КАРТОГРАФИЯ И ГЕОИНФОРМАТИКА

CARTOGRAPHY AND GEOINFORMATICS

УДК 528.3 https://doi.org/10.5281/zenodo.18029005

Охунов З.Д., Рузиев А.С.

Национальный университет Узбекистана, Ташкент, Узбекистан

РАЗВИТИЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ СЕТИ НА ОСНОВЕ ИНТЕГРАЦИИ СПУТНИКОВЫХ И ТРАДИЦИОННЫХ АСТРОНОМО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ПОСТРОЕНИЙ

Аннотация. *В данной работе изложены результаты исследований, направленных на разработку методики создания спутниковой геодезической сети 1-го класса (СГС-1) в сейсмически активной и густонаселенной Ферганской долине (Узбекистан) с интеграцией в глобальные системы координат (WGS-84, СК-42), нивелирования II класса для определения высотного положения вновь заложенных рабочих центров пунктов СГС-1 и нивелирных знаков и оценку точности сети. Приведены методики рекогносцировки и восстановления астрономо-геодезических пунктов, нивелирных знаков, закладки новых пунктов СГС-1, производство ГНСС-измерений, нивелирования II класса, а также результаты оценки точности выполненных исследований. Особое внимание уделено интеграции новых спутниковых геодезических сетей с существующими астрономо-геодезическими и нивелирными сетями. Так, с целью получения высот вновь заложенных центров пунктов СГС-1 и рабочих центров выполнено геометрическое нивелирования II класса в сочетании с тригонометрическим нивелированием. Результаты уравнивания и оценки точности, выполненной программой CREDO DAT, указывают на то, что полученные максимальные значения невязок в превышениях нивелирных и тригонометрических ходов соответствуют допускам инструктивно-нормативных документов. Данное исследование может служит моделью для аналогичных проектов в сейсмически активных и густонаселенных регионах.*

Ключевые слова: *спутниковая геодезическая сеть, система координат и высот, геодезические пункты, нивелирные знаки, нивелирование, ГНСС-измерения, уравнивание сети.*

Okhunov Z.D., Ruziev A.S.

National University of Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan

DEVELOPMENT OF A GEODETIC NETWORK BASED ON THE INTEGRATION OF SATELLITE AND TRADITIONAL ASTRONOMICAL-GEODETIC CONSTRUCTIONS

Abstract. *This paper presents the results of research aimed at developing a methodology for the creation of a 1st-class satellite geodetic network (SGN-1) in the seismically active and densely populated Fergana Valley (Uzbekistan) with integration into global coordinate systems (WGS-84, SK-42), 2nd-class leveling for determining the height position of the newly established working centers of the SGS-1 points and leveling marks, and an accuracy assessment of the network. The methodologies for reconnaissance and restoration of astronomical and geodetic points and leveling marks, establishment of new SGN-1 points, execution of GNSS measurements and 2nd-class leveling, as well as the results of the accuracy assessment of the performed research are provided. Particular attention is paid to the integration of new satellite geodetic networks with existing astronomical and geodetic and leveling networks. Thus, to obtain the heights of the newly established centers of the SGN-1 points and*

working centers, 2nd-class geometric leveling combined with trigonometric leveling was performed. The results of the adjustment and accuracy assessment, performed by the CREDO DAT software, indicate that the obtained maximum discrepancies in the elevation differences of the leveling and trigonometric traverses comply with the tolerances of the instructional and regulatory documents. This research can serve as a model for similar projects in seismically active and densely populated regions.
Key words: *satellite geodetic network, coordinate and height system, geodetic points, leveling marks, leveling, GNSS measurements, network adjustment*.

Введение и постановка проблемы. Бурное развитие современных, как наземных, так и спутниковых технологий в области геодезии позволяет принципиально по-новому создавать геодезические сети. При этом особую роль играет использование технологии ГНСС (глобальной навигационной спутниковой системы), которая является наиболее эффективным средством определения местоположения (позиционирования) точек и объектов.

В качестве объекта исследования выбрана Ферганская долина, характеризующаяся высокой плотностью населения, интенсивной сельскохозяйственной деятельностью и сейсмической активностью, что требует надлежащего геодезического обеспечения с достаточной точностью для решения кадастровых, градостроительных и экологических задач. Следует отметить, что традиционные астрономо-геодезические сети (АГС) данного региона, созданные в середине XX века, не отвечают современным требованиям, как в техническом, так и метрологическом аспекте. В связи с этим создание высокоточной геодезической инфраструктуры с использованием новых наземных и спутниковых технологий является важным этапом в развитии топографо-геодезического и кадастрового обеспечения региона как основа для модернизации геопространственных данных территории, обеспечивающая высокоточное определение координат и высот пунктов на территории долины.

Изученность проблемы. Изучение и анализ ранее выполненных топографо-геодезических работ на исследуемой территории показали, что в прошлые годы в регионе были произведены ряд геодезических работ по созданию и сгущению планово-высотной геодезической сети. Так, на исследуемой территории Среднеазиатским аэрогеодезическим предприятием (СредАзАГП) в период 1953-1956 годов на участке «Наманган» были определены положения пунктов государственной триангуляции 2 класса: 1 пункт с точностью ±0,7", 8 пунктов с точностью ±0,8" и 2 пункта государственной триангуляции 2 класса с точностью ±1,0". Предприятием №12 в период 1957-1968 годов на участках «Фергана», «Учкурган» были определены: 23 пункта 2 класса с точностью ±0,8"- ±1,0", 15 пунктов 3 класса с точностью ±1,0" - ±1,7". В период 1981-1984 годов на участке «Курама» были определены 2 пункта 3 класса, в период 1982-1985 годов на участке «Наманган» – 2 пункта 3 класса. Государственным институтом инженерно-технических изысканий (УзГИИТИ) в 1974 году на участке «Софикишлак р/ц ПДП» было определено положение одного пункта 4 класса с точностью ±1,8" [10].

В период 1992-1994 годов Узбекским Аэрогеодезическим предприятием (УзАГП) были проведены работы по определению высотного положения пунктов путем нивелирования I класса с средней квадратической ошибкой на 1 км хода $\pm$0,47мм на Ферганском исследовательском геодинамическом полигоне – 7 пунктов.

