдением требований о защите информации.

### 3 Результаты

Проект включает 27 пунктов, в том числе 5 пунктов каркасной сети Нижнего Новгорода 1996 года и 22 проектируемых. Проектируемые пункты «Ваганьково» и «Володиха» служат для обеспечения наилучшей геометрии сети и повышения ее точности. Эти пункты могут быть использованы в качестве периодически работающих дифференциальных геодезических станций для обеспечения территории проектируемых низконапорной плотины и моста через реку Волгу. Схема проектируемой геодезической сети специального назначения представлена на **Рисунке 6**.

**Рис. 6** Схема проектируемой геодезической сети специального назначения.

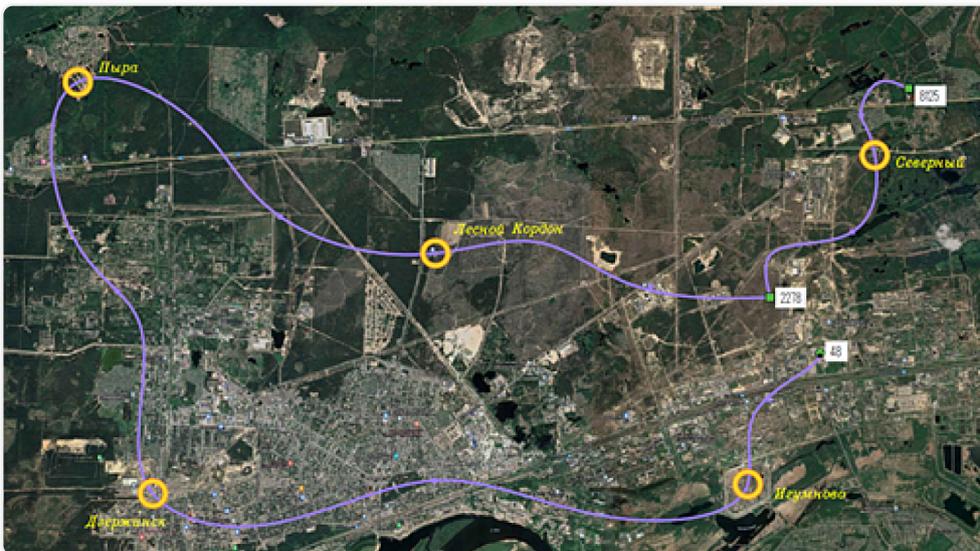
**Fig. 6** The scheme of the projected geodetic network of special purpose.



Высоты пунктов специальной геодезической сети определяются относительно реперов государственной нивелирной сети I и II класса. Привязка пунктов должна быть осуществлена по программе нивелирования 2-го класса аналогично требованиям к пунктам ВГС<sup>16</sup>. Фрагмент проектируемых нивелирных ходов II класса представлен на **Рисунке 7**.

**Рис. 7** Фрагмент проектируемых нивелирных ходов II класса.

**Fig. 7** Fragment of the projected leveling moves of class II.



## 4 Обсуждение

Точность определения координат пунктов относительно пунктов специальной геодезической сети определяется по формуле (1). Для геодинамического мониторинга, в соответствии со стандартом АО «Роскартография»<sup>17</sup>, количество исходных пунктов не должно быть меньше трех. Средняя квадратическая погрешность координат определяемого пункта рассчитывается по формуле (**Рис. 8**)

5

$$m_{xy}^2 = (m_{xy1}^2 + m_{xy2}^2 + m_{xy3}^2) / 3,$$

16 ГОСТ Р 57372–2016. Глобальная навигационная спутниковая система. Методы и технологии выполнения геодезических работ. Пункты высокоточной геодезической сети (ВГС). Технические условия. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200143238?ysclid=ls91s2l56e5047445> (дата обращения: 15.08.2023).

