УДК 528.48

ПЕРЕДАЧА ПЛАНОВЫХ КООРДИНАТ НА МОНТАЖНЫЕ ГОРИЗОНТЫ МНОГОЭТАЖНОГО ЗДАНИЯ: ВЕРТИКАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ С НЕЗАВИСИМЫМ КОНТРОЛЕМ ПО СВЕТООТРАЖАЮЩИМ МАРКАМ

Ташпулатов Сарвар Анварович
Профессор кафедра «Инженерная геоматика»
Ташкентский архитектурно строительный университет
Ташкент, Узбекистан
Абдумавлонов Абдулазиз Абдурахмон Угли
Студент Ташкентского архитектурно строительного университета
Ташкент, Узбекистан

Tashpulatov Sarvar Anvarovich
Professor, Department of Engineering Geomatics
Tashkent University of Architecture and Civil Engineering
Tashkent, Uzbekistan
Abdumavlonov Abdulaziz Abdurakhmon Ugli
Student, Tashkent University of Architecture and Civil Engineering
Tashkent, Uzbekistan

Аннотация. На модельном примере 17-этажного монолитного жилого дома в Ташкенте рассмотрена передача плановых координат на монтажные горизонты; составляющие погрешности и результаты контроля приняты условно. Из сравниваемых способов требованию к точности поэтажной основы (1 мм) отвечает только вертикальное проектирование через отверстия в перекрытиях. При работе лазерным зенит-прибором в четырёх положениях расчётная погрешность точки составляет 0,74–0,80 мм, при одном положении допуск превышается на высоте более 45 м. Моделирование методом Монте-Карло (200 000 испытаний на каждое значение ошибки) показало, что контроль сторон и диагоналей не реагирует на общий сдвиг точек, а свободная станция по светоотражающим маркам обнаруживает сдвиг 7 мм с вероятностью 94,5 %. Следовательно, эти виды контроля дополняют друг друга.

Ключевые слова: высотное строительство, вертикальное проектирование, лазерный зенит-прибор, монтажный горизонт, свободная станция, светоотражающие марки, метод Монте-Карло.

Abstract. The transfer of plan coordinates to assembly horizons is considered using a model example of a 17-storey monolithic residential building in Tashkent; the error components and control results are model values. Of the compared methods, only vertical projection through floor openings meets the 1 mm accuracy requirement for the floor control network. With a laser plummet used in four positions, the calculated point error is 0.74–0.80 mm; with one position, the tolerance is exceeded above about 45 m. Monte Carlo simulation (200,000 trials per error value) showed that checking sides and diagonals does not respond to a common shift of the points, whereas a free station on reflective targets detects a 7 mm shift with a probability of 94.5%. The two checks therefore complement each other.

Keywords: high-rise construction, vertical projection, laser plummet, assembly horizon, free station, reflective targets, Monte Carlo simulation.

ВВЕДЕНИЕ. С ростом этажности и плотности застройки наземная разбивочная основа быстро теряет видимость на верхние этажи, поэтому оси приходится передавать снизу через само здание. От точности этой операции зависит, совпадут ли по вертикали стены, колонны и лифтовые шахты. Требования к геодезическим работам и технологическим допускам в строительстве установлены нормативными документами [1, 2].

Способы переноса осей подробно описаны Я. А. Сундаковым [3]. В современных работах рассмотрены косвенные методы передачи, включая обратные засечки, расчётные погрешности которых не превышают 5–9 мм [4], особенности переноса осей на стеснённых площадках [5], подвижность пунктов, закреплённых на высотных зданиях [6], и активные системы контроля с применением ГНСС [7]. Т. Вундерлих отмечает, что выше примерно 100 м существенными становятся влияние солнечной радиации и ветра, а зенитное проектирование остаётся распространённым, хотя и трудоёмким способом [8]. При этом в рассмотренных публикациях мало внимания уделено вопросу, какие ошибки способен обнаружить поэтажный контроль. Обычно передачу проверяют по сторонам и диагоналям, но такая проверка оценивает только взаимное положение точек.

Цель исследования – обосновать схему передачи плановых координат на монтажные горизонты 17-этажного здания и количественно оценить, какие

ошибки обнаруживают контроль геометрии и независимый контроль свободной станцией.

