



Автоматизация расчета точности передачи координат в высотном строительстве

Г.Е. Валов^{1,2}✉

АФФИЛИАЦИИ

¹ Московский государственный университет геодезии и картографии, Москва, Россия

² Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия

✉ georgevalov@mail.ru

ЦИТИРОВАНИЕ

Валов Г.Е. Автоматизация расчета точности передачи координат в высотном строительстве // Пространственные данные: наука и технологии. 2023. Т. 14. № 3. С. 40–55. DOI:10.30533/scidata-2023-14-09.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

создание внутренней разбивочной основы, передача координат на монтажные горизонты, расчет точности, зенит-прибор, наклонное проектирование, обратная засечка, глобальная навигационная спутниковая система, автоматизация проектирования, разработка программного обеспечения, компьютеризация

АННОТАЦИЯ

Целью исследования является создание универсального решения проблемы выбора способа передачи координат на монтажные горизонты в высотном строительстве. Исследование проводилось методом анализа и последующего синтеза всех способов передачи координат на монтажные горизонты и соответствующих каждому актуальному способу схем расчета точности. В результате были отобраны наиболее актуальные и технологичные способы, отвечающие требованиям геодезического производства в высотном строительстве, и для каждого из отобранных способов передачи координатного положения были выбраны наиболее надежные схемы расчета точности. На основании выбранных схем было разработано новое программное обеспечение в виде приложения

с графическим интерфейсом, состоящим из четырех вкладок. Графический интерфейс разрабатывался в специализированной программе Qt Designer. Создание и редактирование программного кода осуществлялось на языке программирования Python в среде разработки PyCharm. На каждой из вкладок реализована программа, позволяющая рассчитать точность передачи координатного положения на монтажные горизонты основными используемыми в геодезическом производстве способами. Созданный программный продукт обеспечивает геодезисту возможность практически мгновенного верного выбора наилучшего в текущих условиях способа передачи координат, что позволяет в значительной мере автоматизировать процесс проектирования геодезических работ при создании внутренней разбивочной основы возводимого сооружения.

1 Введение

Важнейшим этапом при создании внутренней разбивочной основы возводимого сооружения является передача координат на монтажные горизонты. От переданных точек выносятся рабочие оси, от которых, в свою очередь, производится разбивка всех строительных конструктивов. Передача координат на монтажные горизонты относится к задачам, требующим инженерной (1–4 мм) точности. Более детально требования к точности приведены в нормативной документации (СП 126.13330.2017, МДС 11-19.2009).

При проектировании внутренней разбивочной основы возникает ряд проблем:

- выбор способа передачи;
- выбор схемы расчета;
- автоматизация расчета точности.

Несмотря на значительное количество опубликованных материалов по рассматриваемым проблемам [1–3], **остаются открытыми вопросы:**

1. Как выбирать наилучший в текущих условиях способ передачи?
2. По какой схеме произвести предрасчет точности?
3. Как произвести предрасчет точности с минимальными временными затратами?

Автор считает, что решить данные вопросы можно путем использования программного обеспечения (ПО) для каждой конкретной задачи. На сегодняшний день такого ПО нет.

Целью данного исследования является создание программного продукта для предрасчета точности основных способов передачи координатного положения на монтажные горизонты. **Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:**

- 1) рассмотреть все способы передачи координат и выявить наиболее часто применяемые из них;

- 2) рассмотреть различные схемы предрасчета точности для выбранных согласно п. 1 способов передачи координат;
- 3) проанализировать рассмотренные согласно п. 2 схемы расчета точности и выбрать оптимальные;
- 4) создать графический интерфейс будущего программного продукта на основе выбранных согласно п. 3 схем;
- 5) для созданного интерфейса на основании формул выбранных схем расчета прописать программный код.

