



Исследование комплексного использования традиционных и спутниковых технологий для передачи плановых координат на монтажный горизонт

Д.К. Жимагулов^{1,2}✉, Х.Х. Насеретдин¹

¹ Московский государственный университет геодезии и картографии, Москва, Россия

² Центр экспертиз, исследований и испытаний в строительстве, Москва, Россия

✉ fazmatis@gmail.com

ЦИТИРОВАНИЕ Жимагулов Д.К., Насеретдин Х.Х. Исследование комплексного использования традиционных и спутниковых технологий для передачи плановых координат на монтажный горизонт // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2025. Т. 69, № 6. С. 67–77. DOI:10.30533/GiA-2025-066.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА геодезическая разбивочная основа, передача координат на монтажный горизонт, прибор вертикального проектирования, глобальная навигационная спутниковая система, кинематика в реальном времени

АННОТАЦИЯ В данной статье описан способ передачи плановых координат на монтажный горизонт по схеме «прибор вертикального проектирования — глобальная навигационная спутниковая система». Такой способ подразумевает совместное применение прибора вертикального проектирования и спутникового оборудования. Предполагается использование не менее трех определяемых точек на монтажном горизонте. На каждой из них выполняются координатные определения спутниковым оборудованием в режиме кинематики в реальном времени. Плановые координаты одной из трех точек передаются на монтажный горизонт с помощью прибора вертикального проектирования. Для обеспечения достоверности результатов и исключения влияния конфигурации созвездия спутников исследование проводилось в четыре цикла, равноудаленные друг от друга во времени. В результате были выявлены основные ошибки в определении координат точек: координатный сдвиг, угловой разворот осей координатной сетки. Для данных ошибок, относящихся к координатным определениям спутникового оборудования, были предложены способы компенсации. Отдельно отмечается ошибка вычисления расстояния между двумя точками глобальной навигационной спутниковой системы, используемая для контроля грубых ошибок координатных определений. Данные, полученные в ходе исследования, подтверждают возможность применения рассматриваемого способа для строительства зданий и сооружений. Точность передачи отметок при этом составляет 3 мм.

1 Введение

В настоящее время наблюдается тенденция к увеличению этажности объектов гражданского строительства. Существующие способы геодезического обеспечения высокоэтажного строительства не соответствуют в полной мере текущим запросам строительных организаций: классический способ передачи отметок на монтажный горизонт прибором вертикального проектирования (ПВП) требует наличия специальных закладных деталей на уровне подвала и дополнительных технологических отверстий в плитах перекрытия [1]. Как правило, для реализации вышеуказанного способа требуется приостановка строительных работ. В связи с темпами строительства с помощью ПВП не всегда возможно передать на монтажный горизонт необходимое количество точек в один промежуток времени. Например, по различным причинам плита перекрытия может быть отсечена таким образом, что на ее смонтированную часть можно передать ПВП только одну точку, а соседние дома, на которых установлены классические марки, находятся под горизонтом плиты перекрытия. В целом возникает проблема сохранности закладных деталей для точек ПВП и технологических отверстий для передачи координат [2].

Использование спутниковых технологий при строительстве высокоэтажных зданий носит скорее исключительный характер. Глобальную навигационную спутниковую систему (ГНСС) задействуют при строительстве уникальных сооружений, таких как Башня Халифы в Дубае. Частично это связано с экономической целесообразностью, поскольку спутниковые технологии используют совместно с инклинометрами, и на объекте строительства предполагается наличие специальной лаборатории [3, 4]. Следует отметить, что при строительстве высокоэтажных зданий можно использовать ГНСС в режиме статика. Хотя такой способ обеспечивает необходимую точность, он требует значительного времени и постобработки результатов измерений [5].

Режим кинематики в реальном времени (*англ.* Real Time Kinematic, RTK) является более оперативным по сравнению со статикой, но не обеспечивает необходимую точность передачи плановых координат на монтажный горизонт [6, 7].

Согласно СП 126.13330.2017¹, погрешность измерений при геодезическом контроле должна быть не более 0,2 величины отклонений, допускаемых нормативной документацией. В свою очередь, СП 70.13330.2012² устанавливает отклонение соосности вертикальных конструкций в 15 мм. Таким образом, точность передачи плановых координат на монтажный горизонт для вертикальных конструкций должна составлять 3 мм.

С учетом вышеизложенного возникает необходимость комбинации классического метода передачи плановых координат на монтажный горизонт (с помощью ПВП) с методом спутниковых координатных определений [8].

Анализируя зарубежные работы, следует выделить опыт китайских исследователей. В широком смысле рассматриваемый ими способ нельзя назвать в полной мере комбинированным, однако они использовали для корректировки результатов спутниковых определений базис с известной длиной, что, в свою очередь, способствовало достижению точности позиционирования до 5 мм относительно координат, полученных тахеометром [9].