Задачи исследования:

1. Определить требования к точности поэтажной основы и выбрать способ передачи координат.
2. Оценить погрешность передачи точки в зависимости от высоты и числа положений прибора.
3. Методом статистического моделирования сравнить чувствительность контроля по сторонам и диагоналям и контроля свободной станцией.

МЕТОДЫ

Характеристика объекта. Рассмотрен 17-этажный монолитный жилой дом (Блок 2 ЖК «Tower Up», Сергелийский район Ташкента). Размеры здания в осях – 27,65 × 21,98 м, высота этажа – 3,16 м, верхний монтажный горизонт – +50,560 м. На фасадах четырёх соседних домов предусмотрены восемь плёночных светоотражающих марок 60 × 60 мм на отметках около +2,5 и +44,2 м с погрешностью положения около 3 мм.

Требования к точности. Допускаемые отклонения несущих конструкций от осей составляют 3–5 мм. Если на геодезические работы отводится не более 35 % допуска, СКО разбивок должна быть около 2 мм, а погрешность точек поэтажной основы – не более 1 мм [3]. Это значение принято критерием при выборе способа передачи.

Схема передачи. На перекрытии первого этажа закрепляются четыре опорные точки А1–А4 (рисунок 1). Они смещены от осей 3, 10, Г и И на 750 мм внутрь здания, чтобы лучу не мешали стены и колонны, и образуют прямоугольник 11,93 × 19,83 м с диагональю 23,142 м. Над точками во всех перекрытиях оставляют отверстия 200 × 200 мм [3].

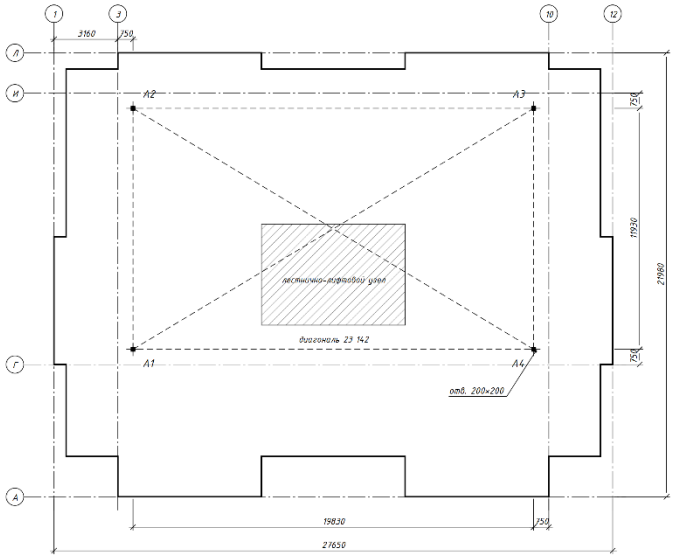


Рисунок 1. Расположение опорных точек на плане типового этажа

Лазерный прибор вертикального проектирования (точность 1 : 200 000) центрируют над опорной точкой. На монтажном горизонте над отверстием укладывают палетку и отмечают на ней лазерное пятно при положениях прибора 0°, 90°, 180° и 270° (рисунок 2, а). Центр четырёх отметок закрепляют на перекрытии и от него разбивают оси этажа.