2 Материалы и методы

2.1 Анализ методов передачи координат

Достаточно полный и подробный анализ способов передачи координат на монтажные горизонты приведен в работах [4, 5]. В соответствии с данными работами **основные способы передачи координат включают:**

- механический (прямой и обратный отвесы);
- наклонное проецирование;
- способ полярных координат;
- засечки различных конфигураций;
- вертикальное проектирование зенит-прибором;
- вертикальное проектирование электронным тахеометром, снабженным зенитной насадкой и компенсатором малых углов наклона;
- проектирование наклонным лучом электронного тахеометра;
- спутниковый [с применением технологий глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС-технологий)].

Каждый из рассматриваемых способов имеет свои преимущества и недостатки, делающие их в той или иной ситуации наилучшими из решений или, напротив, неприменимыми.

Для передачи координат на высоту пяти, иногда девяти этажей подходит любой из представленных способов передачи. При передаче координат на высотные и сверхвысотные горизонты многие способы неприменимы. Основной причиной, ограничивающей применение этих способов, является ограниченность размеров строительной площадки.

Способы наклонного проецирования, полярных координат, прямые и комбинированные засечки подразумевают измерения на пунктах геодезической разбивочной основы (ГРО) строительной площадки, а следовательно, видимость точки на монтажном горизонте и других пунктов ГРО. Электронный тахеометр

может измерить вертикальный угол в 50–60°, при большем угле наблюдатель не сможет навестись на цель, так как подставка перекроет окуляр зрительной трубы. Исходя из этого можно провести расчеты требуемой величины строительной площадки. Например, необходимо передать координаты на 30-й этаж. Пусть высота одного этажа 3 м. Итого визирная цель находится на высоте 30 · 3 = 90 м. Пусть угол наклона 50°. Тогда

$$x = 90 / \text{tg}(50^\circ) = 75,5 \text{ м.}$$

В реальных условиях такая протяженность строительной площадки встречается крайне редко, особенно в городских условиях. Кроме того, необходима видимость на смежные пункты ГРО, что также не всегда возможно из-за наличия строительных материалов и техники.

На основании приведенных расчетов способы передачи разделены на применяемые и неприменяемые / применяемые редко (Рис. 1).

Рис. 1 Применяемые и неприменяемые / применяемые редко способы передачи координат на монтажные горизонты.

Fig. 1 The applied and non-applicable methods of transmitting coordinates to the mounting horizons.



2.2 Анализ схем расчета точности

2.2.1 ПОРЯДОК РАСЧЕТА ТОЧНОСТИ ВЕРТИКАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЗЕНИТ-ПРИБОРОВ

Общая формула предрасчета точности вертикального проецирования выглядит следующим образом:

1

$$m_{\text{пр}} = \sqrt{\frac{m_H^2 + m_{\text{виз}}^2}{n} + (m_{\text{ц}}^2 + m_{\text{ф}}^2)n},$$

где m_H — погрешность прибора,

$m_{\text{виз}}$ — погрешность визирования,

$m_{\text{ц}}$ — погрешность центрирования,

$m_{\text{ф}}$ — погрешность фиксации проецируемой точки на палетке,

n — число перестановок (шагов) прибора.

Инструментальную погрешность можно вычислить по следующей формуле:

2

$$m_H = m_{\text{проец}} \cdot \frac{H}{100} + 0,3 \text{ мм},$$

где $m_{\text{проец}}$ — точность зенитного проецирования, мм/100 м (берется из технических характеристик прибора),

H — высота проецирования, м.

Погрешность визирования можно вычислить по формуле

3

$$m_{\text{виз}} = \frac{20''}{\Gamma^x \rho''} H,$$

где Γ^x — увеличение зрительной трубы.

Представленные формулы известны и общеприняты в геодезическом сообществе.

2.2.2 ПОРЯДОК РАСЧЕТА ТОЧНОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕКТРОННЫХ ТАХЕОМЕТРОВ

На сегодняшний день приборы вертикального проектирования относительно дороги, поэтому многие предприятия предпочитают заменять указанные инструменты тахеометрами, снабженными зенитной насадкой и компенсатором малых углов наклона.