Целью данной статьи является исследование комплексного использования традиционных и спутниковых технологий для передачи плановых координат на монтажный горизонт.

Подразумевается применение одной станции ПВП и ряда измерений ГНСС в режиме RTK. При реализации данного способа значительно экономится время работ и возрастает оперативность, поскольку достаточно только одной станции ПВП, в отличие от классического метода.

1 СП 126.13330.2017. СНИП 3.01.03-84. Геодезические работы в строительстве. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/17224/> (дата обращения: 10.10.2024).

2 СП 70.13330.2012. Несущие и ограждающие конструкции. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/1888/> (дата обращения: 10.10.2024).


2 Материалы и методы

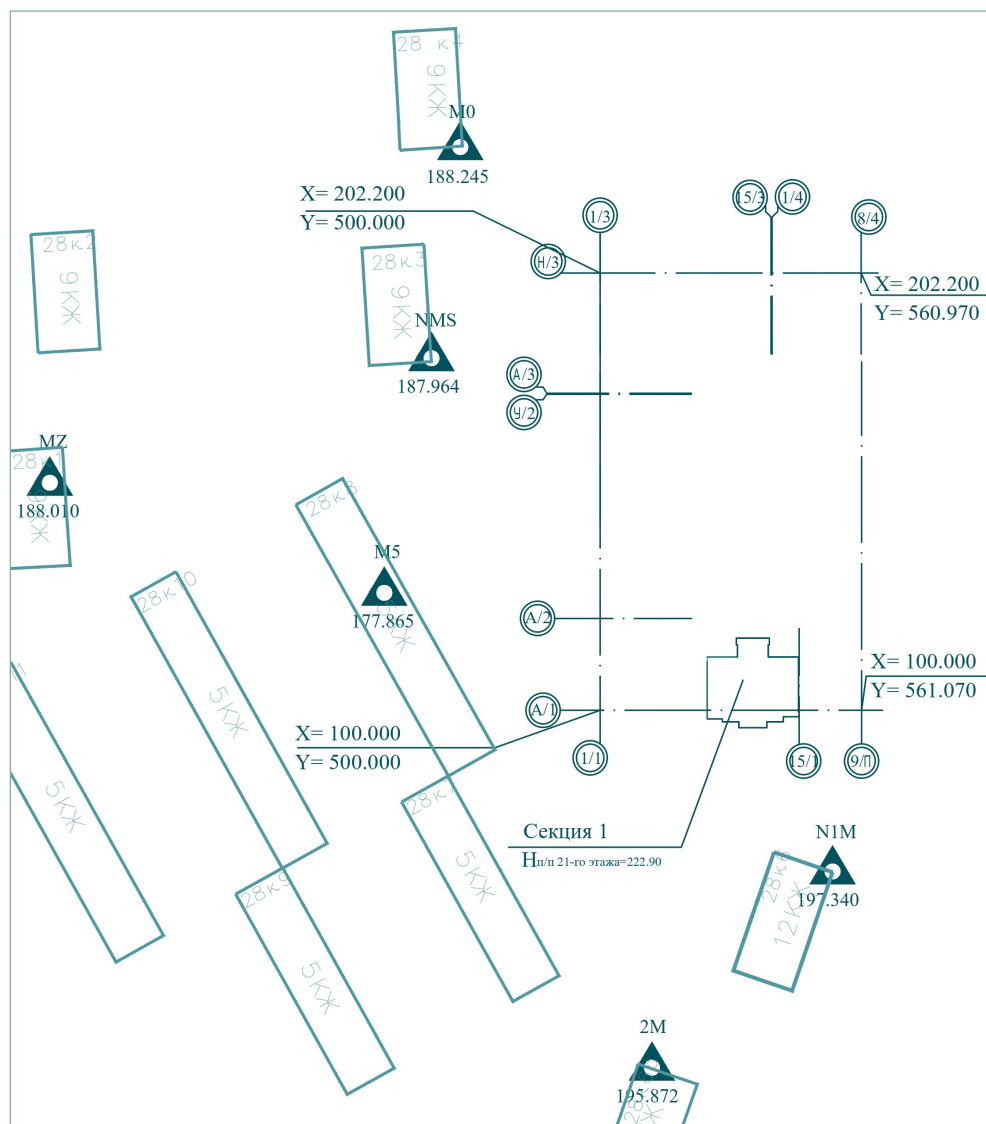
2.1 Объект исследования

Исследование комплексного использования традиционных и спутниковых технологий для передачи плановых координат на монтажный горизонт проводилось в Восточном административном округе Москвы по адресу: Открытое шоссе, владение 28/3. Строительство дома осуществлялось по программе реновации. Возводимый объект имеет подземную автостоянку, семь секций с этажностью от 5 до 22. Исследования проводились на монтажном горизонте 21-го этажа первой секции.

Геодезическая разбивочная основа создавалась способом свободной станции. Пункты обоснования представляют собой геодезические марки, закрепленные на соседних домах (рис. 1). Общее количество пунктов обоснования – 6. Система координат условная, параллельная осям здания. Ноль здания – 161.100.