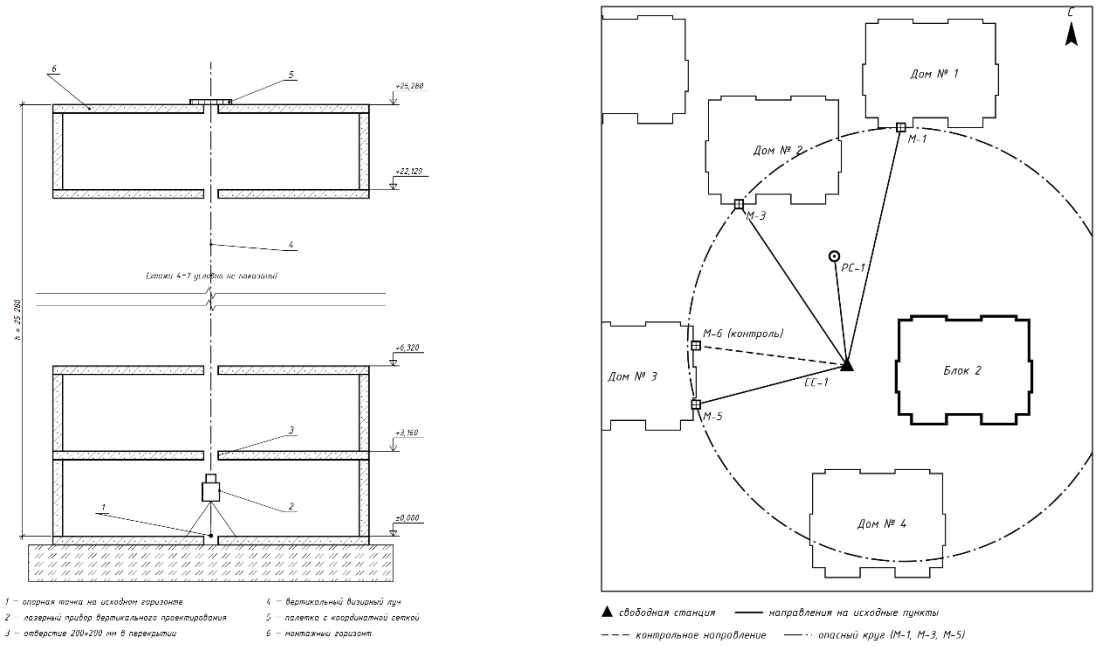


Рисунок 2. Схемы: а) вертикального проектирования точки на монтажный горизонт; б) определения свободной станции по маркам (пример для станции СС-1 на уровне площадки)

Оценка точности. Погрешность точки на монтажном горизонте при работе в четырёх положениях рассчитывали по формуле, составленной на основе [3]:

$$m_{\text{гор}} = \sqrt{m_{\text{ц}}^2 + \frac{m_{\text{v}}^2 + m_{\text{к}}^2 + m_{\text{виз}}^2}{4} + m_{\text{ф}}^2} \quad (1)$$

где $m_{\text{ц}} = 0{,}5$ мм – погрешность центрирования;

$m_{\text{v}} = m_{\text{v}}h/\rho$ – влияние невертикальности визирной линии ($m_{\text{v}} = 1''$, h – высота проектирования);

$m_{\text{к}} = 0{,}3$ мм на 25 м высоты – влияние колебаний и рефракции луча, принятое пропорциональным высоте;

$m_{\text{виз}} = 0{,}4$ мм – погрешность отметки пятна;

$m_{\text{ф}} = 0{,}5$ мм – погрешность закрепления точки. При одном положении прибора делитель 4 отсутствует.

Контроль передачи. На горизонте измеряют четыре стороны и две диагонали прямоугольника А1–А4 с СКО $m_{\text{изм}} = 0{,}8$ мм [9]. Допуск принят равным удвоенной СКО разности [10] и составляет ±2,7 мм на отметке +25,280 и ±2,8 мм на отметке +50,560. Для независимого контроля тахеометр устанавливают свободной станцией по трём маркам (рисунок 2, б) и определяют координаты переданных точек. СКО положения станции с учётом погрешности марок принята 2,5 мм, допуск расхождения – 5,5 мм.

Статистическое моделирование. Чувствительность контроля оценивали методом Монте-Карло для горизонта +25,280. Погрешности считали нормально распределёнными: $m_{\text{гор}}$ и $m_{\text{изм}}$ отнесены к каждой координате, а 2,5 мм – к положению станции. Рассмотрены две ситуации: ошибка Δ в одной из четырёх точек и общий сдвиг всех точек на Δ, например из-за ошибки на исходном горизонте. Ошибка со случайным направлением считалась обнаруженной, если допуск превышен хотя бы на одной линии или хотя бы в одной точке. Для каждого значения Δ выполнено 200 000 испытаний.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Выбор способа передачи. Точность способов по данным [3] и расчёту свободной станции сопоставлена в таблице 1. Требованию 1 мм отвечает только вертикальное проектирование, поэтому оно принято основным способом, а свободная станция – контрольным.