В период 2004, 2008-2009 годов на линиях «Коканд-Учкурган, Коканд-Андижан» были определены высотные положения пунктов государственной нивелирной сети I класса – 14 пунктов с средней квадратической ошибкой на 1 км хода $\pm$0,54 мм.

Обследование и восстановление пунктов АГС. В процессе обследования и рекогносцировки исследуемой территории были обнаружены сохранившиеся на местности исходные пункты триангуляции и выявлена их пригодность для выполнения

ГНСС-измерений. Выбраны и обоснованы геодезические связи между запроектированными пунктами и ближайшими пунктами АГС.

Выявленные пункты в вышеперечисленных работах послужили в качестве исходных данных при уравнивании сети СГС-1 в системе координат 1942 года (СК-42). Рекогносцировка мест размещения пунктов спутниковой геодезической сети СГС-1 и их рабочих центров, нивелирных знаков и сохранившихся исходных пунктов для планово-высотной привязки выполнена в соответствии требованиями [7].

Цель и задачи работы. Целью данного исследования является разработка комплексного подхода по созданию высокоточных спутниковых геодезических сетей на основе интеграции с существующими астрономо-геодезическими и нивелирными сетями для топографо-геодезического обеспечения территории Ферганской долины.

Данное исследование включает в себя изучение и анализ ранее выполненных работ по развитию геодезических сетей на объекте, рекогносцировку астрономо-геодезических пунктов, закладку геодезических знаков спутниковой сети, выполнение спутниковых измерений на пунктах, первичную обработку и уравнивание GPS-измерений, геометрического нивелирования II класса в сочетании с тригонометрическим нивелированием, а также оценка точности сети.

Материалы и методы. Основой для выполнения работы послужила «Государственная целевая программа по использованию спутниковых навигационных систем GPS (США) и ГЛОНАСС (Россия) для топографо-геодезического и кадастрового обеспечения территории Республики Узбекистан» и Технический проект «Создание спутниковой геодезической сети 1 класса (СГС-1) на территории Ферганской долины» [10].

СГС-1 представляет собой геодезическое построение со средними расстояниями между пунктами 20 и более км, состоящее из системы удобных и доступных для практического использования пунктов, которые связаны между собой через систему референцных геодезических пунктов (РГП) и спутниковой геодезической сети 0 класса (СГС-0).

Размещение пунктов СГС-1 осуществлено с учетом их равномерного распределения на территории объекта. СГС-1 интегрирована с существующей АГС, а также соединена с государственной нивелирной сетью I и II классов через совмещенные с пунктами АГС и нивелирными знаками.

Пункты СГС-1 закреплены на местности группой одинаковых по точности центров, состоящей из основного и двух рабочих центров. Основной центр является носителем координат СГС-1, а рабочие центры предназначены для контроля стабильности положения основного центра и могут быть использованы при выполнении геодезических работ. Взаимное расположение основного и рабочих центров обеспечивает возможность выполнения необходимых геодезических измерений. Измерения проводились в системах координат СК-42 и WGS-84, а также в Балтийской системе высот 1977 года.

Для достижения цели исследования и решения поставленных задач были использованы современные спутниковые методы и технологии геодезических измерений в сочетании с традиционными наземными методами. Предварительная обработка и уравнивание, оценка точности результатов геодезических измерений были произведены с помощью программных обеспечений Win prism v.2.10. и CREDO DAT.

Характеристика объекта исследования. Ферганская долина является одним из самых густонаселенных и экономически развитых регионов Центральной Азии. Территория Ферганской долины представляет собой межгорную котловину и расположена преимущественно на территории Узбекистана, а также частично охватывает Республики Кыргызстан и Таджикистан. Долина окружена с севера — Кураминским и Чаткальским, с юга — Туркестанским и Алайским, а с востока —

Ферганским хребтами. Протяженность долины с запада на восток составляет около 300 км, а ширина — до 170 км.

Почвы Ферганской долины представлены преимущественно орошаемыми сероземами, отличающимися высоким плодородием и способствующими развитию сельского хозяйства. Глубина промерзания грунта зимой достигает до 0,5 метра.

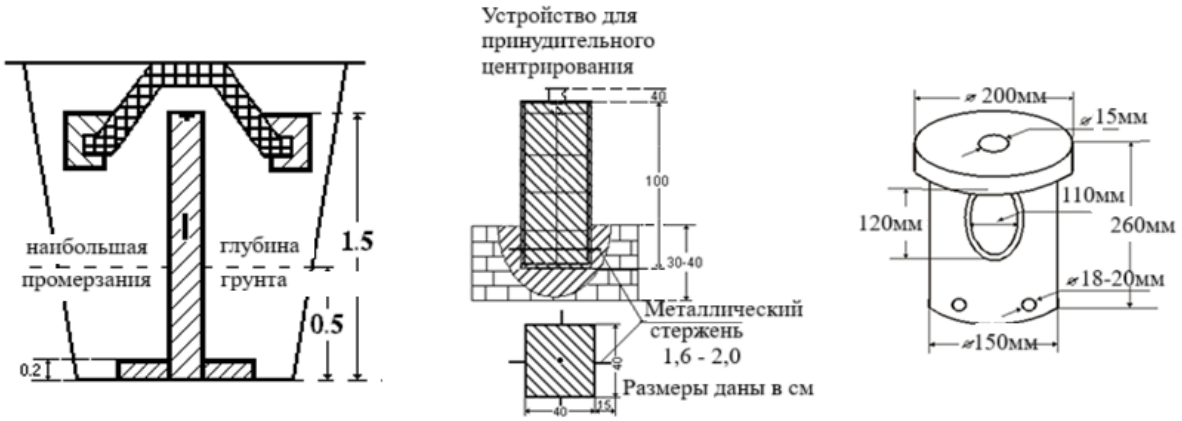
Ферганская долина находится в сейсмически активной зоне. Интенсивность землетрясений в регионе может достигать 8-9 баллов, что требует должного внимания при планировании и закладки пунктов геодезической сети.