17 СТО Роскартография 3.3–2020. Геодезическая, топографическая и картографическая продукция. Процессы и методы спутниковых определений при выполнении геодезических работ в ГСК-2011. Основные требования. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://roscartography.ru/upload/dynamic/2022-04/21/87-18052020-o-standarte-organizaczi-18803f6f.pdf?ysclid=ls91tdje72159845231> (дата обращения: 15.08.2023).

где  $m_{xy1}$ ,  $m_{xy2}$ ,  $m_{xy3}$  — среднеквадратические ошибки определения координат определяемого пункта относительно трех пунктов специальной геодезической сети.

При заданной точности определения координат  $m_{xy} = 5$  мм и заданных точностных параметрах спутниковых приемников (3 мм + 0,4 мм/км) точность определения координат пунктов специальной геодезической сети (взаимного положения), определенная по формуле (6), равна 3,4 мм.

6

$$m_{исх}^2 = m_{ху}^2 - m_{изм}^2$$

Проектом создания специальной геодезической сети предусмотрено проведение определения координат пунктов специальной геодезической сети в государственной системе координат ГСК-2011 относительно четырех пунктов ФАГС (Рис. 9).

Средняя квадратическая погрешность определения координат пунктов специальной геодезической сети относительно пунктов ФАГС для стандартного сеанса наблюдений и стандартной программы обработки, входящей в комплект спутниковых приемников, определяется по формуле

7

$$m_{ху}^2 = (m_{исхКотл}^2 + m_{измКотл}^2 + m_{исхНН}^2 + m_{измНН}^2 + m_{исхСам}^2 + m_{измСам}^2 + m_{исхМоск}^2 + m_{измМоск}^2) / 4,$$

где  $m_{исхКотл}^2$  — средняя квадратическая погрешность исходных данных пункта ФАГС «Котлас»;

Рис. 8 Расчет точности определения координат определяемых пунктов относительно пунктов специальной геодезической сети.

Fig. 8 Calculation of the accuracy of determining the coordinates of the defined points relative to the points of a special geodetic network.

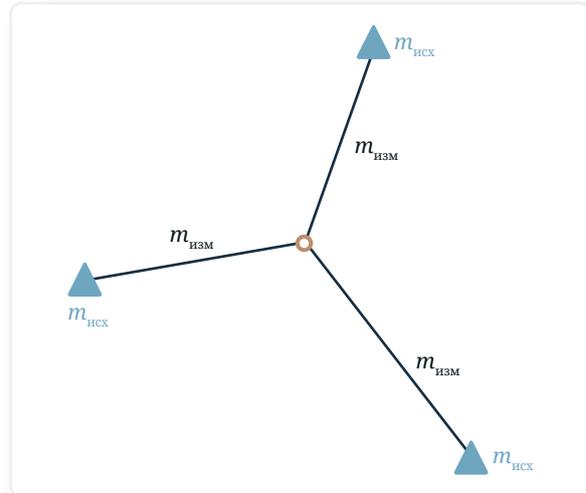
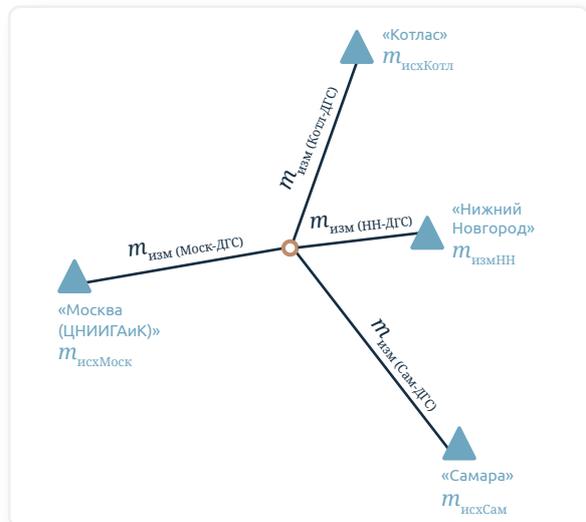


Рис. 9 Схема привязки пункта специальной геодезической сети к пунктам ФАГС.