Также в геодезическом производстве часто возникает ситуация, когда соосность технологических отверстий в межэтажных перекрытиях нарушена. В таких случаях целесообразно применить проектирование наклонным лучом электронного тахеометра.

Исследование точности указанных способов проведено совместно Белорусским национальным техническим университетом и унитарным предприятием «Геокарт». Результаты отражены в цикле статей авторства кандидатов технических наук М.С. Нестеренок и И.Е. Рак [6].

Для вертикального проектирования электронным тахеометром в указанной работе рекомендуется следующая схема расчета точности: угловая погрешность проектирования линейно зависима от точности работы компенсатора малых наклонов, предрасчет точности указанной величины осуществляется по формуле

4

$$m_{Lp} = H \cdot \frac{m_{\text{КОМ}}}{\rho''},$$

где $m_{\text{КОМ}}$ — угловая погрешность компенсации,
 H — высота от прибора до палетки, м.

Погрешность координат спроецированной точки будет вычисляться по следующей формуле:

5

$$m_{xy}^2 = \left(H \cdot \frac{m_{Lp}}{\rho''} \right)^2 + m_{\text{ц}}^2 + m_{\text{фик}}^2,$$

где $m_{\text{ц}}$ — погрешность центрирования прибора,
 $m_{\text{фик}}$ — погрешность фиксации проецируемой точки на палетке.

Формула (5) приведена для расчета точности сквозной передачи координат; в высотном строительстве чаще применяется шаговый способ. Формула (5), приведенная к виду расчета точности шагового способа передачи координат, выглядит следующим образом:

6

$$m_{xy} = \sqrt{\frac{\left(H \cdot \frac{m_{Lp}}{\rho''} \right)^2}{n} + m_{\text{ц}}^2 + m_{\text{фик}}^2}.$$

Для проектирования точки наклонным лучом тахеометра в [6] рекомендуется следующая схема расчета точности: модуль вектора линейного отклонения L между наклонно спроецированной точкой B и искомой точкой A вычисляется (в миллиметрах) следующим образом:

7

$$L = H(v / \rho''),$$

где v — измеренное зенитное расстояние.

Для вычисления координатного положения точки A используются формулы прямой геодезической задачи:

8

$$\begin{cases} X_A = X_B + L \cdot \cos(\beta) \\ Y_A = Y_B + L \cdot \sin(\beta) \end{cases},$$

где β — измеренный горизонтальный угол между осью абсцисс палетки и направлением модуля вектора линейного отклонения L .

Расчетная погрешность определения координатного положения искомой точки A вычисляется по формуле

9

$$m_{xyA}^2 = \left(H \cdot \frac{m_v}{\rho''} \right)^2 + \left(L \cdot \frac{m_\beta}{\rho''} \right)^2 + m_{\text{ц}}^2 + m_{\text{фик}}^2.$$

Первое слагаемое в формуле (9) соответствует погрешности определения модуля вектора линейного отклонения L , а второе — погрешности положения точки A .

Аналогично расчету точности проектирования вертикальным лучом электронного тахеометра формула (9) приводится к виду расчета точности шагового способа передачи координат:

10

$$m_{xyA} = \sqrt{\frac{\left(H \cdot \frac{m_v}{\rho''} \right)^2 + \left(L \cdot \frac{m_\beta}{\rho''} \right)^2}{n} + (m_{\text{ц}}^2 + m_{\text{фик}}^2)n}.$$

2.2.3 ПОРЯДОК РАСЧЕТА ТОЧНОСТИ ПЕРЕДАЧИ КООРДИНАТ ОБРАТНОЙ ЛИНЕЙНО-УГЛОВОЙ ЗАСЕЧКОЙ

Наиболее строгий и универсальный, по мнению автора, способ расчета геодезических засечек — градиентный метод. Подробные исследования расчета этим способом принадлежат доктору технических наук Г.А. Шеховцову и отражены в монографиях¹ [7], а также в цикле статей, например [8, 9].