В целом проблема видимости марок возникала только на последних этажах: с 20-го на самых высоких секциях (первой и второй). Например, при разбивке стен возможность установки прибора более свободная. Можно установить тахеометр ближе к краю плиты, чтобы получить удовлетворительный угол между марками при засечке. При разбивке плиты такой возможности нет. Необходимо частично разбирать опалубку плиты перекрытия, чтобы обеспечить видимость марок.

Рис. 1 
 Схема геодезической разбивочной основы
Fig. 1
 The scheme of the geodetic center base



2.2 Передача плановых координат на монтажный горизонт по схеме «прибор вертикального проектирования – ГНСС»

Как было указано ранее, целью статьи является комбинирование классического и спутникового методов передачи плановых координат. В качестве классического способа подразумевается вертикальное проецирование, а в качестве спутникового была выбрана кинематика в реальном времени. Точность современных ПВП при передаче планового положения точки составляет 1 мм на 100 м. Точность спутникового оборудования в режиме RTK — 8 мм + 1 мм на 1 км, в реальных условиях при работе от сети базовых станций точность будет составлять 15–25 мм.

Принимая во внимание точность спутникового оборудования в режиме RTK, следует выяснить, как эта погрешность себя проявляет: сохраняется ли расстояние между точками RTK, является ли погрешность определения координат систематической в рамках одного цикла наблюдений.

Главная гипотеза состоит в том, что возможно воссоздать геодезическую разбивочную основу на монтажном горизонте для последующих геодезических работ, имея только одну точку, полученную с помощью вертикального проецирования, и вспомогательные точки, координаты которых получены с помощью спутникового оборудования в режиме RTK. Предполагается компенсировать погрешность определения координат в режиме RTK посредством одной достоверно известной точки и контроля длин между вспомогательными точками RTK с помощью тахеометра.

Принципиальная схема геодезических работ при использовании вышеуказанного способа следующая:

- вертикальное проецирование одной точки с исходного горизонта на монтажный;
- определение плановых координат точки ПВП на монтажном горизонте и двух вспомогательных точек;
- контроль расстояний между точками с помощью тахеометра;
- нормализация треугольника;
- вычисление центральной точки треугольника;
- выполнение обратной геодезической засечки от точки ПВП и центральной точки фигуры для последующих геодезических работ по выносу характерных точек на монтажный горизонт.

3 Результаты и обсуждение

На строительном объекте в течение двух дней было выполнено 4 цикла измерений (один цикл утром и один — вечером).

Из трех точек был образован треугольник. Для понимания параметров треугольника (длин сторон и углов) его вершины (определяемые ровером точки) были сняты тахеометром.

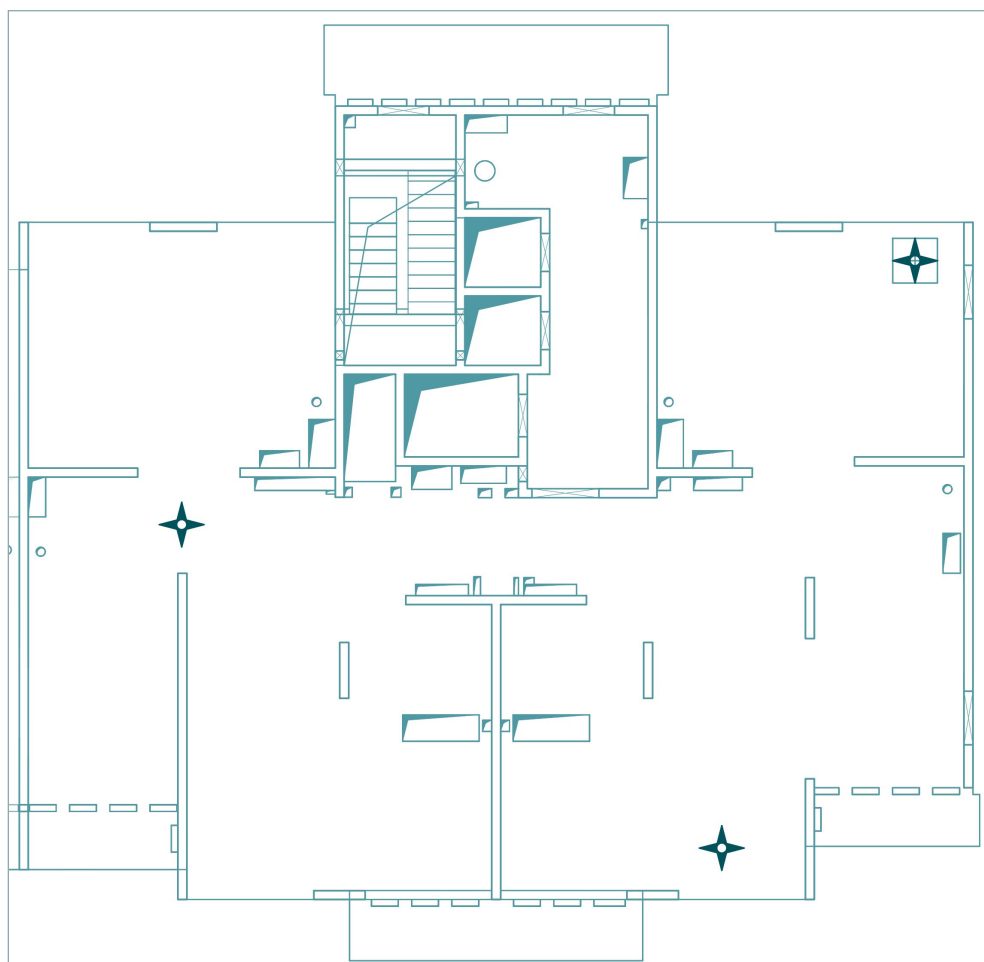
Как видно на рис. 2, координаты трех точек определяются при помощи ровера, на одну из трех точек также передавались координаты с исходного горизонта ПВП (далее — главная точка треугольника). Схожий принцип определения координат главной точки был реализован в исследовании [10], однако оно посвящено геодезическому мониторингу вертикальности высотных сооружений.