Fig. 9 The scheme of linking the point of the special geodetic network to the points of the FAGN.



$m_{\text{измКотл}}^2$  — средняя квадратическая погрешность определения координат пункта специальной геодезической сети вектора относительно пункта ФАГС «Котлас».

Средние квадратические погрешности определения координат пунктов ФАГС представлены на сайте Федерального научно-технического центра геодезии, картографии и инфраструктуры пространственных данных в разделе «Список координат и скоростей их изменения для пунктов ФАГС»<sup>18</sup>:

- пункт «Москва» — 6,4 мм;
- пункт «Самара» — 3,1 мм;
- пункт «Нижний Новгород» — 1,7 мм.

Пункт «Котлас» не участвовал в первичном построении государственной системы координат ГСК-2011, средняя квадратическая погрешность определения координат пункта «Котлас» принята средней из смежных пунктов ФАГС: «Пулково», «Екатеринбург», «Нижний Новгород», «Москва» — 6,1 мм.

Технические характеристики приемников, установленных на пунктах ФАГС, представлены в разделе «Координаты пунктов ФАГС»<sup>19</sup>.

Расстояния между пунктами специальной геодезической сети и пунктами ФАГС составляют: до пункта «Москва» — 405 км, «Котлас» — 507 км, «Самара» — 250 км, «Нижний Новгород» — 18 км. Средняя квадратическая погрешность определения плановых координат пункта специальной геодезической сети относительно ближайших пунктов ФАГС равна 72,0 мм:

$$m_{\text{ху1}} = (m_{\text{исхМоск}}^2 + m_{\text{измМоск}}^2)^{1/2} = (6,4^2 + 3^2 + (0,1 \cdot 405)^2)^{1/2} = 41,1 \text{ мм};$$

$$m_{\text{ху2}} = (m_{\text{исхКотл}}^2 + m_{\text{измКотл}}^2)^{1/2} = (6,1^2 + 3^2 + (0,1 \cdot 570)^2)^{1/2} = 57,4 \text{ мм};$$

$$m_{\text{ху3}} = (m_{\text{исхСам}}^2 + m_{\text{измСам}}^2)^{1/2} = (3,1^2 + 3^2 + (0,5 \cdot 250)^2)^{1/2} = 125,1 \text{ мм};$$

$$m_{\text{ху4}} = (m_{\text{исхНН}}^2 + m_{\text{измНН}}^2)^{1/2} = (1,7^2 + 3^2 + (0,5 \cdot 18)^2)^{1/2} = 9,6 \text{ мм}.$$

Полученные значения не соответствуют требованиям к точности пунктов специальной геодезической сети (3,4 мм).

Для повышения точности взаимного положения пунктов специальной геодезической сети необходимо выполнить измерения на всех смежных пунктах сети, а также уравнивание сети с учетом имеющихся избыточных наблюдений.

Механизм привязки пунктов специальной геодезической сети к каркасной сети г. Нижнего Новгорода аналогичен механизму привязки пунктов ФАГС к международной сети ITRF при создании государственной геодезической системы координат ГСК-2011, который основан на широко используемом методе «мягкого согласования».

18 Список координат и скоростей их изменения для пунктов. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://cgkipd.ru/opendata/fags/> (дата обращения: 15.08.2023).

19 Координаты пунктов. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://rgs-centre.ru/fags-coords> (дата обращения: 15.08.2023).

Данный метод предполагает, что на первом этапе сеть рассматривается как «свободная», т.е. пункты специальной геодезической сети, включая пункты каркасной сети г. Нижнего Новгорода 1996 года, не фиксируются жестко.

На втором этапе осуществляется трансформация (по Гельмерту) вычисленной «свободной» сети под условием минимума суммы квадратов отклонений, полученных по координатам пунктов каркасной сети г. Нижнего Новгорода, вошедших в состав специальной геодезической сети [2]. При уравнивании сети в качестве «свободной» в расчетах будет отсутствовать среднеквадратическая погрешность исходных данных, а точность взаимного положения пунктов специальной геодезической сети может быть определена по формуле

$$m_{xy}^2 = m_{изм}^2 / N,$$

где  $N$  — количество связей со смежными пунктами.