В основе указанного способа лежат следующие величины: периметр квадратического полигона Π , замыкающая этого полигона q_3 и ее румб $2\varphi'$.

Для расчета необходимо построить инверсионную фигуру. Периметр полигона Π равен сумме $[a_i]$ сторон инверсионной фигуры. Стороны a_i связаны с квадратами модулей градиентов горизонтальных проложений S_i , направлений α_i и горизонтальных углов β_i . Модуль градиента величины — вектор определенной длины, показывающий направление наискорейшего изменения величины.

Универсальная формула периметра квадратического полигона —

11

$$\Pi = [p_s] + [p_\alpha q_\alpha^2] + [p_\beta q_\beta^2].$$

Градиенты направлений q_i равны отношению радиана к прилежающему расстоянию:

12

$$q_i = \rho'' / S_i.$$

¹ Шеховцов Г.А. Оценка точности положения геодезических пунктов. М.: Недра, 1992. 255 с.

Дирекционные углы градиентов направлений равны дирекционным углам самих направлений α_i , следовательно, модули градиентов измеренных углов q_β и их дирекционные углы a' легко найти, зная модули градиентов направлений q_i и угол между ними (измеряемый угол).

Замыкающая полигона q_3 — прямая, направленная от начальной точки T к конечной точке n полигона, q_x и q_y — проекции замыкающей q_3 на координатные оси, угол $2\varphi'$ — румб замыкающей q_3 . В зависимости от четверти румба $2\varphi'$ определяется значение дирекционного угла 2φ .

В случае линейно-угловой засечки формула (11) примет вид:

$$\Pi = [p_s] + [p_\beta q_\beta^2].$$

Проекции замыкающей q_x и q_y будут вычисляться по формуле

13

$$\begin{cases} q_x = [p_\beta q_\beta^2 \sin 2a'] + [p_s \sin 2a] \\ q_y = [p_\beta q_\beta^2 \cos 2a'] + [p_s \cos 2a] \end{cases}$$

Тогда формула замыкающей для обратной линейно-угловой засечки примет вид

14

$$q_3 = \sqrt{q_y^2 + q_x^2} = \sqrt{([p_\beta q_\beta^2 \cos 2a'] + [p_s \cos 2a])^2 + ([p_\beta q_\beta^2 \sin 2a'] + [p_s \sin 2a])^2}.$$

Румб замыкающей находится по формуле

15

$$2\varphi' = \text{arctg}(q_y / q_x).$$

Зная величины Π и q_3 , можно определить следующие расчетные характеристики точности:

- большая A и малая B полуоси эллипса погрешности по формулам

16

$$A = \mu \sqrt{\frac{2}{\Pi - q_3}} \text{ и } B = \mu \sqrt{\frac{2}{\Pi + q_3}};$$

- радиальная погрешность M по формуле

17

$$M = 2\mu \sqrt{\frac{\Pi}{\Pi^2 - q_3^2}};$$

- радиальная погрешность с учетом корреляции M_K по формуле

18

$$M_K = 2\mu \sqrt{\frac{\Pi + q_3 |\sin 2\varphi'|}{\Pi^2 - q_3^2}};$$

- площадь эллипса погрешности F_3 :

19

$$F_3 = 2\pi\mu^2 \sqrt{\frac{1}{\Pi^2 - q_3^2}}.$$

В реальном производстве часто возникает ситуация, когда на один или несколько засекаемых пунктов возможно произвести измерения только по углу:

- расстояние до пункта слишком большое для измерения на отражательную пленку;
- отражательная пленка имеет значительный угол поворота.

Градиентный способ расчета позволяет учесть такие особенности.