Наиболее полные сведения о природно-географическом положении, рельефе, климате и гидрографии, а также данные об административно-территориальном расположении и дорожной сети исследуемого региона можно получить из следующих источников [11; 17; 18; 21].

Рекогносцировка и закладка пунктов СГС-1 и рабочих центров. На исследуемой территории установлены 28 пунктов СГС-1 (см. рис. 3) на крышах зданий в следующих населенных пунктах Ферганской долины: Пунган, Янгикурган (Фергана), Чартак, Хаккулабад, Учкурган, Балыкчи, Пахтаабад, Кургантепа, Ходжаабад, Мархамат, Шахрихан, Асака, Янгикурган (Наманган), Язъяван, Бешарык, Кувасай, Зафарабад, Яйпан, Коканд, Риштан, Чимион, Алтыарык, Кува, Чуст, Навбахор, Пап, Джумашуй, Касансай.

Основные пункты СГС-1 закреплены центрами типа 192 с устройством для принудительного центрирования, окрашены и снабжены охранными табличками. Рабочие центры установлены на расстоянии от 50 до 250 метров от основного центра с учетом их долговременной сохранности и закреплены на местности центрами типа 155. Изготовление центров и их внешнее оформление выполнено в соответствии с Правилами [6]. Всего установлено 56 рабочих центров.

Ниже приведены чертежи установленных типов центров (рис.1).



а) *б)* *в)*

Рис. 1. Типы центров:
а) рабочий центр типа 155 б) центр типа 192 в) Устройство для принудительного центрирования

Обследование и восстановление нивелирных знаков. С целью систематизации высотной геодезической основы и использования сохранившихся на местности нивелирных знаков на основании материалов работ прошлых лет в районе исследований были проведены их обследование и восстановление в соответствии с требованиями инструкции [4] и основных положений [5].

Обследование включало поиск нивелирных знаков на местности с использованием крупномасштабных карт, описаний и крок, бесед с местным

населением, а также использование приборов. Были установлены состояние их центров и внешнее оформление.

Из запланированных 48 было обследовано 66 нивелирных знаков: из них 35 грунтовых реперов, 13 стенных реперов, 15 стеновых марок и 3 фундаментальных репера. Восстановлено 50 нивелирных знаков: из них 25 грунтовых реперов, 10 стенных реперов, 12 стеновых марок и 3 фундаментальных репера.

Рекогносцировка и закладка центров нивелирных знаков. Рекогносцировка линий нивелирования II класса и мест закладки нивелирных знаков выполнена одновременно с обследованием нивелирных знаков работ прошлых лет. Работы по рекогносцировке выполнены в соответствии с требованиями раздела 5 Инструкции [3]. Выполненный объем по рекогносцировке линий нивелирования составил 460,0 км хода.

Нивелирные знаки заложены через 4-5км на участках, не обеспеченных нивелирной сетью I, II классов отдельными фрагментами для каждого пункта СГС-1. На объекте заложено 46 нивелирных знаков, с учетом обеспечения долговременной сохранности. Места расположения выбраны вблизи характерных контуров и ориентиров для быстрого отыскания их на местности.

Объем выполненных работ по закладке составил: грунтовых реперов – 35; горизонтальных марок – 2; стенных реперов – 9. Пункты закреплены на местности постоянными центрами типа: 143, 145, 160 опозновательный знак (рис.2), в соответствии с требованиями Правил и Инструкции [9; 3].

На рис. 2 приведены изображения типов центров нивелирных знаков.

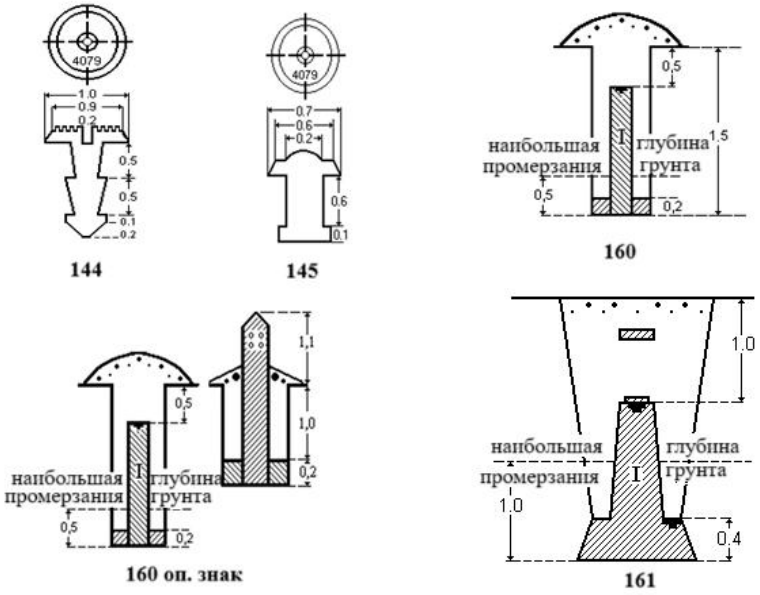


Рис. 2. Типы центров нивелирных знаков

Методика спутниковых геодезических измерений на пунктах СГС-1 и ГГС и используемые приборы. На исследуемом объекте все ГНСС-измерения выполнены в режиме статики 2-х частотными приемниками типа GS-10 (Leica), с использованием антенн типа Choke Ring AT-504, AT-504GG, ASH 701945-01 и геодезической антенны типа AS-10 с отслеживанием в автоматическом режиме всех видимых спутников по 16 независимым каналам и со следующими параметрами приемников: интервал записи данных – 30 сек; минимальный угол возвышения спутников над горизонтом – 10°; при числе спутников $n>4$, PDOP<4 и в соответствии с требованиями [7; 8]. Технические характеристики приборов, использованные в измерениях подробно описаны в [15].

Все ГНСС-приемники прошли метрологическую аттестацию и по результатам измерений контрольных линий на Ахангаранском эталонном базисе признаны

пригодными службой метрологии для выполнения измерений в спутниковых геодезических сетях всех классов.