Исходя из проекта расположения пунктов, приведенного на **Рисунке 6**, точность определения взаимного положения пунктов специальной геодезической сети, объединенных в пять групп, представлена в **Таблице 1** и на **Рисунке 10**.

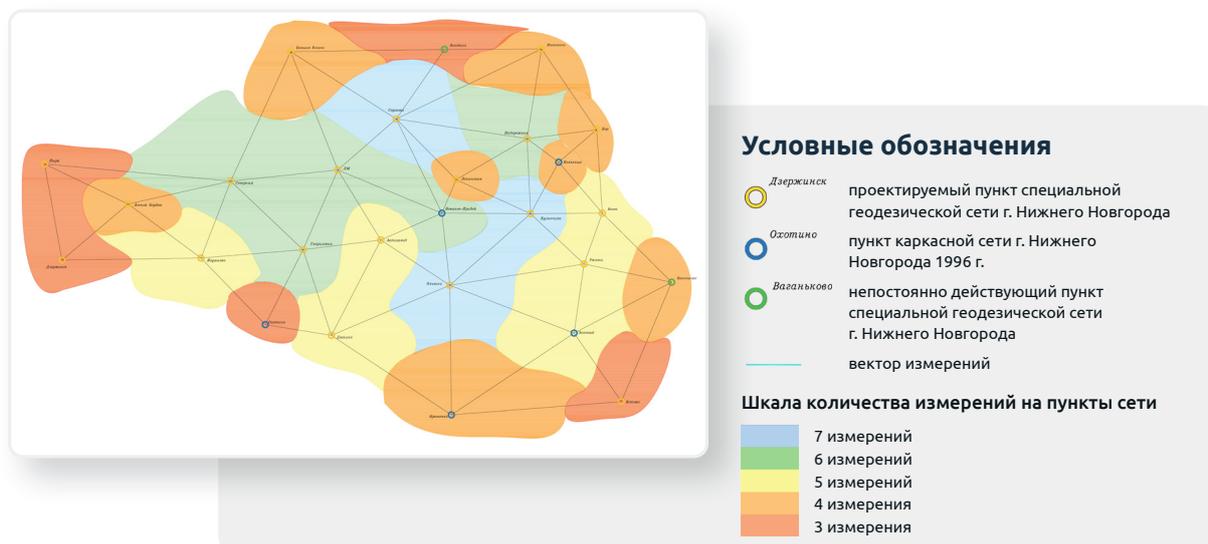
**Таблица 1** Точность определения взаимного положения пунктов специальной геодезической сети.

**Table 1** Accuracy of determining the relative position of points in a special geodetic network.

Количество связей со смежными пунктами	Средняя квадратическая погрешность, мм
3	5,1
4	4,7
5	4,4
6	4,5
7	4,6

**Рис. 10** Схема зонирования точности определения взаимного положения пунктов специальной геодезической сети.

**Fig. 10** The zoning scheme of the accuracy of determining the relative position of points of a special geodetic network.



## 5 Выводы

Проект специальной геодезической сети г. Нижнего Новгорода (сети дифференциальных геодезических станций) должен обеспечивать решение большого спектра задач.

**Границы проекта определялись с использованием следующих данных:**

- границы застроенной части г. Нижнего Новгорода;
- границы карстоопасных и оползнеопасных зон;
- наличие городов-спутников;
- наличие проектных данных по низконапорной плотине и мосту через р. Волгу.