2.2.4 ПОРЯДОК РАСЧЕТА ТОЧНОСТИ ПЕРЕДАЧИ КООРДИНАТ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГНСС-ТЕХНОЛОГИЙ

Выделяют четыре основные схемы передачи координат с помощью ГНСС-технологий:

- 1) базовый приемник устанавливается на пункте внешней разбивочной основы;
- 2) пункт установки базового приемника выносится на открытое место с пунктов внешней разбивочной основы;
- 3) в качестве базовой используется станция городской спутниковой сети [спутниковые геодезические сети первого и второго класса (СГС-1 и СГС-2) или частные референцные сети];
- 4) работа ведется от нескольких базовых станций городской спутниковой сети (СГС-1, СГС-2 или частные референцные сети).

В случае установки базового приемника на пункт внешней разбивочной основы расчет ведется по следующей формуле²:

20

$$m_{i_{\text{измер}}}^2 = R^2 \cdot m_{i_{\text{наспорт}}}^2 + m_{\text{Цбаз.п.}}^2 + m_{\text{Цопред.п.}}^2,$$

где $m_{i_{\text{наспорт}}}$ — плановая точность измерения вектора (берется из брефа приемника), $m_{\text{Цбаз.п.}}$ и $m_{\text{Цопред.п.}}$ — погрешность центрирования базового и определяемого приемников на пунктах,

R — коэффициент радиовидимости, принимаемый в случае взаимной видимости всей небесной полусферы равным единице, а в обратном случае — двум.

Плановая точность позиционирования зависит от длины вектора D_i и вычисляется по формуле

21

$$m_{i_{\text{наспорт}}} = a + b \cdot D_i \text{ (км)},$$

где a и b — коэффициенты, приведенные в брефе ГНСС-приемника.

В случае выноса точки установки базового приемника на открытое место с пунктов внешней разбивочной основы расчет точности производится по формуле

22

$$m_{\text{план}} = \sqrt{m_{\text{передачи}}^2 + m_{\text{исх}}^2},$$

² Гришко С.В. Уравнивание спутниковых сетей. Предварительная оценка точности проектов спутниковых измерений: учебно-методическое пособие. Пермь: Изд-во Пермского государственного технического университета, 2010. 19 с.

где $m_{\text{передачи}}$ — погрешность передачи координат; рассчитывается по формуле (20), $m_{\text{исх}}$ — погрешность выноса точки с пунктов ГРО.

Существует вариант, когда в качестве базовой используется станция городской спутниковой сети (СГС-1, СГС-2 или частные референцные сети). Координаты пункта городской сети определяются от пункта внешней разбивочной сети, в дальнейшем он используется как базовый для передачи координат. В этом случае в формуле (20) исчезнет слагаемое $m_{\text{Цопред.п.}}^2$, так как пункты городских сетей всегда оснащены принудительными центрирами. Формула (20) примет следующий вид:

$$m_{\text{измер}}^2 = R^2 \cdot m_{\text{паспорт}}^2 + m_{\text{Цбаз.п.}}^2.$$

Учет средней квадратической погрешности (СКП) исходного пункта $m_{\text{исх}}$ (погрешность определения координат пункта городской спутниковой сети от внешней разбивочной основы) будет производиться по формуле (22).

Всегда более надежно использовать не одну станцию городской спутниковой сети, а несколько базовых станций. Во-первых, это обеспечивает дополнительный контроль, а во-вторых, базовую станцию могут отключить, сдать на поверку, уничтожить и т.д. Поэтому в местах с развитой спутниковой сетью (Москва, Санкт-Петербург и др.) применяется сетевой способ передачи.

Расчет точности проводится на основе параметрического способа метода наименьших квадратов. Сначала составляется матрица коэффициентов нормальных уравнений A размером $n \times m$, где n — количество векторов между приемниками, а m — количество определяемых пунктов:

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1m} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2m} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nm} \end{pmatrix}.$$

Коэффициенты матрицы A в зависимости от направлений векторов в спутниковой сети могут принимать следующие значения: 0, 1 и -1 . Матрица A составляется следующим образом: единицы ставятся напротив пунктов, которые для текущей базовой линии являются определяемыми; -1 — напротив пунктов, которые для текущей базовой линии являются исходными, 0 — напротив пунктов, не входящих в текущую базовую линию. Далее составляется диагональная матрица весов P базовых линий спутниковой сети размером $n \times n$.