Исходными для определения планово-высотного положения пунктов СГС-1 служили пункты РГП: MAGK и Фергана; СГС-0: Сасык-Джар и Андижан. Исходным пунктом из постоянно действующих для вычисления векторов и предварительного уравнивания РГП и пунктов СГС-0 использовался пункт KIT-3 (постоянно действующий пункт IGS (International GNSS Service), Китаб), среднее арифметическое значение координат которого вычислены за 62 дня (с 252 по 313 GPS дни) в системе WGS-84, выбранные из http://sopac.ucsd.edu/cgi-bin/dbDataBySite.cgi.

Наблюдения на основных пунктах сети СГС-1 и на исходных пунктах РГП, СГС-0 выполнены 14 сессиями с перерывами между сессиями в одни сутки и с продолжительностью каждой сессии в одни сутки с использованием антенн только типа Choke Ring.

ГНСС-измерения на пунктах СГС-1 и пунктах триангуляции ГГС выполнены двумя сессиями с продолжительностью каждой сессии не менее 4 часов с использованием антенн на основных пунктах типа Choke Ring, на пунктах астрономо-геодезической сети с помощью геодезической антенны типа AS-10.

Привязка рабочих центров к основным пунктам СГС-1 выполнена двумя сессиями с продолжительностью каждой сессии не менее 2 часов и с использованием антенн на основных пунктах – типа Choke Ring, на рабочих центрах – геодезической антенны типа AS-10. Продолжительность сеансов установлена в зависимости от длины измеряемых линий, количества одновременно наблюдаемых пунктов, типа приемников и точности измерений.

При выполнении ГНСС-измерений на пунктах РГП, СГС-0, СГС-1, пунктах триангуляции и на рабочих центрах СГС-1 через каждые 2 часа сняты с занесением в журнал установленного образца метеоданные (атмосферное давление, температура сухого и влажного воздуха), показания приемников (количество спутников и PDOP).

Следует отметить, что, вопросы построения геодезической основы и каркасной сети для аэросъемочных работ с использованием спутниковых измерений подробно освещены в работах [12; 19; 20].

Предварительная обработка и уравнивание ГНСС-измерений. Вычислительная обработка результатов спутниковых измерений, выполненных в геодезических сетях, включает в себя два этапа – предварительные вычисления и уравнивание сети. Предварительная обработка спутниковых измерений заключалась в получении векторных значений базисных линий между пунктами наблюдений сети и контроле их соответствия по точности установленным требованиям качества измерений.

Предварительная обработка и уравнивание совместных измерений в системе координат WGS-84 на пунктах СГС-1, СГС-0, РГП, пунктах триангуляции и на рабочих центрах выполнена с использованием программы Win prism v.2.10. Данная программа обеспечивает объединение всех основных задач по обработке результатов полевых измерений в единую информационную систему, включая обработку опорных GPS-векторов, уравнивание совместных измерений на пунктах РГП, СГС-0, ГГС и СГС-1, рабочих центрах, контроль качества данных, экспорт и импорт данных геодезической сети, создание отчетной документации, составление каталога координат пунктов спутниковой геодезической сети.

При вычислениях векторов использованы точные эфемериды GPS-спутников и сводная ведомость GPS-измерений, которая составлена согласно данным журналов GPS-измерений.

Оценка точности спутниковых наблюдений. Известно, что надёжным методом определения погрешностей в длинах базовых линий для геодезических сетей является использование программ замыкания фигур, где при вычислении невязок суммируют

компоненты векторов по замкнутому контуру. В каждой замкнутой фигуре невязки по приращениям координат w_X, w_Y, w_Z вычисляют следующим образом [1; 2]:

$$w_X = \sum_k \Delta X; \qquad w_Y = \sum_k \Delta Y; \qquad w_Z = \sum_k \Delta Z \tag{1}$$

где k – число сторон замкнутой фигуры.

Для замкнутой фигуры полную невязку w_s вычисляют по невязкам приращения координат:

$$w_s = \sqrt{w_X^2 + w_Y^2 + w_Z^2}. \tag{2}$$

Полученную величину w_s, согласно формуле (2), для каждой замкнутой фигуры (треугольника) сравнивают с предельным значением $w_{\text{доп}}$, которая вычисляется по формуле:

$$w_{\text{доп}} = \sqrt{\sum_k (\Delta_D^2 + \Delta_H^2)}, \tag{3}$$

где Δ_D, Δ_H – погрешности, взятые из паспорта приёмника или руководства по типу работ. При этом с вероятностью 95% должно выполняться следующее условие:

$$w_{\text{доп}} = \sqrt{\sum_k (\Delta_D^2 + \Delta_H^2)}, \tag{4}$$

Нивелирование II класса. Общий объем выполненных нивелирных работ на объекте составил 393,6 пог. км, из которых 344,5 нивелирование II класса; 46,2 в узловых линиях и контрольное нивелирование – 2,9 (грунт. реп. 4542 – раб. центр 8681). В качестве исходных использованы высоты нивелирных знаков, из ранее выполненных работ.

Нивелирование II класса выполнено в прямом и обратном направлениях при определении высотного положения вновь заложенных рабочих центров пунктов СГС-1 и нивелирных знаков. Порядок и последовательность наблюдений на станции соблюдены в соответствии с требованиями Инструкции [6].

В каждой секции нивелирование в прямом и обратном направлениях выполнено в разное время дня (примерно поровну на дневное и вечернее время) при благоприятных метеорологических условиях на спокойные или слегка колеблющиеся изображения реек.

Длина луча визирования, в основном, соблюдена и не превышала 70 м. На участках со значительными уклонами и при подходах к знакам длины лучей визирования уменьшались. Высота луча визирования над подстилающей поверхностью, в основном, выдержана согласно требованиям нормативных документов и составила не менее 0,5 м. Через одну станцию на высоте нивелира измерялась температура воздуха. Расстояние от нивелира до реек измерялось тонким стальным тросом. Неравенство расстояний от нивелира до реек на станции не превышало 1 м, а их накопление по секции не более 2 м. При перерывах в работе наблюдения заканчивали на постоянном знаке.