На основании требований к точности выполняемых геодезических работ при геодинамических исследованиях и техническим характеристикам спутниковых приемников был вычислен радиус действия одной дифференциальной станции — 5 км. С использованием полученного значения радиуса были выбраны предварительные места размещения пунктов специальной геодезической сети. Для того, чтобы проектируемая сеть дифференциальных станций обеспечивала данными, представленными в государственной (ГСК-2011), городских (системы координат Нижнего Новгорода, Дзержинска, Бора и Кстова) и местной системах координат (МСК-52), проектом предусмотрена связь пунктов специальной геодезической сети с ближайшими пунктами ФАГС, пунктами каркасной сети Нижнего Новгорода 1996 года, а также с пунктами городских геодезических сетей Дзержинска, Бора и Кстова. С учетом зарубежного и отечественного опыта рекомендовано использовать два типа центров, которые также используются на пунктах ФАГС. Для нашей климатической зоны с сезонным промерзанием грунта предназначены тип центра 187 и тип центра, устанавливаемый на крыше здания.

При разработке проекта были учтены требования действующих нормативных документов по созданию специальных геодезических сетей, а также требования к программным и техническим средствам, применяемым при создании СДГС.

Средняя квадратическая погрешность определения плановых координат пунктов специальной геодезической сети относительно ближайших пунктов ФАГС в государственной системе координат ГСК-2011 составляет 72,0 мм и не соответствует требованиям к точности пунктов специальной геодезической сети (3,4 мм). Средняя квадратическая погрешность определения взаимного положения пунктов специальной геодезической сети составляет 4,7 мм, что практически соответствует требованиям к точности выполнения геодинамического мониторинга и полностью удовлетворяет требованиям инженерно-геодезических изысканий и кадастровых работ.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена в рамках плановой работы Верхневолжского аэрогеодезического предприятия, Нижегородского государственного архитектурно-строительного университета, Российского общества геодезии, картографии и землеустройства, Научно-производственного объединения геодезии и геодинамики.

## БИБЛИОГРАФИЯ

1. Генике А.А., Побединский Г.Г. Глобальные спутниковые системы определения местоположения и их применение в геодезии. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Картгеоцентр, 2004. 355 с.
2. Евстафьев О.В. Наземная инфраструктура ГНСС для точного позиционирования. М.: Проспект, 2009. 48 с.
3. Карпик А.П., Обиденко В.И., Косарев Н.С., Шендрик Н.К. Исследование однородности координатной основы ГСК-2011 при построении геодезической сети специального назначения // Геодезия и картография. 2021. Т. 82, №10. С. 2–12. DOI:10.22389/0016-7126-2021-976-10-2-12.
4. Побединский Г.Г., Пермьяков П.А. Нормативное регулирование создания и функционирования дифференциальных геодезических станций // Культура управления территорией: экономические и социальные аспекты, кадастр и геоинформатика: материалы 10-й региональной научно-практической конференции, Нижний Новгород, 1–31 декабря 2021 г. Нижний Новгород: ННГАСУ, 2022. С. 57–62.
5. Шендрик Н.К., Шитиков П.К. Опыт определения положения пунктов сети ПДБС Новосибирской области в ГСК-2011 // Геопрофи: научно-технический журнал по геодезии, картографии и навигации. 2018. №6. С. 46–49.
6. Национальный отчет для Международной ассоциации геодезии Международного геодезического и геофизического союза 2015–2018 / Под ред. В.П. Савиных, В.И. Кафтана // Geoinformatics Research Papers. 2019. Vol. 7. No. 1. DOI:0.2205/2019IUGG-RU-IAG.
7. Национальный доклад для Международной ассоциации геодезии Международного геодезического и геофизического союза 2019–2022 гг. / Под ред. В.П. Савиных, В.И. Кафтана // Исследования по геоинформатике: труды Геофизического центра РАН. 2023. Т. 11. №1. DOI:10.2205/2023IUGG-RU-IAG.
8. Яшнова Т.В. Проявления карста на территории Нижегородской области // Молодой ученый. 2014. №21(80). С. 62–65.
9. Кочетова Э.Ф. Геодезические методы изучения динамики оползней на Окско-Волжском правобережье // Великие реки' 2009: Труды конгресса 11-го Международного научно-промышленного форума, Нижний Новгород, 19–22 мая 2009 г. В 2 т. Т. 1. Н. Новгород: ННГАСУ, 2010. С. 271–277.
10. Копосов Е.В. Методологическое обеспечение экологической безопасности строительства на урбанизированных территориях, подверженных воздействию оползневых процессов // Вестник МГСУ. 2012. №3. С. 138–144. DOI:10.22227/1997-0935.2012.3.138-144.