Рис. 2 ➤

Схема определяемых точек на монтажном горизонте

Fig. 2

The diagram of the defined points on the installation horizon



Условные обозначения

- общая точка ПВП и ГНСС
- точка ГНСС

3.1 Отклонение длин сторон треугольника от эталона как предварительный контроль достоверности результатов ГНСС-измерений

На рис. 3 изображено эталонное значение треугольника и 4 цикла наблюдений ГНСС. Длины сторон, отклоняющиеся от эталона, выделены цветами: зеленым — для значений, не превышающих 6 мм, желтым — для отклонений до 15 мм, красным — для значений свыше 15 мм. Предполагается, что отклонение длины стороны треугольника от эталона, полученное в результате измерений ГНСС, может коррелировать с эталонным значением с точностью координатных определений спутникового оборудования и позволяет выявить грубые ошибки измерений.

Отклонение длин сторон треугольника от эталона для четырех циклов ГНСС-измерений отражено в табл. 1.

Таблица 1 ➤

Отклонение длин сторон треугольника от эталона

Table 1

Deviation of the triangle's side lengths from the standard

| Цикл ГНСС-измерений | Отклонение длин сторон треугольника от эталона, мм |
|---------------------|--|
| 1 | 4-9 |
| 2 | 3-16 |
| 3 | 2-15 |
| 4 | 15-49 |

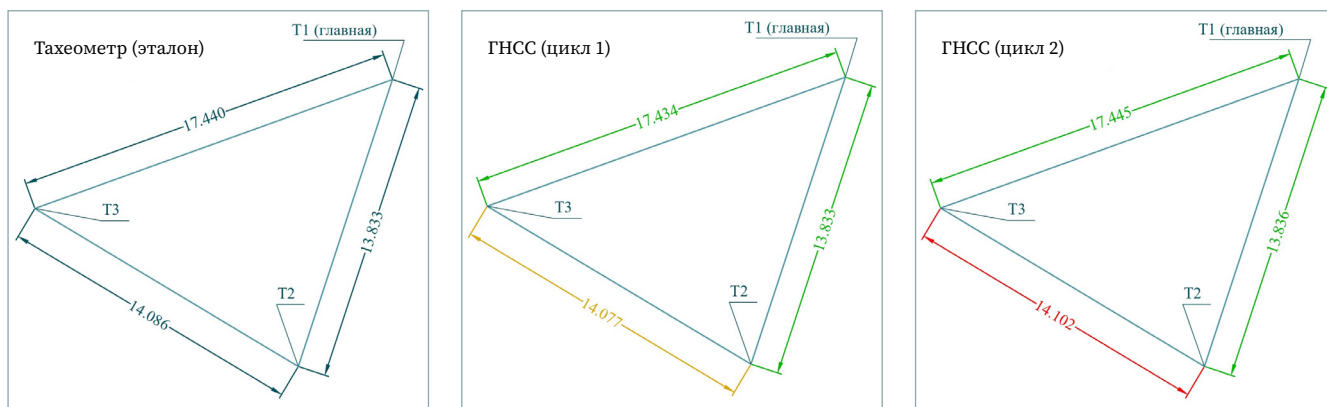


Рис. 3 Эталонные параметры треугольника и циклы наблюдений спутниковым оборудованием
Fig. 3 Reference parameters of the triangle and cycles of observations by satellite equipment