Рейки устанавливались отвесно по уровню на металлические костыли и удерживались подпорками. На каждой станции и секции выполнен контроль наблюдений, заключающийся в следующем:

- сравнение значений превышений из наблюдений по основным и дополнительным шкалам реек – расхождения не превышают 0,7 мм;

- сравнение значения превышений из прямого и обратного направлений, где расхождения не превышают допустимого $\pm 5\text{мм}\sqrt{L}$, при числе штативов на 1 км хода менее 15 и не более $\pm 6\text{мм}\sqrt{L}$, при числе штативов на 1 км хода более 15.

Связь новых ходов нивелирования II класса со старыми нивелирными ходами I класса осуществлена путем контрольного нивелирования по примыкающей стороне к исходному знаку секции существующего хода.

Предварительная обработка, уравнивание и оценка точности нивелирования. Проверка полевых журналов нивелирования II класса с составлением контрольных ведомостей выполнена в программе CREDO DAT. В измеренные превышения введены поправки за погрешность среднего метра пары реек, за различие температур при эталонировании и нивелировании.

По измеренным в нивелировании II класса превышениям в прямом и обратном ходах определены разности d и их накопления по линии. Ходы нивелирования II класса уравнены вставками между исходными реперами I класса.

В результате уравнивания получена невязка хода по формуле:

$$f_{h_{\text{пр}}} = \Sigma h - (H_к - H_н), \quad (5)$$

где Σh – сумма измеренных превышений; $H_к$, $H_н$ - высоты конечного и начального исходных нивелирных знаков.

Допустимая невязка нивелирного хода вычислена по формуле:

$$f_{h_{\text{доп}}} = \pm 5 \text{ мм } \sqrt{L}, \quad (6)$$

где L – длина хода в километрах.

Определение высот пунктов СГС-1 методом тригонометрического нивелирования. Высоты основных центров пунктов СГС-1 (верхняя плоскость устройства для принудительного центрирования), расположенных на зданиях, получены двусторонним тригонометрическим нивелированием с их рабочих центров. В качестве исходных взяты высоты рабочих центров, полученные из нивелирования II класса. При производстве тригонометрического нивелирования использован тахеометр Leica TS-02, технические характеристики которого приведены в источниках [14].

Результаты и их обсуждение. По результатам оценки точности, выполненной программой Win prism v.2.10, измеренные векторы в зависимости от их длины при привязке пунктов ГГС к сети СГС-1 получены с относительной погрешностью 1: 2 669 940 – 1: 3 208 883, а измеренные векторы при привязке рабочих центров к основным пунктам СГС-1 получены с относительной погрешностью 1: 20 956 – 1: 24 136, что соответствует допуску (4), приведенному в [7; 2]. Фрагмент уравненных координат пунктов СГС-1 и их рабочих центров в системе координат WGS-84 и в СК-42 года приведен в таблицах 1, 2 соответственно.

Таблица 1

Фрагмент каталога координат и высот пунктов СГС-1 и рабочих центров (Система координат WGS-84)

	Название пункта, № рабочего центра	Класс	Координаты		H, м (из GPS-измерений)
			B ° ‘ ″	L ° ‘ ″	
1	2	3	4	5	6
К-42-108					
1	Касансай	СГС-1	41 14 09,11985	71 32 53,88237	836,047
	2857		41 14 12,89100	71 32 56,27672	824,802
	5199		41 14 01,74281	71 32 56,02574	820,362
К-43-108					
2	Чартак	СГС-1	41 04 54,24428	71 48 06,18614	500,392
	8681		41 04 58,43592	71 48 05,53075	489,963
	2445		41 04 54,17636	71 48 10,07943	488,597
К-43-109					
3	Хаккулабад	СГС-1	40 54 22,45936	72 06 50,50429	400,088
	1816		40 54 25,31288	72 06 50,03871	384,744
	8315		40 54 22,29395	72 06 45,88216	385,071

Источник: Технический отчёт «СГС-1 на территории Ферганской долины» [10]

Таблица 2

Фрагмент каталога координат и высот пунктов СГС-1 и рабочих центров (Система координат 1942 года; Система высот Балтийская 1977 года)

№ №	Название пункта, № раб. Центра	Класс	Координаты, м		*H*, м
			x	*y*	
К-42-108					
1	Касансай	СГС-1	4 569 959,447	12 713 706,754	880,312*
	2857		4 570 077,436	12 713 759,105	869,033
	5199		4 569 733,305	12 713 763,351	864,634
К-43-108					
2	Чартак	СГС-1	4 553 493,515	12 735 506,268	547,612*
	8681		4 553 622,350	12 735 486,810	537,211
	2445		4 553 494,342	12 735 597,227	535,439
К-43-109					
3	Хаккулабад	СГС-1	4 534 227,787	13 256 881,201	448,502*
	1816		4 534 316,187	13 256 873,210	433,132
	8315		4 534 226,256	13 256 772,838	433,464

***448,502** высоты пунктов СГС-1 полученные из тригонометрического нивелирования
433,132 – высоты рабочих центров, полученные из нивелирования II класса

Источник: Технический отчёт «СГС-1 на территории Ферганской долины» [10]

По значениям координат WGS-84 всех пунктов СГС-1, часть которых приведена в таблице 1, составлена схема расположения пунктов СГС-1 (рис. 3).