11. Горева А.Э., Никольский Е.К. Морфометрический и гидрологический анализ цифровой модели рельефа как основа для выявления природных предпосылок развития опасных геологических процессов на территории Нижнего Новгорода // Великие реки' 2016: Труды научного конгресса 18-го Международного научно-промышленного форума. Нижний Новгород, 17–20 мая 2016 г. В 3 т. Т. 1. Н. Новгород: ННГАСУ, 2016. С. 377–381.
12. Осятушкин М.С., Зотов Д.И. Современное состояние Окского склона на участке бывшей «Казанской» железной дороги в г. Нижнем Новгороде // Великие реки' 2017: труды научного конгресса 19-го Международного научно-промышленного форума. В 3 т. Т. 1. Нижний Новгород, 16–19 мая 2017 г. Н. Новгород: ННГАСУ, 2017. С. 154–156.
13. Горева А.Э., Никольский Е.К. Геоинформационное моделирование уязвимости территории Нижнего Новгорода оползневыми процессами // Великие реки' 2017: Труды научного конгресса 19-го Международного научно-промышленного форума. Нижний Новгород, 16–19 мая 2017 г. В 3 т. Т. 1. Н. Новгород: ННГАСУ, 2017. С. 397–401.
14. Балякина О.И. Современная концепция мониторинга опасных геологических процессов на территории Нижегородского Кремля // Великие реки' 2019: Труды научного конгресса 21-го Международного научно-промышленного форума. В 3 т. Т. 1. Н. Новгород, 14–17 мая 2019 г. Н. Новгород: ННГАСУ, 2019. С. 79–81.

## **АВТОРЫ**

### **Еруков Сергей Валентинович**

АО «Верхневолжское аэрогеодезическое предприятие», Нижний Новгород, Россия

### **Пермяков Павел Александрович**

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет», Нижний Новгород, Россия

кафедра геоинформатики, геодезии и кадастра, факультет архитектуры и дизайна

### **Побединский Геннадий Германович**

МОО «Российское общество геодезии, картографии и землеустройства», Москва, Россия;

АО «Научно-производственное объединение геодезии и геодинамики», Нижний Новгород, Россия

канд. техн. наук

 0000-0002-9738-8165

Поступила 31.07.2023. Принята к публикации 23.10.2023. Опубликовано 30.10.2023.

UDC 528.4

DOI:10.30533/scidata-2023-14-11



# The city geodetic network of Nizhny Novgorod. Prospects of application for urban development

Sergei V. Erukov<sup>1</sup>, Pavel A. Permyakov<sup>2</sup>,  
Gennady G. Pobedinsky<sup>3,4</sup>✉

## AFFILIATIONS

<sup>1</sup> Verkhnevolzhskoye Air Surveying and Geodetic Enterprise, Nizhny Novgorod, Russia

<sup>2</sup> Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering,  
Nizhny Novgorod, Russia

<sup>3</sup> Russian society of geodesy, cartography and land management, Moscow, Russia

<sup>4</sup> Scientific and industrial Association of geodesy and geodynamics,  
Nizhny Novgorod, Russia

✉ pobedinskij-gg@yandex.ru

## CITATION

Erukov SV, Permyakov PA, Pobedinsky GG. The city geodetic network of Nizhny Novgorod. Prospects of application for urban development. *Spatial Data: science, research and technology*. 2023;14(3): 56–78. DOI: DOI:10.30533/scidata-2023-14-11.