Рис. 4 Компенсация координатного сдвига
Fig. 4 Coordinate shift compensation

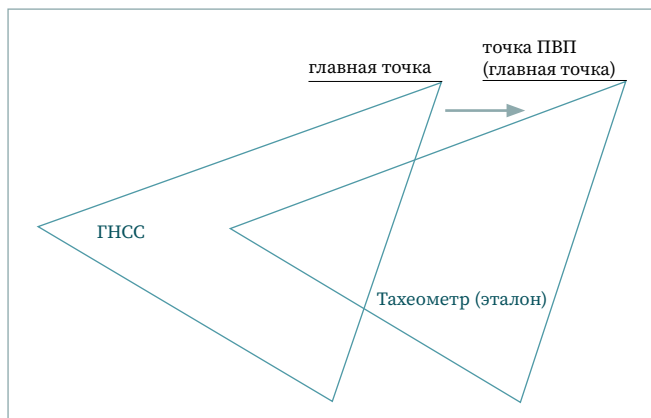
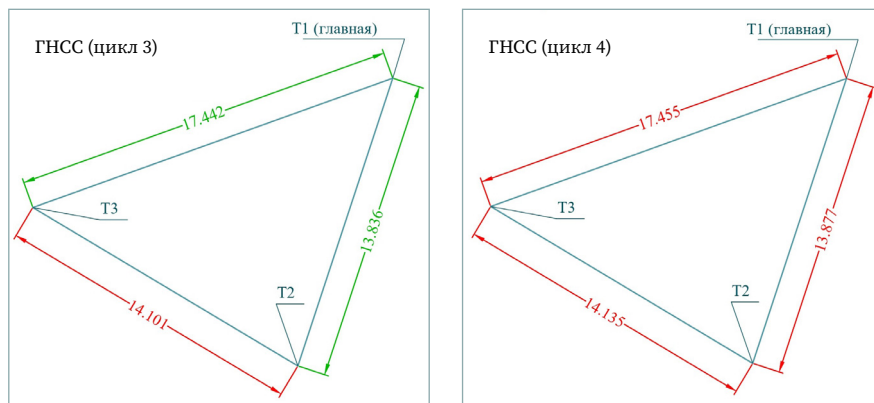


Таблица 2 Распределение ошибки положения центральной точки фигуры относительно эталонного значения после компенсации ошибок

Table 2 Distribution of the error in the position of the center point of the figure relative to the reference value after error compensation

| Цикл ГНСС-измерений | ΔX , мм | ΔY , мм |
|---------------------|-----------------|-----------------|
| 1 | -2 | -3,3 |
| 2 | -2,8 | -4 |
| 3 | +4 | +2,3 |
| 4 | -4,2 | +16 |

3.2 Ошибки определения координат вершин треугольника и способы их компенсации

Рассмотрим основные ошибки, возникающие при определении координат вершин треугольника. Это общий координатный сдвиг, т. е. габариты треугольника остаются в доверительных интервалах, но координаты главной точки сдвигаются от эталонного значения. Решается эта ошибка путем сдвига треугольника, полученного в результате ГНСС-измерений, к главной точке треугольника, к его эталонному положению, полученному с помощью ПВП (рис. 4).

Другую ошибку – разворот осей координатной сетки – частично можно компенсировать путем вычисления центральной точки треугольника и использованием в качестве пункта геодезической разбивочной основы ее, а не вершины треугольника.

На рис. 5 показаны центральная точка, отражающая эталонное положение точки центра фигуры, и четыре точки, каждая из которых соответствует циклу измерений ГНСС.

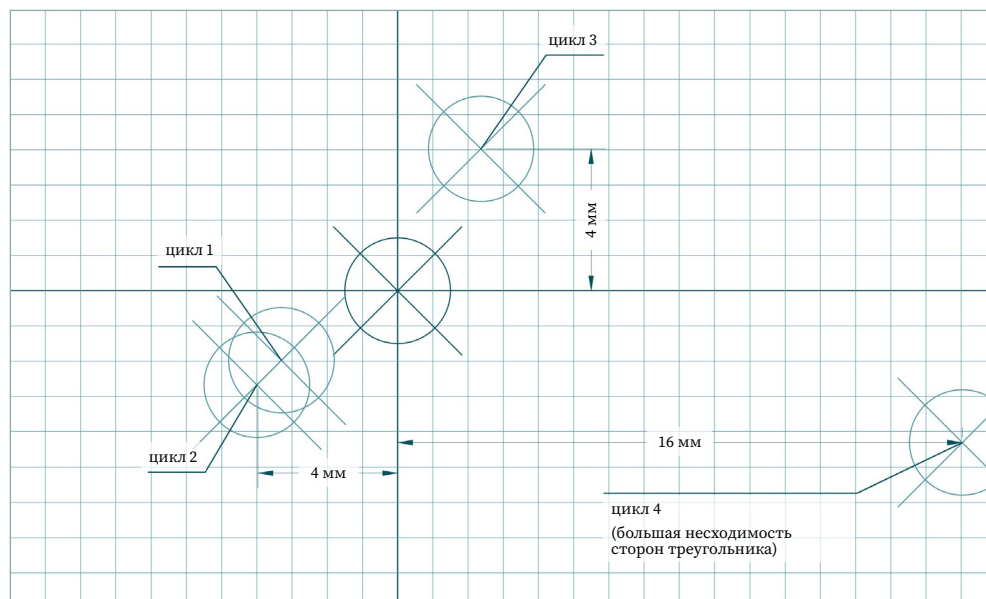
Уже на этом этапе после компенсации вышеуказанных ошибок удалось получить отклонения, превышающие эталонное значение не более чем на 4 мм (если стороны треугольников остаются в доверительных интервалах). Следует отметить, что в цикле 4 все стороны треугольника вышли за доверительный интервал (15–49 мм). Результаты отражены в табл. 2.

