УДК 528.48

МЕТОДИКА СОЗДАНИЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ СЕТИ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ РАЗБИВОЧНЫХ РАБОТ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ЖИЛОГО КОМПЛЕКСА (НА ПРИМЕРЕ МДЦ„TASHKENT CITY“)

Усманов Дониёр Бахтиярович
Доцент кафедры «Инженерная геоматика»
Ташкентский архитектурно строительный университет
Ташкент, Узбекистан
Абдусатторов Абдуллох Сардор У’гли
Студент Ташкентского архитектурно строительного университета
Ташкент, Узбекистан

Usmanov Doniyor Bakhtiyarovich
Associate Professor, Department of Engineering Geomatics
Tashkent University of Architecture and Civil Engineering
Tashkent, Uzbekistan
Abdusattorov Abdulloh Sardor Ugli
Student, Tashkent University of Architecture and Civil Engineering
Tashkent, Uzbekistan

Аннотация. Описана технология создания строительной геодезической сети для разбивочных работ при строительстве жилого квартала на территории МДЦ «Tashkent City» в условиях плотной городской застройки. Плановая основа из шести пунктов определена GNSS-методом в статическом режиме приёмниками Trimble R8 S и R8 Model 3 (два сеанса по 1 ч) от пунктов триангуляции Узбекистанская, ТашГУ и Кардиологический в Ташкентской системе координат. Для контроля 15 пунктов строительной сетки проложены два хода полигонометрии 1 разряда длиной 1 603 и 1 655 м тахеометром Trimble S8; уравнивание выполнено в CREDO DAT. Расхождения длин базовых линий между сеансами на пунктах основы не превысили 3 мм, большие полуоси эллипсов ошибок составили 6–8 мм. Угловые невязки ходов (−19″ и +14″) меньше допустимых (30″ и 32″), относительные линейные невязки 1:419 290 и 1:394 081 почти в 40 раз лучше допуска 1:10 000. Сравнение с координатами прошлых лет на четырёх совмещённых пунктах выявило расхождения в плане до 43 мм по одной координате, поэтому приняты вновь определённые координаты. Даны практические правила размещения пунктов и контроля исходных данных.

Ключевые слова: строительная геодезическая сеть, разбивочные работы, GNSS, статический режим, полигонометрия 1 разряда, Trimble R8, Trimble S8, CREDO DAT, Tashkent City.

Abstract. The paper describes the workflow used to establish a construction survey network for setting-out works in a residential block of the Tashkent City multifunctional

complex under dense urban conditions. A six-point horizontal control was determined by static GNSS with Trimble R8 S and R8 Model 3 receivers (two 1-hour sessions) from the triangulation stations Uzbekistan, TashGU and Kardiologichesky in the Tashkent coordinate system. To check the 15 construction grid points, two first-order traverses 1,603 m and 1,655 m long were run with a Trimble S8 total station and adjusted in CREDO DAT. Baseline length differences between sessions on the control points did not exceed 3 mm, and the semi-major axes of the error ellipses were 6–8 mm. Angular misclosures (−19″ and +14″) are within the tolerances (30″ and 32″), and the relative linear misclosures of 1:419,290 and 1:394,081 are almost 40 times better than the 1:10,000 tolerance. Comparison with earlier coordinates at four common points revealed differences of up to 43 mm in a single coordinate, so the newly determined coordinates were adopted. Practical rules for point placement and checking of initial data are given.

Keywords: construction survey network, setting-out, GNSS, static positioning, first-order traverse, Trimble R8, Trimble S8, CREDO DAT, Tashkent City.

ВВЕДЕНИЕ. Строительство жилых кварталов требует переноса проектных решений на местность с высокой точностью. Основой для разбивки осей зданий, передачи проектных отметок и исполнительных съёмок служит строительная геодезическая сеть – система закреплённых пунктов с известными координатами и высотами [1–3]. Требования к инженерно-геодезическим работам в Республике Узбекистан установлены Законом «О геодезической и картографической деятельности» [1] и ШНК 1.02.08-19 [2].

В центральной части Ташкента площадки окружены плотной застройкой, магистралями и подземными коммуникациями. Исходные пункты триангуляции расположены в 7–9 км друг от друга, а пункты полигонометрии прошлых лет за десятилетия могли сместиться или быть утрачены. Поэтому на практике возникают вопросы: как быстро передать координаты от удалённых исходных пунктов на площадку, как проверить устойчивость исходных данных и какую точность фактически даёт сочетание GNSS-измерений и полигонометрии [4, 5].