$$P = \begin{pmatrix} P_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & P_2 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & P_n \end{pmatrix}.$$

Вес P_i каждого вектора вычисляется в зависимости от точности используемого спутникового приемника по следующей формуле:

23

$$P_i = \frac{\mu^2}{m_{i\text{измер}}^2},$$

где μ — погрешность единицы веса (в качестве нее, как правило, принимается плановая погрешность измерения вектора длиной 1 км),
 $m_{i\text{измер}}$ — плановая СКП измерения i -го вектора, вычисляемая по формуле

24

$$Q = (A^T P A)^{-1} = \begin{pmatrix} Q_{11} & Q_{12} & \dots & Q_{1m} \\ Q_{21} & Q_{22} & \dots & Q_{2m} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ Q_{n1} & Q_{n2} & \dots & Q_{nm} \end{pmatrix}.$$

СКП определения планового положения пунктов из спутниковых измерений $m_{i\text{план}}$ вычисляются по следующей формуле:

25

$$m_{i\text{план}} = \mu \sqrt{Q_{ii}},$$

где μ — погрешность единицы веса,
 Q_{ii} — диагональный элемент матрицы Q , соответствующий определяемому пункту.

3 Результаты

Ранее было выделено **шесть способов передачи координат на монтажные горизонты:**

- 1) передача координат с использованием зенит-приборов;
- 2) передача координат вертикальным лучом электронных тахеометров;
- 3) передача координат наклонным лучом электронных тахеометров;
- 4) обратная угловая засечка;
- 5) обратная линейно-угловая засечка;
- 6) спутниковый с применением ГНСС-технологий.

Для удобства использования программного продукта необходимо, чтобы каждый из способов был реализован в отдельной вкладке с соответствующим названием. При этом два способа передачи с помощью электронного тахеометра, так же как и способы обратных засечек, будут представлены в одной вкладке.

Итого необходимо создать четыре вкладки. Внешний вид вкладок представлен на **Рисунках 2–5**.

Каждое поле на вкладках соответствует той или иной переменной в представленных ранее схемах расчета точности. Каждое поле для ввода подписано. После ввода необходимых переменных и нажатия на кнопку «Расчет» реализуется соответствующая схема расчета точности, в результате в поле напротив кнопки будет выведена искомая погрешность передачи координат.

Рис. 2 Внешний вид вкладки расчета точности вертикального проектирования зенит-прибором.

Fig. 2 The appearance of the tab for calculating the accuracy of vertical design by the Zenith device.

Приборная погрешность, мм/100м: 1
 Увеличение трубы, в краты: 30
 Высота проецирования, м: 300
 Номер перестановки (шаг): 3
 Погрешность центрирования, мм: 0.5
 Погрешность фиксации, мм: 0.5
 Расчёт: 2.33 мм

Рис. 3 Внешний вид вкладки расчета точности способов передачи вертикальным и наклонным лучом электронного тахеометра.

Fig. 3 The appearance of the tab for calculating the accuracy of transmission methods by vertical and inclined beam of the electronic total station.

Передача координат тахеометром, ориентированным как зенит-прибор
 Высота проецирования, м: 300
 Погрешность компенсатора малых наклонов, " : 0.5
 Номер перестановки (шаг): 10
 Погрешность центрирования, мм: 1
 Погрешность фиксации, мм: 0.5
 Расчёт: 3.55 мм
 Передача координат наклонным лучом тахеометра
 Высота проецирования, м: 300
 Угол наклона визирного луча, " : 180
 Погрешность измерения вертикального угла, " : 3
 Погрешность измерения ориентирующего угла на палетке, градусы: 2
 Номер перестановки (шаг): 10
 Погрешность центрирования, мм: 1
 Погрешность фиксации, мм: 0.5
 Расчёт: 4.77 мм

Рис. 4 Внешний вид вкладки расчета точности обратной засечки.