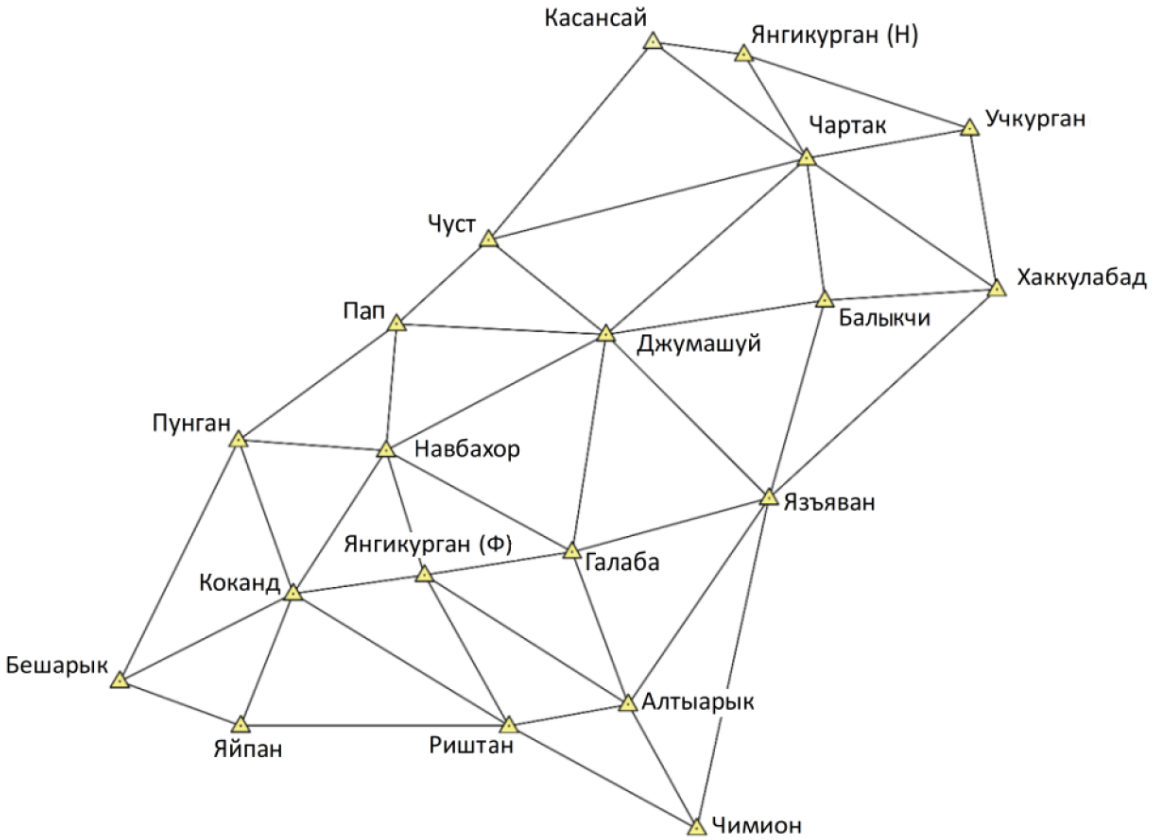


Рис. 3. Схема расположения пунктов СГС-1

Рисунок составлен авторами

По результатам нивелирования II класса в прямом и обратном направлениях получены средние значения превышений, по которым вычислены невязки в ходах. Образовавшиеся невязки по линиям распределены в превышения по секциям пропорционально числу штативов. Фрагменты характеристики качества нивелирования II класса приведены в таблице 3.

Таблица 3

Технические характеристики качества нивелирования II класса

№ п/п	Название участков (линии)	Длина, км	Число штати-вов	Расстояние между знака-ми, км	Невязка превышений прямого и обратного ходов, мм		Ср. кв. ошибка на 1 км хода, мм
					Полу-ченное	Допус-тимое	
1	Касансай (гор. марка 599 - грунт. реп. 4866)	5,0	42	3,4	-8,8	±11,2	±0,7
2	Учкурган (стен. реп. 21 - стен. марка 8322)	2,5	22	1,2	4,8	7,9	0,7
3	Пунган (грунт. реп. 4225 - стен. реп. 6167)	1,9	18	0,9	4,0	7,0	0,4
4	Язъяван (грунт. реп. 7163 – грунт. реп. 8687)	5,3	44	4,8	9,0	11,5	1,4
5	Пахтаабад (гор. марка 8943 – стен. реп. 6570)	9,1	76	7,2	-6,1	15,1	1,3
6	Хаккулабад (гор. марка 1023 – грунт. реп. 2391)	8,1	68	4,8	1,9	14,2	0,9

Источник: Технический отчёт «СГС-1 на территории Ферганской долины» [10]

Результаты нивелирования II класса, приведенные в таблице 3, показывают, что максимальное значение невязки в превышениях нивелирного хода составило $f_h = -9$мм, что удовлетворяет требованиям, указанным в [5].

По результатам двухстороннего тригонометрического нивелирования получены средние значения превышений, по которым вычислены невязки в ходах. Уравнивание одиночных ходов выполнено упрощенным способом. Выполненный объем тригонометрического нивелирования составил 84 пункта.

В таблице 4 приведены фрагменты вычисленных и уравненных превышений, а также высоты основных центров пунктов СГС-1.

Таблица 4

Ведомость вычисленных и уравненных превышений и высот пунктов СГС-1, полученных тригонометрическим нивелированием с рабочих центров

№ п/п	№ раб. центра, название пункта СГС-1	S, м	Измеренные превышения		Среднее h, м	V_h, мм	Исправ-ленные превы-шения h, м	Высоты пунктов H, м
			h прямо	h обратно				
1	2	3	4	5	6	7	8	9
	2857							869,033
		129,393	11,279	-11,277	11,278	+1	11,279	
	6651							654,262
		169,081	12,906	-12,906	12,906	+1	12,907	
1	Ходжаабад							***667,169**
		197,100	-12,399	12,405	-12,402	+1	-12,401	
	8973							380,832

№ п/п	№ раб. центра, название пункта СГС-1	S, м	Измеренные превышения		Среднее h, м	V_h, мм	Исправленные превышения h, м	Высоты пунктов H, м
			h прямо	h обратно				
1	2	3	4	5	6	7	8	9
					0,504			0,506 *f_h = -2 мм*
	9630							389,332
		83,657	9,498	-9,499	9,498	+4	9,502	
2	Бешарык							***398,834**
		129,164	-9,360	9,360	-9,360	+6	-9,354	
	8904							389,480
					0,138			0,148 *fh = - 10 мм*

***398,834 –** высоты пунктов СГС-1 полученные из тригонометрического нивелирования; 389,480 – высоты рабочих центров, полученные из нивелирования II класса.

Источник: Технический отчёт «СГС-1 на территории Ферганской долины» [10]

Результаты тригонометрического нивелирования, приведенные в таблице 4, показывают, что максимальное значение невязки в превышениях тригонометрического хода составило $f_h = -10$ мм, что удовлетворяет требованиям, указанным в [5].