Рис. 5 ➤

Результаты после компенсации ошибок

Fig. 5

Results after error compensation



3.3 Нормализация треугольника как дополнительный этап компенсации ошибок

Под нормализацией треугольника понимается процесс приближения расстояния от центра фигуры, полученного в результате ГНСС-измерений, к значениям эталонного треугольника. Иначе говоря, при сохранении направления вершины треугольника от его центра вводилась поправка в расстояние между ними. После этого повторно вычислялась центральная точка фигуры. Результаты отражены на рис. 6.

Рис. 6 ➤

Результаты после нормализации треугольников

Fig. 6

Results after normalization of triangles

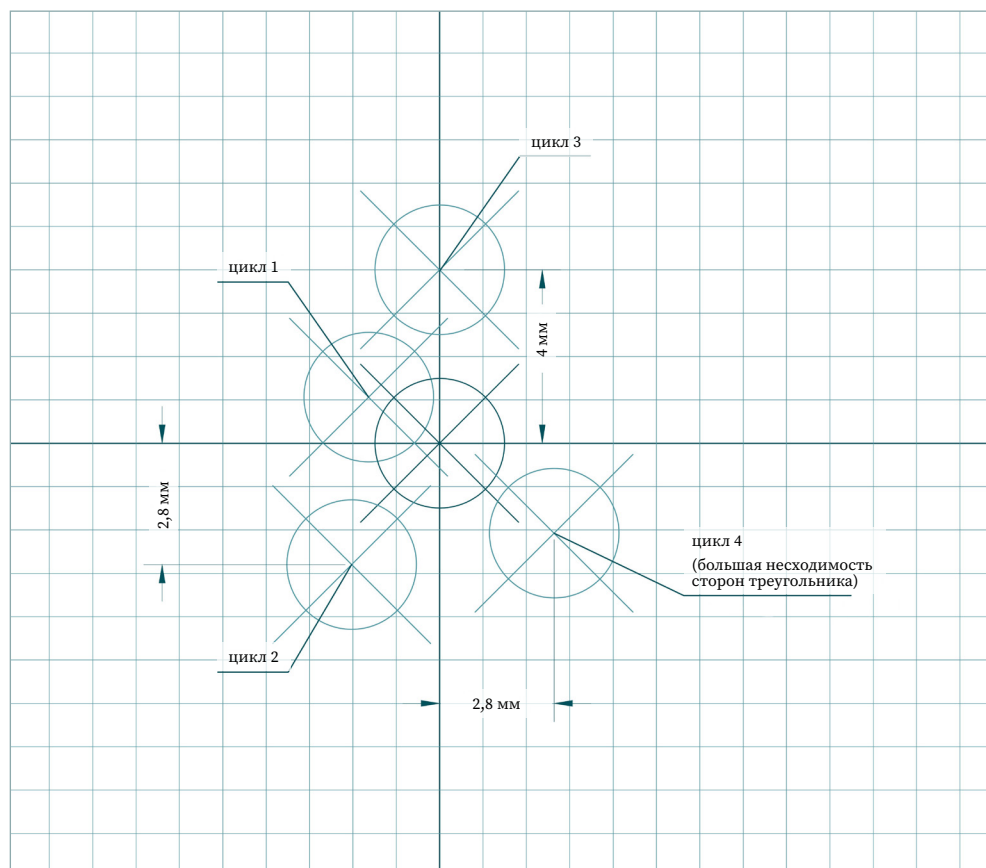


Таблица 3 

Распределение ошибки положения центральной точки фигуры относительно эталонного значения после нормализации треугольников

Table 3

Distribution of the error of the position of the central point of the figure relative to the reference value after normalization of the triangles

| Цикл ГНСС-измерений | ΔX , мм | ΔY , мм |
|---------------------|-----------------|-----------------|
| 1 | +1 | -1,8 |
| 2 | -2,8 | -2 |
| 3 | +4 | 0 |
| 4 | -2 | +2,8 |

После такой процедуры удалось достичь отклонения от эталонного значения в среднем 3 мм, и только четвертый цикл измерений с большим отклонением длины стороны треугольника от эталона показал результат в 4 мм (табл. 3).