Цель работы – описать технологию создания строительной геодезической сети для разбивочных работ и оценить её точность на примере жилого квартала МДЦ «Tashkent City».

Задачи:

1. Составить последовательность полевых и камеральных операций от обследования исходных пунктов до получения каталога координат.
2. Создать плановую основу GNSS-методом и проконтролировать пункты строительной сетки ходами полигонометрии 1 разряда.
3. Оценить точность полученной сети и сформулировать практические рекомендации.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объект. Жилой квартал расположен в центральной части Ташкента, на территории МДЦ «Tashkent City», между улицами А. Навои, Алмазар, И. Каримова и Фуркат (рисунок 1). Размеры площадки – около 1 000 × 1 000 м. Рельеф спокойный: абсолютные отметки изменяются от 437,5 до 443,1 м (перепад 5,6 м). Категория трудности работ – III–V. Климат резко континентальный, температура воздуха изменяется от −20 до +40 °C, глубина сезонного промерзания грунтов – 0,7 м.



Рисунок 1. Спутниковый снимок территории строительства МДЦ «Tashkent City»

Исходные данные. Район обеспечен материалами триангуляции 3 и 4 классов, полигонометрии 1 и 2 разрядов и нивелирования I класса, выполненными в 1960–2001 гг. [6]. Для использования в работе обследованы восемь исходных пунктов: пункты триангуляции Узбекистанская, Кардиологический и ТашГУ, пункты полигонометрии 6-1565, 6-1814 и 6-3533 и два репера I класса. Плановое положение определялось в Ташкентской системе координат, высотное – в Балтийской системе высот.

Приборы и программное обеспечение. Использованы GNSS-приёмники Trimble R8 S и Trimble R8 Model 3, электронный тахеометр Trimble S8 и цифровые нивелиры Trimble DiNi 0.3 и DiNi 0.7 (таблица 1) [7–9]. Обработка GNSS-измерений выполнена в Trimble Business Center [10], уравнивание полигонометрии – в CREDO DAT [11].

Таблица 1. Точностные характеристики применённых приборов

Прибор	Назначение	Паспортная точность
Trimble R8 S	GNSS-определение пунктов основы	план ±(3 мм + 0,1 мм/км), высота ±(3,5 мм + 0,5 мм/км)
Trimble R8 Model 3	GNSS-определение пунктов основы	план ±(3 мм + 1 мм/км), высота ±(3,5 мм + 1 мм/км)
Trimble S8	Углы и длины линий в ходах полигонометрии	углы ±0,5″, линии ±(1 мм + 1 мм/км)
Trimble DiNi 0.3 / 0.7	Нивелирование IV класса	±0,3 / ±0,7 мм на 1 км двойного хода (инварная рейка)

Технология. Работы разбиты на четыре блока и 10 операций (рисунок 2, таблица 2). Плановая основа создаётся на углах площадки, а пункты строительной сетки определяются ходами полигонометрии между пунктами основы. Это даёт независимый контроль положения пунктов сетки.