Fig. 4 Appearance of the tab for calculating the accuracy of the reverse serif.

Приближенные координаты определяемого пункта, м: X 10, Y 20, H 300
 Координаты засекаемых пунктов, м (номерация должна соответствовать порядку засечки)
 1 пункт: X 100.553, Y 70.556, H 312.223
 2 пункт: X -50.801, Y 2.355, H 304.450
 3 пункт: X -30.211, Y -100.109, H 306.456
 4 пункт: X , Y , H
 5 пункт: X , Y , H
 6 пункт: X , Y , H
 Точность измерений, мм и " : m_г 3, m_{верт. β} 3, m_{гориз. β} 3
 Расчёт: A 2.14, B 0.52, M 2.2, M_K 2.56, F_э 1.16
 СКП исходных пунктов: 0

Рис. 5 Внешний вид вкладки расчета точности спутникового способа.

Fig. 5 Appearance of the tab for calculating the accuracy of the satellite method.

Погрешность приемника: мм 3 + мм/км 0.5
 Приближенные координаты определяемого пункта, м: X 10, Y 20, H 300
 Погрешность центрирования, мм: 1
 Координаты исходных пунктов, м:
 1 пункт: X 1000, Y 2000, H 30
 2 пункт: X -2000, Y -4000, H 50
 3 пункт: X 3200, Y -500, H 40
 Коэффициент радиовидимости: 1
 СКП исходных пунктов: 4
 Расчёт: 4.84 мм

Для наглядности на **Рисунках 2–5** представлен вид вкладок с введенными переменными и выполненными расчетами.

Программный продукт создавался на языке программирования Python. Графический интерфейс разрабатывался в программе Qt Designer. Код прописывался и редактировался в среде разработки PyCharm. Использовались библиотеки QtPy5 и NumPy.

4 Обсуждение

Представленное в статье ПО разрабатывалось с целью автоматизации проектирования создания внутренней разбивочной основы в высотном строительстве. Созданная программа написана на языке программирования Python с использованием библиотек QtPy5 и NumPy. Библиотеки, как и сам язык программирования Python, распространяются по миру открыто и бесплатно. Для работы пользователю необходимо установить рабочую среду Python, скачать и импортировать в созданный проект библиотеки QtPy5 и NumPy, после чего запустить программный код. Следующим этапом развития созданной утилиты является создание программы-установщика, благодаря которой пользователь сможет освободиться от необходимости процедур скачивания и установки пакетов Python.

5 Выводы

1. Создан программный продукт для предрасчета точности основных способов передачи координатного положения на монтажные горизонты.
2. Функциональность программного продукта позволяет в условиях реального производства:
 - рассчитать точность всех основных способов передачи координат на монтажные горизонты в высотном строительстве;
 - выбрать в текущих условиях наилучший способ передачи координат.

БЛАГОДАРНОСТИ

Автор выражает благодарность кандидату технических наук, доценту кафедры прикладной геодезии геодезического факультета МИИГАиК В.В. Калугину за ценные наставления и советы во время проведения исследования.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Визиров Ю.В. Развитие измерительных технологий передачи проектных осей и высот на монтажные горизонты // Мир измерений. 2015. № 1. С. 16–24.