Таблица 1. Сравнение способов передачи координат на монтажные горизонты

Способ	СКО передачи точки, мм	Ограничения
Наклонное визирование теодолитом с пунктов внешней основы	2 (предельная 4)	здания до 16 этажей; переносится только контур перекрытия
Прямая угловая засечка	7	недостаточная точность
Тяжёлый отвес	до 10 на 20 м высоты	для высотных зданий не применяется
Вертикальное проектирование через отверстия в перекрытиях	1,1 на 100 м (0,6 при четырёх положениях)	нужны отверстия во всех перекрытиях
Свободная станция по светоотражающим маркам	2,3–2,5	нужна видимость не менее трёх марок

Точность передачи. Расчёт по формуле (1) даёт погрешность точки от 0,74 мм на втором этаже до 0,80 мм на верхнем горизонте при допуске 1 мм (рисунок 3). На отметке +50,560 центрирование и закрепление дают 0,50 мм² из суммарной дисперсии 0,65 мм², то есть 77 %, а влияние высоты – только 0,11 мм². Поэтому координаты можно передавать сразу с исходного горизонта на любой этаж. При одном положении прибора допуск превышается на высоте более 45 м, на данном объекте – начиная с горизонта +47,400 (1,02 мм). При четырёх положениях расчётный предел составляет около 105 м.

Контроль передачи. В модельной реализации отклонения сторон и диагоналей не превысили 2,0 мм при допуске ±2,7 мм на горизонте +25,280 и 0,5 мм при допуске ±2,8 мм на горизонте +50,560. Расхождения со свободной станцией на горизонте +25,280 составили 0,8–2,7 мм при допуске 5,5 мм (рисунок 4). Грубых ошибок в этой реализации не было, поэтому сравнить виды контроля позволяет только многократное моделирование.

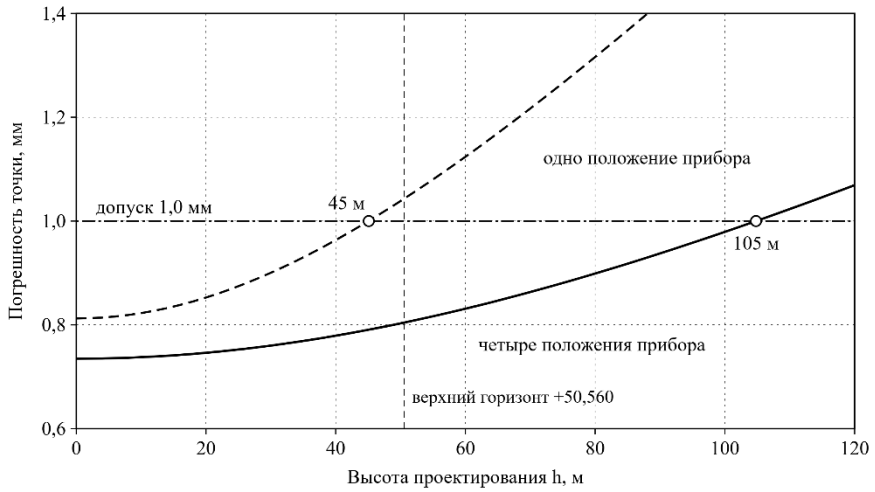


Рисунок 3. Зависимость погрешности передачи точки от высоты проектирования

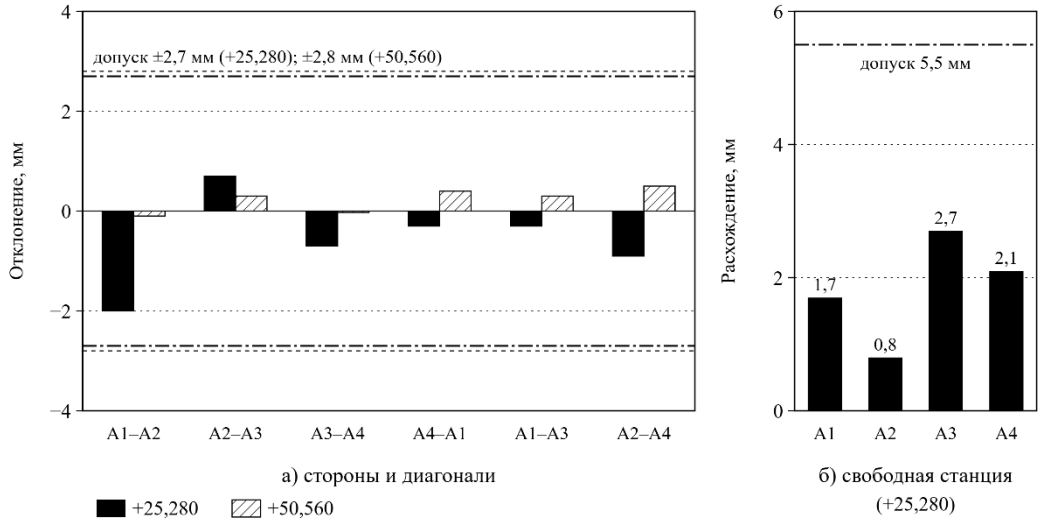


Рисунок 4. Результаты контроля передачи координат (модельная реализация)