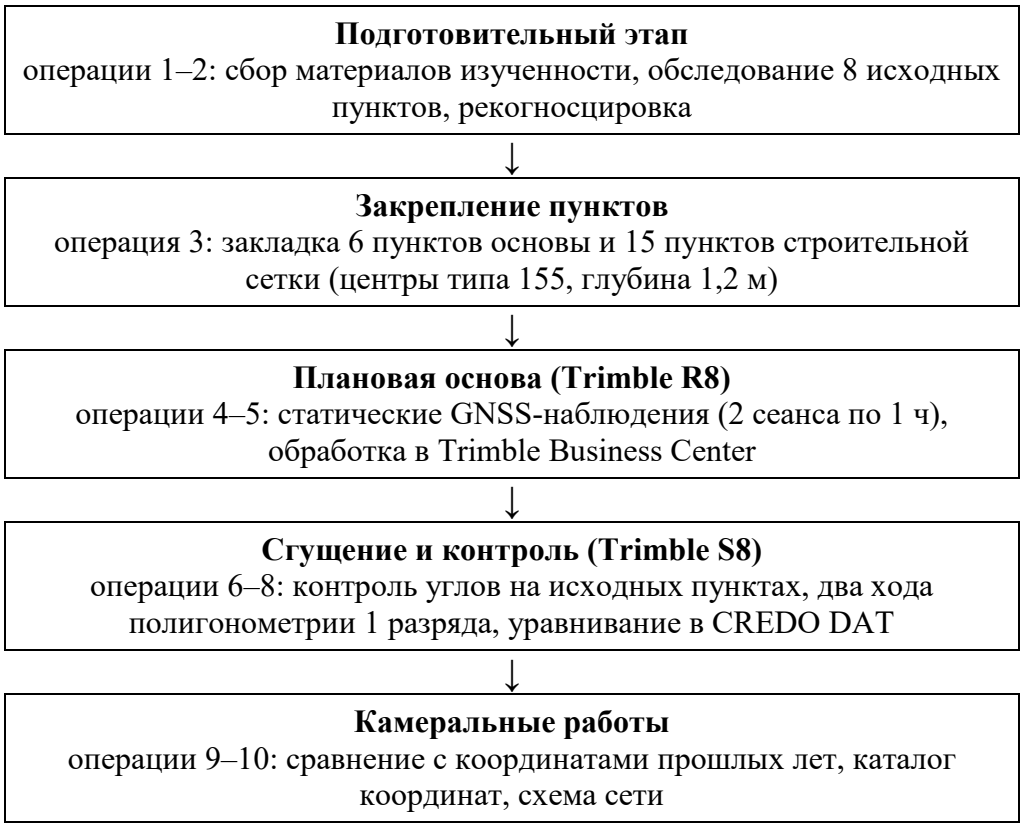


Рисунок 2. Технологическая схема создания строительной геодезической сети

Таблица 2. Операции создания сети и их контроль

№	Операция	Инструмент	Результат	Контроль
1–2	Обследование исходных пунктов, рекогносцировка	Материалы изученности	Выбранные исходные пункты и места новых знаков	Сохранность центров, видимость
3	Закладка пунктов	Центры типа 155	6 пунктов основы, 15 пунктов сетки	Акт сдачи знаков на наблюдение
4	Статические GNSS-наблюдения	Trimble R8 S, R8 Model 3	Сырые измерения двух сеансов	DOP < 4, угол отсечки 15°
5	Обработка базовых линий	Trimble Business Center	Координаты пунктов основы	Сравнение сеансов, эллипсы ошибок
6	Контроль исходных пунктов	Trimble S8	Измеренные углы на S-11 и S-1	Допуск 10″
7	Прокладка ходов полигонометрии	Trimble S8	Углы и длины двух ходов	Два приёма, прямо и обратно

№	Операция	Инструмент	Результат	Контроль
8	Уравнивание	CREDO DAT	Уравненные координаты	Угловые и линейные невязки
9–10	Сравнение и каталог	Ведомость совмещённых пунктов	Каталог координат	Расхождения с прошлыми работами

Правила размещения пунктов. Места знаков выбирали за пределами зоны котлованов, коммуникаций и движения техники, преимущественно по периметру площадки. Обеспечивали взаимную видимость между соседними пунктами и прохождение визирного луча не ближе 1 м от конструкций и земной поверхности, чтобы уменьшить влияние боковой и вертикальной рефракции. После закладки знаки переданы по акту заказчику и строительной организации.

GNSS-наблюдения. Наблюдения выполнены в статическом режиме двумя сеансами по 1 ч с интервалом записи 20 с, углом отсечки 15°, числом спутников не менее 4 и DOP менее 4. Высоту антенны измеряли до и после сеанса. Качество оценивали по расхождению длин базовых линий между сеансами $\Delta S = S_1 - S_2$ и по параметрам эллипсов ошибок.

Полигонометрия. Ходы S2–S10 и S12–S20 проложены между пунктами основы. Углы измерены двумя приёмами способом отдельного угла, на пунктах с тремя и более направлениями – способом круговых приёмов; длины линий – двумя приёмами в прямом и обратном направлениях с вводом температуры, давления и постоянной отражателя. Допустимая угловая невязка вычислялась по формуле

$$f_{\beta\,доп} = \pm 10'' \sqrt{n}, \qquad (1)$$

где n – число углов в ходе. Относительная линейная невязка

$$1/T = f_S / [S], \qquad (2)$$

где f_S – абсолютная линейная невязка, $[S]$ – длина хода, сравнивалась с допуском 1:10 000 [2, 12].