В будущем на новом объекте строительства планируется провести апробацию результатов исследования, с первого этажа возводимого здания собирать материал для оценки точности рассмотренного способа.

4 Выводы

В данной работе проведено исследование комплексного использования классических и спутниковых технологий. Описан способ передачи плановых координат на монтажный горизонт по схеме «прибор вертикального проектирования — ГНСС». Ключевым преимуществом такого способа является необходимость использования только одной точки ПВП на монтажном горизонте, что, в свою очередь, экономит время, снижает трудозатратность и повышает оперативность при геодезических работах.

В качестве контроля грубых ошибок предложен способ контроля расстояний между точками с помощью тахеометра. С целью ослабления ошибок координатных определений спутниковым оборудованием рекомендуются способ нормализации треугольника и использование центральной точки фигуры.

Результаты исследования показывают возможность применения рассматриваемого способа при разбивке плит перекрытий, поскольку в таких условиях выбор мест для установки тахеометра ограничен, а требования к точности выноса горизонтальных конструкций менее строгие, чем для вертикальных.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Моисеев А.Г. Технологическая схема передачи координат на монтажные горизонты // Сборник материалов X Международного научного конгресса «Интерэкспо ГЕО-Сибирь»: в 2 т. Новосибирск: СГГА, 2014. Т. 1. С. 35–38.
2. Hui D. The Design and Implementation of High-Rise Building Construction Based on GPS Positioning Technology // Journal of Architectural Research and Development. 2018. Vol. 2. Iss. 1. P. 1–5. DOI:10.26689/jard.v2i1.262.
3. Яценко А.И., Евстафьев О.В., Брынь М.Я. Геоинформационное обеспечение возведения башни «Бурж Дубай» // Жилищное строительство. 2010. № 1. С. 25–28.
4. Нестеренок М.С. Альтернативные методы геодезического обеспечения строительства высотных зданий // Вестник Белорусского национального технического университета. 2009. № 6. С. 5–8.
5. Cheng Y., Zeng R., Guo S. GNSS Application in Construction Surveying of High-Rise Buildings with Frame Shear Wall Structures // Proceedings of 5th International Conference on Civil Engineering and Architecture. Singapore: Springer, 2023. P. 517–525. DOI:10.1007/978-981-99-4049-3_41.
6. Ворошилов А.П., Шукин И.Ю. Передача осей на монтажные горизонты по координатам точек // Наука ЮУрГУ: материалы 65-й научной конференции: в 2 т. Челябинск: ЮУрГУ, 2013. Т. 1. С. 51–54.
7. Никонов А.В. Способы передачи координат на монтажные горизонты // Сборник материалов XIII Международного научного конгресса «Интерэкспо Гео-Сибирь»: в 2 т. Новосибирск: СГУГиТ, 2017. Т. 1. С. 3–9.
8. Целовальников В.Г. Возможность применения спутниковых радионавигационных систем в современном строительстве // Записки Горного института. 2006. Т. 167, № 1. С. 153–155.
9. Yuan R., Cui X., Zhou Y., et al. GNSS Multibaseline Single-Epoch Millimeter-Level Positioning Method for Construction Survey of Superhigh-Rise Buildings //

Journal of Surveying Engineering. 2024. Vol. 150. Iss. 4. P. 04024010. DOI:10.1061/JSUED2.SUENG-1512.

10. Tran T.S. Geodetic Monitoring of High-Rise Structures According to Satellite Determinations // Proceedings of II International Conference on Agriculture, Earth Remote Sensing and Environment (RSE-II-2023). Les Ulis: EDP Sciences, 2023. Vol. 392. P. 02041. DOI:10.1051/e3sconf/202339202041.

АВТОРЫ **Жимагулов Дмитрий Киримович**

ГБУ «Центр экспертиз, исследований и испытаний в строительстве», Москва, Россия;
ФГБОУ ВО «Московский государственный университет геодезии и картографии»
(МИИГАиК), Москва, Россия
кафедра геодезии, геодезический факультет

Насереддин Хассан Хамадович

✉ geo-gis25@mail.ru

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет геодезии и картографии»
(МИИГАиК), Москва, Россия
кафедра геодезии, геодезический факультет
канд. техн. наук, доцент

🆔 0009-0001-1806-7831

Поступила 16.10.2024. Принята к публикации 19.12.2025. Опубликовано 26.12.2025.



A Study of the Integrated Use of Traditional and Satellite Technologies for Transmitting Planned Coordinates to the Installation Horizon

Dmitriy K. Zhimagulov^{1,2}✉, Hassan H. Nasreddin¹

¹ Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia

² Center for Expertise, Research and Testing in Construction, Moscow, Russia

✉ fazmatis@gmail.com

CITATION Zhimagulov DK, Nasreddin HH. A Study of the Integrated Use of Traditional and Satellite Technologies for Transmitting Planned Coordinates to the Installation Horizon. *Izvestia Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2025;69(6): 67–77. DOI:10.30533/GiA-2025-066.