ОБСУЖДЕНИЕ

Составляющая погрешности без центрирования и закрепления на высоте 100 м равна по формуле (1) 0,68 мм, что близко к значению 0,6 мм из работы [3]. Основной резерв точности лежит не в приборе, а в аккуратности центрирования и закрепления точки: если полностью исключить невертикальность визирной линии, погрешность на верхнем горизонте уменьшится лишь с 0,804 до 0,795 мм.

Сравнение видов контроля показывает их разную природу. Стороны и диагонали характеризуют только взаимное положение точек, поэтому смещение всей группы для них незаметно. Свободная станция связывает точки с внешней

основой. В работе [8] станцию на верхней площадке определяют по спроектированным точкам; здесь она опирается на марки вне здания и поэтому даёт независимую проверку. Однако её допуск (5,5 мм) значительно больше требования к основе (1 мм), поэтому она служит для поиска грубых ошибок и не заменяет зенит-прибор.

При допуске, равном удвоенной СКО, и шести линиях примерно на каждом четвёртом горизонте хотя бы одна линия выйдет за допуск и без грубой ошибки. Поэтому при превышении допуска следует сначала повторить измерение и лишь затем искать ошибку в передаче.

Ограничения исследования. Размеры здания взяты из проекта, но составляющие погрешности приняты условно, а результаты контроля получены моделированием; натурные измерения не выполнялись. Модель не учитывает крен и колебания здания от солнечного нагрева и ветра, значимые прежде всего для зданий выше 100 м [8], а также возможную подвижность пунктов, закреплённых на зданиях [6]. Поэтому предел 105 м является расчётной оценкой, а не рекомендацией для проектирования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для 17-этажного здания требованию к точности поэтажной основы (1 мм) из рассмотренных способов отвечает только вертикальное проектирование через отверстия в перекрытиях.

Работа прибором в четырёх положениях обязательна: она даёт расчётную погрешность точки 0,74–0,80 мм и позволяет передавать координаты сразу с исходного горизонта, тогда как при одном положении допуск превышается на высоте более 45 м.

Контроль геометрии и контроль свободной станцией дополняют друг друга: первый надёжнее выявляет ошибку в отдельной точке (97,9 % при 5 мм), второй – общий сдвиг группы точек (94,5 % при 7 мм), который первый не обнаруживает.

Рекомендуется вертикальное проектирование с поэтажным контролем геометрии и периодическим контролем свободной станцией. Выводы получены на модельных данных и требуют проверки натурными измерениями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ШНК 3.01.03-09. Геодезические работы в строительстве. – Ташкент, 2009.
2. ГОСТ 21779-82. Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Технологические допуски. – М. : Изд-во стандартов, 1983.
3. Сундаков Я. А. Геодезические работы при возведении крупных промышленных сооружений и высотных зданий. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Недра, 1980. – 344 с.
4. Баран П. І. Методи непрямого передання координат пунктів внутрішньої геодезичної мережі будівлі на монтажний горизонт // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 2019. – № 90. – С. 5–14.
5. Муковский К. В., Рябова Н. М. Особенности переноса осей и точек с известными координатами на монтажный горизонт // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. – 2019. – Т. 6, № 2. – С. 55–60.
6. Горилько А. С., Рябова Н. М., Астапов А. М., Денисович Т. Д. Исследование стабильности положения пунктов обоснования при их закреплении на разных горизонтах инженерных сооружений // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. – 2024. – Т. 1. – С. 37–43.
7. Špiranec L., Thurgood S. Advanced Surveying Techniques for High-Rise Construction: Enhancing Precision and Sustainability // FIG Working Week 2025. – Brisbane, 2025.
8. Wunderlich Th. Optical Plumbing versus RTK-GNSS – Staking out on high Levels // INGEO 2014: 6th International Conference on Engineering Surveying. – Prague, 2014.

9. ГОСТ 26433.2-94. Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Правила выполнения измерений параметров зданий и сооружений. – М. : Изд-во стандартов, 1996.

10. Большаков В. Д., Гайдаев П. А. Теория математической обработки геодезических измерений. – 2-е изд. – М. : Недра, 1977. – 367 с.