Контроль исходных данных. Перед опорой ходов на пункты основы на S-11 и S-1 измерены углы и сравнены с углами, вычисленными по координатам. Координаты, полученные заново, сравнивались с данными прошлых лет на совмещённых пунктах; плановое расхождение вычислялось как $\Delta p = \sqrt{(\delta x^2 + \delta y^2)}$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Схема сети. Получена сеть из шести пунктов плановой основы (S1, S2, S10, S11, S12, S20) и пунктов строительной сетки на двух ходах полигонометрии (рисунок 3). Пункты основы расположены на углах площадки, ходы проходят вдоль её восточной, северной, западной и южной сторон.



Рисунок 3. Схема строительной геодезической сети МДЦ «Tashkent City» (красным – пункты GNSS-основы, чёрным – ходы полигонометрии 1 разряда, зелёным – пункты полигонометрии прошлых лет)

Точность GNSS-основы. Расхождения длин базовых линий между сеансами приведены в таблице 3. На линиях между пунктами новой основы

они составили 0–3 мм. Большие полуоси эллипсов ошибок по обоим сеансам равны 6–8 мм, малые – 4–6 мм; наибольшая полуось получена на пункте S-10 (8 мм).

Таблица 3. Расхождения длин базовых линий между сеансами

Линия	1-й сеанс, м	2-й сеанс, м	ΔS, мм
ТашГУ – Узбекистанская	7 767,669	7 767,660	9
Узбекистанская – Кардиологический	7 418,731	7 418,836	−105
Кардиологический – ТашГУ	8 581,391	8 581,380	11
S12 – S20	1 138,440	1 138,440	0
S11 – S1	1 411,314	1 411,313	1
S2 – S10	1 129,827	1 129,824	3

Контроль исходных пунктов. Измеренные углы на пунктах S-11 (89°38′31″) и S-1 (93°50′14″) отличаются от вычисленных по координатам на 7″ и 6″ при допуске 10″ [12]. Взаимное положение пунктов основы сохранилось, и они использованы как опора для ходов.

Точность ходов полигонометрии. Результаты уравнивания приведены в таблице 4. Параметры обоих ходов соответствуют требованиям к полигонометрии 1 разряда, а относительные невязки в 39–42 раза меньше допустимой.

Таблица 4. Требования к полигонометрии 1 разряда и фактические показатели

Показатель	Требование	Ход S2–S10	Ход S12–S20
Длина хода	не более 5 км	1 603,207 м	1 654,941 м
Число углов	не более 15 сторон	9	10
Угловая невязка	$\pm 10'' \sqrt{n}$	−19″ (доп. 30″)	+14″ (доп. 32″)
Абсолютная линейная невязка	–	0,004 м	0,004 м
Относительная невязка	не более 1:10 000	1:419 290	1:394 081

Сравнение с данными прошлых лет. На четырёх совмещённых пунктах расхождения составили 2–43 мм по отдельным координатам и 18–57 мм по высоте (таблица 5). Плановое расхождение Δp изменяется от 4 мм на пункте 16555 до 60 мм на пункте 6-1814. С учётом более высокой точности современных измерений и давности прежних определений приняты вновь определённые координаты.

Таблица 5. Расхождения координат и высот совмещённых пунктов

Пункт	δx, мм	δy, мм	δz, мм	Δp, мм	Оценка
16555	3	2	–	4	устойчив
6-1565	10	26	57	28	смещение по высоте
6-1814	43	42	22	60	плановое смещение
6-3533	21	42	18	47	плановое смещение

ОБСУЖДЕНИЕ

Практический эффект технологии. GNSS-метод позволил передать координаты от исходных пунктов, удалённых на 7–9 км, сразу на углы площадки без длинных ходов через городскую застройку. Ходы полигонометрии между пунктами основы выполняют две функции: определяют пункты строительной сетки и служат независимой проверкой GNSS-основы. Невязки в 4 мм на ходах длиной около 1,6 км показывают, что пункты основы согласованы между собой.