## KEYWORDS

geodetic coordinate systems, geodetic networks, urban geodetic works, urban geodetic network

## ABSTRACT

The proposals on the use of local coordinate systems of the subjects of the Russian Federation to ensure urban planning and operational activities, as well as geodynamic studies of natural and man-made phenomena on the territory of the city (karst and landslide-prone territories) are analyzed. Insufficient accuracy of local coordinate systems of the subjects

of the Russian Federation is shown and a conclusion is made about the need to develop special urban geodetic networks of increased accuracy. The history of the creation of the Nizhny Novgorod city geodetic network is considered and the experience of the development of its reconstruction project is presented, in which the boundaries of the territory of the geodetic network functioning, the analysis of the accuracy of geodetic support in the city, the calculation of the accuracy of the creation of a special geodetic network for the placement of differential geodetic stations, as well as the calculation of the accuracy of geodetic support for consumers in the city and related territories based on new technological solutions. A variant of the connection of the points of the city geodetic network of Nizhny Novgorod with the state geodetic network (permanent points of the fundamental astronomical and geodetic network) is considered and an accuracy assessment is performed. The presented version of the urban geodetic network reconstruction project ensures the accuracy of the mutual position of points that meets the requirements of geodynamic studies of karst and landslide-prone territories.

## ACKNOWLEDGEMENTS

The work was carried out within the framework of the planned work of the Verkhnevolzhskoye Air Surveying and Geodetic Enterprise, the Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering, the Russian Society of Geodesy, Cartography and Land Management, the Scientific and industrial Association of geodesy and geodynamics.

## REFERENCES

1. Genike AA, Pobedinsky GG. *Global'nye sputnikovye sistemy opredeleniya mestopolozheniya i ikh primeneniye v geodezii* [Global satellite positioning systems and their application in geodesy]. 2nd ed. revised and expanded. Moscow: Kartgeocenter, 2004. 355 p. (In Russian).
2. Evstafyev OV. *Nazemnaya infrastruktura GNSS dlya tochnogo pozitsionirovaniya* [Ground-based global navigation satellite system infrastructure for precise positioning]. Moscow: Prospekt, 2009. 48 p. (In Russian).
3. Karpik AP, Obidenko VI, Kosarev NS, Shendrik NK. Studying the homogeneity of the coordinate base SSC-2011 at arranging a special-purpose geodetic network. *Geodesy and cartography*. 2021;82(10): 2–12. DOI:10.22389/0016-7126-2021-976-10-2-12.
4. Pobedinsky GG, Permyakov PA. Regulatory regulation of the creation and functioning of differential geodetic stations. *Culture of territory management: economic and social aspects, cadastre and geoinformatics: Proceedings of the 10th Regional Scientific and Practical Conference, Nizhny Novgorod, 1–31 December 2021*. Nizhny Novgorod: NNGASU, 2022. P. 57–62. (In Russian).
5. Shendrik NK, Shitikov PK. The experience of determining the position of the points of the network of the Novosibirsk region PDBS in GSK-2011. *Geoprofi: scientific and technical journal of geodesy, cartography and navigation*. 2018;6: 46–49. (In Russian).
6. National Report for the IAG of the IUGG 2015–2018. Savinikh VP and Kaftan VI (eds.) *Geoinformatics Research Papers*. 2019;7(1). (In Russian). DOI: 10.2205/2019IUGG-RU-IAG.