Выводы. На основе выполненных анализов и исследований можно сделать следующие выводы и предложения:

- разработана методика создания спутниковой геодезической сети СГС-1 с интеграцией в глобальные системы координат WGS-84, СК-42 и оценки точности созданной сети, а также её сопряжения с существующей в регионе инфраструктурой АГС и сетей нивелирования. На интеграцию с существующими сетями указывают установленные связи пунктов созданной сети СГС-1 с 14 пунктами АГС и 11 реперами нивелирования I класса;

- при определении погрешностей в длинах базисных линий в созданных спутниковых сетях применена программа замыкания фигур, где для вычисления невязок суммируют компоненты векторов по замкнутому контуру, согласно которому выполнена оценка точности. Результаты оценки точности, выполненной программным обеспечением Win prism v.2.10, показали, что измеренные векторы в зависимости от их длины при привязке пунктов ГГС к сети СГС-1 получены с относительной погрешностью 1:2 669 940 – 1:3 208 883, а измеренные векторы при привязке рабочих центров к основным пунктам СГС-1 получены с относительной погрешностью 1:20 956 – 1:24 136, что соответствует требованиям, приведенным в [7; 2].

- результаты нивелирования II класса, приведенные в таблице 3, показывают, что максимальное значение невязки в превышениях составило: для нивелирных ходов II класса $f_h = -9$ мм (табл. 3), а для тригонометрического нивелирного хода $fh = -10$ мм (табл. 4) что вполне удовлетворяет требованиям, указанным в [5].

В целом, можно констатировать, что созданная спутниковая геодезическая сеть может служит основой для модернизации геопространственных данных региона, обеспечивая при этом высокоточное определение координат и высот пунктов на территории Ферганской долины, используемых для решения кадастровых, градостроительных и экологических задач.

Использованная литература:

1. Антонович К.М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии. Том 2. Москва, ФГУП Картгеоцентр, 2006. 311 с.

2. ГКИНП (ОНТА)-01-271-03 «Руководство по созданию и реконструкции городских

геодезических сетей с использованием спутниковых систем ГЛОНАСС/GPS». М., ЦНИИГАиК, 2003. 182 с.

3. Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов. М., Недра, 1990. 244 с.
4. ГККИНП-07-085-03 «Инструкция по обследованию и восстановлению пунктов и знаков Государственной геодезической и нивелирной сетей Республики Узбекистан», Т., Узгеодезкадастр, 2003. 44 с.
5. ГККИНП-01-039-01 «Основные положения о построении государственной геодезической сети Республики Узбекистан (спутниковая геодезическая сеть)». Т., Узгеодезкадастр, 2001. 17 с.
6. ГККИНП 01-070-03 «Правила закрепления пунктов Государственной спутниковой геодезической сети». Т., НЦГК, 2003. 52 с.
7. ГККИНП-01-024-99 «Руководящий технический материал по построению Государственной спутниковой геодезической сети 1-го класса с применением спутниковых навигационных систем». Т., Узгеодезкадастр, 1999. 59 с.
8. ГККИНП 01-014-98 «Руководящий технический материал по применению геодезических спутниковых приемников при создании и реконструкции сетей сгущения», Т., Узгеодезкадастр, 1998. 44 с.
9. ГККИНП 01-110-04 «Правила закладки центров и реперов на пунктах геодезической и нивелирной сетей Республики Узбекистан», Т., Узгеодезкадастр, 2004. 40 с.
10. Технический отчёт о создании СГС-1 на территории Ферганской долины. 2014. 70 с.
11. Хасанов И.А., Гулямов П.Н., Шарипов Ш.М., Авезов М.М., Ибрагимова Р.А. Физическая география Узбекистана. – Ташкент: Ma'rifat, 2023. 308 с. (На узб. яз.)
12. Belevich S.V., & Bekbaev G.K. (2006), Improvement national geodetic network of Uzbekistan with using satellite positioning equipment, *Land resources of Kazakhstan*, Vol. 37, pp. 11-12.
13. GFZRNX – Users Guide Version 2.1.12. 2025. Web resource: https://gnss.git-pages.gfz-potsdam.de/gfzrnx/pdf/GFZRNX_Users_Guide.pdf (accessed 20.04.2025)
14. *Leica*, Leica FlexLine TS02/TS06/TS09 User Manual. 2008. Web resource: https://docs.onepointsurvey.com/pdf/Leica-FlexLine-User-Manual.pdf
15. *Leica*, Leica GRX1200 Series Technical Data. 2007. Web resource: https://frednet.crs.ogs.it/wp-content/uploads/2024/09/LeicaGRX1200.pdf
16. Leick A., Rapoport L., Tatarnikov D. (2015), *GPS Satellite Surveying*, 4th edition, Publisher: Wiley. DOI:10.1002/9781119018612
17. Mirakmalov M.T., Ibragimova R.A., Avezov M.M., Okhunjonova D.K. (2017), Physical and geographical features of the toponyms of Uzbekistan, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Vol. 1284, Part 1, DOI: 10.1088/1755-1315/1284/1/012004
18. Mirmakhmudov E., Abzhaparova D., Tashbaltaeva Sh., Mamadaminova B., Xakimova M. (2024), Geophysical research on a landslide-prone slope in the vicinity of the village of Ayusay in the Republic of Kyrgyzstan, *E3S Web of Conf.*, Vol. 590, pp. 1-8. DOI: 10.1051/e3sconf/202459003007
19. Ruziev A., Yusupjonov O., Földváry L., Okhunov Z., Rakhimov S., Rakhmonov S., Yakubov G. (2024), Development stages of the geodetic network in Tashkent city, *E3S Web of Conf.*, Vol. 590, DOI: 10.1051/e3sconf/202459003006
20. Shukina O., Muborakov Kh., Ruziev A., Yakubov G. and Ergashev M. (2022), Using Digital Photogrammetry to Create Large-Scale Topographic Maps and Plans in Uzbekistan, *International Journal of Geoinformatics*, Vol. 18, No. 1, pp. 37-42, DOI: 10.52939/ijg.v18i1.2103
21. Tojiyeva Z., Ibragimov L. (2021), Labour market and employment in Uzbekistan, *Geografický časopis - Geographical Journal*, Vol. 73, No. 4, pp. 359-374, DOI: 10.31577/geogrcas.2021.73.4.19

References:

1. Antonovich K.M. (2006), *Use of satellite radionavigation system in geodesy*. *Volume 2,* Moscow. 311 p. (In Russ.)
2. GKINP (ONTA)-01-271-03 (2003), *Manual of construction and reconstruction of urban geodetic networks using the GLONASS/GPS satellite system*, Moscow. 182 p. (In Russ.)
3. *Instruction for Leveling of I, II, III, and IV Classes* (1980), Moscow. 244 p. (In Russ.)