Запас точности. Большие полуоси эллипсов ошибок (6–8 мм) в 2,5–3,3 раза меньше условной ошибки 20 мм, принятой при предварительном расчёте для стороны сетки 200 м при относительной точности 1:10 000. Это означает, что погрешности основы практически не повлияют на разбивку осей зданий.

Типичные ошибки и способы их избежать. В ходе работы выявлены ошибки, которые легко допустить на практике:

1. Использование координат прошлых лет без проверки. На пункте 6-1814 плановое расхождение достигло 60 мм – втрое больше условного допуска для стороны сетки. Перед опорой на старые пункты их нужно включать в новые измерения.
2. Передача отметок от старых реперов без контроля. На пункте 6-1565 высота отличается на 57 мм, что недопустимо для разбивки фундаментов. Отметки следует передавать только от проверенных реперов.
3. Принятие результатов по длинным линиям без анализа. На линии Узбекистанская – Кардиологический расхождение сеансов составило 105 мм при 0–3 мм на пунктах основы. Такие линии нужно анализировать по результатам уравнивания и при необходимости повторять наблюдения.
4. Размещение знаков в зоне строительства. Пункты в зоне котлованов и движения техники быстро утрачиваются; знаки нужно закладывать по периметру и передавать на наблюдение по акту.

Ограничения. Результаты нивелирования IV класса в статье не рассматриваются. Эллипсы ошибок характеризуют формальную точность по результатам обработки в Trimble Business Center. Предварительный расчёт точности с относительной ошибкой 1:10 000 носит иллюстративный характер и не заменяет нормативных допусков для конкретных разбивочных работ. Анализ расхождения на линии Узбекистанская – Кардиологический требует дополнительных данных об уравнивании исходной сети.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описана технология создания строительной геодезической сети из 10 операций, в которой плановая основа из шести пунктов определяется

статическим GNSS-методом приёмниками Trimble R8, а пункты строительной сетки – ходами полигонометрии 1 разряда тахеометром Trimble S8 с уравниванием в CREDO DAT.

Для МДЦ «Tashkent City» расхождения длин базовых линий между сеансами на пунктах основы не превысили 3 мм, большие полуоси эллипсов ошибок составили 6–8 мм. Контроль углов на исходных пунктах (7″ и 6″ при допуске 10″) подтвердил их сохранность.

Угловые невязки ходов (−19″ и +14″) меньше допустимых, относительные линейные невязки (1:419 290 и 1:394 081) почти в 40 раз лучше допуска 1:10 000, что подтверждает пригодность сети для разбивки осей зданий.

Сравнение с координатами прошлых лет выявило плановые смещения старых пунктов до 60 мм и по высоте до 57 мм, поэтому для разбивочных работ приняты вновь определённые координаты. Технологию можно применять при геодезическом обеспечении строительства других жилых кварталов в условиях плотной городской застройки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Закон Республики Узбекистан от 2 июля 2020 г. № ЗРУ-626 «О геодезической и картографической деятельности». – URL: https://lex.uz/ru/acts/4880166.
2. ШНК 1.02.08-19. Инженерно-геодезические изыскания для строительства. – Ташкент, 2019.
3. СП 126.13330.2017. Геодезические работы в строительстве. – М. : Стандартинформ, 2017.
4. Инженерная геодезия : учебник / Е. Б. Клюшин, М. И. Киселев, Д. Ш. Михелев, В. Д. Фельдман ; под ред. Д. Ш. Михелева. – М. : Академия, 2010. – 496 с.
5. Leick A., Rapoport L., Tatarnikov D. GPS Satellite Surveying. – 4th ed. – Hoboken : John Wiley & Sons, 2015. – 840 p.

6. Технический отчёт об инженерно-геодезических работах на объекте «Строительство МДЦ „Tashkent City“». – Ташкент : O‘ZGASHKLITI DUK.
7. Trimble. Trimble R8s GNSS System: datasheet. – URL: https://geospatial.trimble.com/.
8. Trimble. Trimble S8 Total Station: datasheet. – URL: https://geospatial.trimble.com/.
9. Trimble. Trimble DiNi Digital Level: datasheet. – URL: https://geospatial.trimble.com/.
10. Trimble. Trimble Business Center: справочная система. – URL: https://geospatial.trimble.com/.
11. Кредо-Диалог. CREDO DAT: руководство пользователя. – URL: https://credo-dialogue.ru/.
12. ГККИНП-02-067-03. – Ташкент, 2003.