7. National Report for the IAG of the IUGG 2019–2022. Savinikh VP and Kaftan VI (eds.) *Geoinformatics Research Papers*. 2023;10(1). DOI: [10.2205/2023IUGG-RU-IAG](https://doi.org/10.2205/2023IUGG-RU-IAG).
8. Yashnova TV. Karst manifestations on the territory of the Nizhny Novgorod region. *Young scientist*. 2014;21(80): 62–65.
9. Kochetova EF. Geodezicheskie metody izucheniya dinamiki opolznei na Oksko-Volzhskom pravoberezh'e [Geodesic methods for studying the dynamics of landslides on the Oka–Volga right bank]. *Great Rivers' 2009: Proceedings of the Congress of the 11th International Scientific and Industrial Forum, Nizhny Novgorod, 19–22 May 2009*. In 2 vols. Vol. 1. Nizhny Novgorod: NNGASU. 2010. P. 271–277. (In Russian).
10. Kopusov EV. Metodologicheskoe obespechenie ekologicheskoi bezopasnosti stroitel'stva na urbanizirovannykh territoriyakh, podverzhennykh vozdeistviyu opolznevykh protsessov [Methodological support of ecological safety of construction in urbanized territories affected by landslide processes]. *Vestnik MGSU*. 2012;3: 138–144. (In Russian). DOI:[10.22227/1997-0935.2012.3.138-144](https://doi.org/10.22227/1997-0935.2012.3.138-144).
11. Goreva AE, Nikolsky EK. Morfometricheskii i gidrologicheskii analiz tsifrovoy modeli rel'efa kak osnova dlya vyyavleniya prirodnykh predposylok razvitiya opasnykh geologicheskikh protsessov na territorii Nizhnego Novgoroda [Morphometric and hydrological analysis of a digital relief model as a basis for identifying natural prerequisites for the development of dangerous geological processes in Nizhny Novgorod]. *Great Rivers' 2016: Proceedings of the Scientific Congress of the 18th International Scientific and Industrial Forum. Nizhny Novgorod, 17–20 May 2016*. In 3 vols. Vol. 1. Nizhny Novgorod: NNGASU, 2016. P. 377–381. (In Russian).
12. Osyatushkin MS, Zotov DI. Sovremennoe sostoyanie Okskogo sklona na uchastke byvshei «Kazanskoi» zheleznoi dorogi v g. Nizhnem Novgorode [The current state of the Oka slope on the site of the former “Kazan” railway in Nizhny Novgorod]. *Great Rivers' 2017: Proceedings of the Scientific Congress of the 19th International Scientific and Industrial Forum. Nizhny Novgorod, 16–19 May 2017*. In 3 vols. Vol. 1. Nizhny Novgorod: NNGASU, 2017. P. 154–156. (In Russian).
13. Goreva AE, Nikolsky EK. Geoinformatsionnoe modelirovanie uyazvimosti territorii Nizhnego Novgoroda opolznevyimi protsessami [Geoinformation modeling of vulnerability of the territory of Nizhny Novgorod by landslide processes]. *Great Rivers' 2017: Proceedings of the Scientific Congress of the 19th International Scientific and Industrial Forum. Nizhny Novgorod, 16–19 May 2017*. In 3 vols. Vol. 1. Nizhny Novgorod: NNGASU, 2017. P. 397–401. (In Russian).
14. Balyakina OI. Sovremennaya kontseptsiya monitoringa opasnykh geologicheskikh protsessov na territorii Nizhegorodskogo Kremlya [Modern concept of monitoring dangerous geological processes on the territory of the Nizhny Novgorod Kremlin]. *Great Rivers' 2019: Proceedings of the Scientific Congress of the 21st International Scientific and Industrial Forum. Nizhny Novgorod, 14–17 May 2019*. In 3 vols. Vol. 1. Nizhny Novgorod: NNGASU, 2019. P. 79–81. (In Russian).

## **AUTHORS**

### **Sergei V. Erukov**

Verkhnevolzhskoye Air Surveying and Geodetic Enterprise, Nizhny Novgorod, Russia

### **Pavel A. Permyakov**

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering, Nizhny Novgorod, Russia

Department of Geoinformatics, Geodesy and Cadastre, Faculty of Architecture and Design

### **Gennady G. Pobedinsky**

Russian society of geodesy, cartography and land management, Moscow, Russia;

Scientific and industrial Association of geodesy and geodynamics, Nizhny Novgorod, Russia

Ph.D. in Engineering

 0000-0002-9738-8165

**Submitted: July 31, 2023. Accepted: October 23, 2023. Published: October 30, 2023.**