4. GKKINP-07-085-03 (2003), *Instruction on the Inspection and Restoration of Points and Marks of the State Geodetic and Leveling Networks of the Republic of Uzbekistan*, Tashkent. 44 p. (In Russ.)

5. GKKINP-01-039-01 (2001), *Fundamentals for the Establishment of the State Geodetic Network of the Republic of Uzbekistan (Satellite Geodetic Network)*, Tashkent. 17 p. (In Russ.)

6. GKKINP 01-070-03 (2003), *Rules for the Monumentation of Points of the State Satellite Geodetic Network*, Tashkent. 52 p. (In Russ.)

7. GKKINP-01-024-99 (1999), *Guidelines for the Establishment of the First-Order State Satellite Geodetic Network Using Satellite Navigation Systems*, Tashkent. 59 p. (In Russ.)

8. GKKINP 01-014-98 (1998), *Technical Guidelines for the Use of Geodetic Satellite Receivers in the Establishment and Reconstruction of Densification Networks*, Tashkent. 44 p. (In Russ.)

9. GKKINP 01-110-04 (2004), *Rules for Marking Centers and Benchmarks at Geodetic and Leveling Network Points of the Republic of Uzbekistan*, 2004. Tashkent. 40 p. (In Russ.)

10. Technical Report (2014), "*on the creation of SGS-1 in the territory of the Fergana Valley*". 70 p. (In Russ.)

11. Khasanov I.A., Gulyamov P.N., Sharipov Sh.M., Avezov M.M., Ibragimova R.A. (2023), *Physical geography of Uzbekistan*, Tashkent. 308 p. (in Uzbek)

12. Belevich S.V., & Bekbaev G.K. (2006), Improvement national geodetic network of Uzbekistan with using satellite positioning equipment, *Land resources of Kazakhstan*, Vol. 37, pp. 11-12. 11

13. GFZRNX – Users Guide Version 2.1.12. 2025. Web resource: https://gnss.git-pages.gfz-potsdam.de/gfzrnx/pdf/GFZRNX_Users_Guide.pdf (accessed 20.04.2025) 12

14. *Leica*, Leica FlexLine TS02/TS06/TS09 User Manual. 2008. Web resource: https://docs.onepointsurvey.com/pdf/Leica-FlexLine-User-Manual.pdf

15. *Leica*, Leica GRX1200 Series Technical Data. 2007. Web resource: https://frednet.crs.ogs.it/wp-content/uploads/2024/09/LeicaGRX1200.pdf

16. Leick A., Rapoport L., Tatarnikov D. (2015), *GPS Satellite Surveying*, 4th edition, Publisher: Wiley. DOI:10.1002/9781119018612

17. Mirakmalov M.T., Ibragimova R.A., Avezov M.M., Okhunjonova D.K. (2017), Physical and geographical features of the toponyms of Uzbekistan, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Vol. 1284, Part 1, DOI: 10.1088/1755-1315/1284/1/012004

18. Mirmakhmudov E., Abzhaparova D., Tashbaltaeva Sh., Mamadaminova B., Xakimova M. (2024), Geophysical research on a landslide-prone slope in the vicinity of the village of Ayusay in the Republic of Kyrgyzstan, *E3S Web of Conf.*, Vol. 590, pp. 1-8. DOI: 10.1051/e3sconf/202459003007

19. Ruziev A., Yusupjonov O., Földváry L., Okhunov Z., Rakhimov S., Rakhmonov S., Yakubov G. (2024), Development stages of the geodetic network in Tashkent city, *E3S Web of Conf.*, Vol. 590, DOI: 10.1051/e3sconf/202459003006

20. Shukina O., Muborakov Kh., Ruziev A., Yakubov G. and Ergashev M. (2022), Using Digital Photogrammetry to Create Large-Scale Topographic Maps and Plans in Uzbekistan, *International Journal of Geoinformatics*, Vol. 18, No. 1, pp. 37-42, DOI: 10.52939/ijg.v18i1.2103

21. Tojiyeva Z., Ibragimov L. (2021), Labour market and employment in Uzbekistan, *Geografický časopis - Geographical Journal*, Vol. 73, No. 4, pp. 359-374, DOI: 10.31577/geogrcas.2021.73.4.19

Сведения об авторах

Охунов Зиё Дадожонович – Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека (Ташкент, Узбекистан), кандидат технических наук, доцент. E-mail: ohziyo@gmail.com

Рузиев Азизжон Савриддинович – Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека (Ташкент, Узбекистан), доктор философии (PhD) по географическим наукам, и.о. доцента. E-mail: azizjon.ruziev84@gmail.com

Information about authors:

Ziyo Okhunov – National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek (Tashkent, Uzbekistan), PhD in Technical Sciences, Associate Professor. E-mail: ohziyo@gmail.com

Azizjon Ruziev – National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek (Tashkent, Uzbekistan), Doctor of Philosophy (PhD) in Geographical Sciences, Acting Associate Professor. E-mail: azizjon.ruziev84@gmail.com

Для цитирования:

Охунов З.Д., Рузиев А.С. Развитие геодезической сети на основе интеграции спутниковых и традиционных астрономо-геодезических построений // Центральноазиатский журнал географических исследований. 2025. № 3-4. С. 85-98.

For citation:

Okhunov Z.D., Ruziev A.S. (2025), Development of a geodetic network based on the integration of satellite and traditional astronomical-geodetic constructions, *Central Asian Journal of Geographical Sciences*, No. 3-4, pp. 85-98. (In Russ.).