KEYWORDS geodesic control network, transmission of coordinates to the installation level, vertical projection device, global navigation satellite system, real-time kinematics

ABSTRACT This article describes a method for transferring the planned coordinates to the installation horizon according to the “vertical design device – GNSS” scheme. This method involves the joint use of a vertical design device and satellite equipment. It is assumed that at least three defined points on the installation horizon will be used. On each of them, coordinate determinations are performed by satellite equipment in real-time kinematics mode. The planned coordinates of one of the three points are transmitted to the installation horizon using a vertical projection device. To ensure the reliability of the results and to exclude the influence of the satellite constellation configuration, the study was conducted in four cycles, equidistant from each other in a time interval. As a result of the study, the main errors in determining the coordinates of points were identified: coordinate shift, angular rotation of the axes of the coordinate grid. The above errors relate to the coordinate definitions of satellite equipment. Ways to compensate for these errors have been proposed for each of them. Separately, it is worth noting the error in calculating the distance between two GNSS points. It was used to control gross errors in coordinate definitions. The data obtained during the study confirm the possibility of using this method for the construction of buildings and structures. The accuracy of transmitting marks in this way is 3 mm.

- REFERENCES**
1. Moiseev AG. Tehnologicheskaja shema peredachi koordinat na montazhnye gorizonty [Technological Scheme of Transfer of Coordinates on Assembling Horizons]. *Interexpo GEO-Siberia: Proceedings of X International Scientific Congress*. In 2 vols. Vol. 1. Novosibirsk: SSGA; 2014: 35–38. (In Russian).

2. Hui D. The Design and Implementation of High-rise Building Construction Based on GPS Positioning Technology. *Journal of Architectural Research and Development*. 2018;2(1): 1–5. DOI:10.26689/jard.v2i1.262.
3. Jashhenko AI, Evstaf'ev OV, Bryn' MI. Geoinformatsionnoe obespechenie vozvedeniya bashni "Burzh Dubai" [Geoinformation Support for the Construction of the Burj Dubai Tower]. *Housing Construction*. 2010;1: 25–28. (In Russian).
4. Nesterionok MS. Al'ternativnye metody geodezicheskogo obespecheniya stroitel'stva vysotnyh zdaniy [Alternative Methods for Geodetic Provision of High-Rise Building Construction]. *Bulletin of the Belarusian National Technical University*. 2009;6: 5–8. (In Russian).
5. Cheng Y, Zeng R, Guo S. GNSS Application in Construction Surveying of High-Rise Buildings with Frame Shear Wall Structures. *Proceedings of 5th International Conference on Civil Engineering and Architecture*. Singapore: Springer; 2023: 517–525. DOI:10.1007/978-981-99-4049-3_41.
6. Voroshilov AP, Shhukin IJ. Peredacha osei na montazhnye gorizonty po koordinatam tochek [Transferring Axes to Mounting Horizons Using Point Coordinates]. *SUSU Science: Proceedings of 65th Scientific Conference*. In 2 vols. Vol. 1. Chelyabinsk: SUSU; 2013: 51–54. (In Russian).
7. Nikonov AV. Sposoby peredachi koordinat na montazhnye gorizonty [Methods to Coordinate Transfer on Assembly Level]. *Interexpo GEO-Siberia: Proceedings of XIII International Scientific Congress*. In 2 vols. Vol. 1. Novosibirsk: SSUGT; 2017: 3–9. (In Russian).
8. Celoval'nikov VG. Vozmozhnost' primeneniya sputnikovyyh radionavigacionnyh sistem v sovremennom stroitel'stve [Possibility of Using Satellite Radio Navigation Systems in Modern Construction]. *Journal of Mining Institute*. 2006;167(1): 153–155. (In Russian).
9. Yuan R, Cui X, Zhou Y, et al. GNSS Multibaseline Single-Epoch Millimeter-Level Positioning Method for Construction Survey of Superhigh-Rise Buildings. *Journal of Surveying Engineering*. 2024;150(4): 04024010. DOI:10.1061/JSUED2.SUENG-1512.
10. Tran TS. Geodetic Monitoring of High-Rise Structures According to Satellite Determinations. *Proceedings of II International Conference on Agriculture, Earth Remote Sensing and Environment (RSE-II-2023)*. Les Ulis: EDP Sciences; 2023;392: 02041. DOI:10.1051/e3sconf/202339202041.

AUTHORS **Dmitriy K. Zhimagulov**

Center for Expertise, Research and Testing in Construction, Moscow, Russia;
 Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia
 Department of Geodesy, Faculty of Geodesy

Hassan H. Nasreddin

✉ geo-gis25@mail.ru

Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia
 Department of Geodesy, Faculty of Geodesy
 PhD in Engineering, Associate Professor

🆔 0009-0001-1806-7831

Submitted: October 16, 2024. Accepted: December 19, 2025. Published: December 26, 2025.