2. Яндров И.А. Некоторые аспекты применения координатного метода разбивочных работ в строительстве // Изв. вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2004. № 5. С. 41–47.
3. Калугин Ю.В. Выверка конструкций и сооружений по вертикали // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2013. № 10. С. 38–39.
4. Никонов А.В. Способы передачи координат на монтажные горизонты // Материалы XIII Международных научного конгресса и выставки «Интерэкспо Гео-Сибирь 2017». Международная научная конференция «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия». 2017. Т. 1. № 1. С. 3–9.
5. Василюк Т.С. Исследование методов передачи точек планового обоснования на монтажный горизонт на открытой местности // Молодой исследователь Дона. 2018. № 6. С. 12–15.
6. Нестеренок М.С., Рак И.Е., Вексин В.Н. Эффективность вертикального проецирования осевых точек электронным тахеометром при строительстве зданий и сооружений // Наука и техника. Серия 2. Строительство. 2014. № 5. С. 35–39.
7. Шеховцов Г.А. Единый алгоритм уравнивания, оценки точности и оптимизации геодезических засечек. Н. Новгород: Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, 2017. 123 с.
8. Шеховцов Г.А. О точности определения пункта, расположенного в замечательных точках треугольника // Изв. вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2020. Т. 64, № 6. С. 627–634. DOI:10.30533/0536-101X-2020-64-6-627-634.
9. Шеховцов Г.А. О создании плановой разбивочной сети способом обратной линейно-угловой засечки при строительстве зданий повышенной этажности // Приволжский научный журнал. 2019. № 4. С. 98–107.

АВТОР

Валов Георгий Евгеньевич

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет геодезии и картографии»

(МИИГАиК), Москва, Россия

кафедра прикладной геодезии

геодезический факультет

 0009-0006-3431-1917

Поступила 12.08.2023. Принята к публикации 23.10.2023. Опубликовано 30.10.2023.

UDC 528.3

DOI:10.30533/scidata-2023-14-09



Automation of calculating the accuracy of coordinate transmission in high-rise construction

George E. Valov^{1,2}✉

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

² Institute of the Earth Physics of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

✉ georgevalov@mail.ru

CITATION

Valov GE. Automation of calculating the accuracy of coordinate transmission in high-rise construction. *Spatial Data: science, research and technology*. 2023;14(3): 40–55. DOI:10.30533/scidata-2023-14-09.

KEYWORDS

creation of an internal center base, transfer of coordinates to mounting horizons, accuracy calculation, zenith device, inclined design, reverse serif, global navigation satellite system, design automation, software development, computerization

ABSTRACT

The transfer of coordinates to the mounting horizons is the most important stage in creating an internal center base. The paper presents an analysis of all possible transmission methods and their subsequent synthesis that meet the requirements of high-rise construction. For each of the selected methods, the most rigorous scheme for calculating accuracy is presented. In order to automate computing processes, a software product was created that allows calculating the accuracy of all selected methods.

REFERENCES

1. Vizirov YuV. Razvitie izmeritel'nykh tekhnologii peredachi proektnykh osei I vysot na montazhnye gorizonty [Development of measurement technologies for transferring

- design axes and heights to installation horizons]. *Measurements World*. 2015;1: 16–24. (In Russian).
2. Yandrov IA. Nekotorye aspekty primeneniya koordinatnogo metoda razbivochnykh rabot v stroitel'stve [Some aspects of the application of the coordinate method of center work in construction]. *Izvestia vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2004;5: 41–47. (In Russian).
 3. Kalugin YuV. Vyverka konstruksii i sooruzhenii po vertikali [Vertical reconciliation of constructions and structures]. *Construction materials, equipment, technologies of the XXI century*. 2013;10: 38–39. (In Russian).
 4. Nikonov AV. Sposobi peredachi koordinat na montazhnye gorizonti [Methods to coordinate transfer on assembly level]. *Proceedings of the XIII International Scientific Congress and exhibition "Interexpo Geo-Siberia 2017". International Scientific Conference "Geodesy, Geoinformatics, cartography, surveying"*. 2017;1(1): 3–9. (In Russian).
 5. Vasilyuk TS. Issledovanie metodov peredachi toчек planovogo obosnovaniya na montazhnyi gorizont na otkrytoi mestnosti [Investigation of the methods of horizontal control points transfer on assembly level in open terrain]. *Molodoi issledovatel' Dona*. 2018;6: 12–15. (In Russian).
 6. Nesterenok MS, Rak IE, Veksin VN. Effektivnost' vertikal'nogo proetsirovaniya osevykh toчек elektronnykh takheometrom pri stroitel'stve zdaniy i sooruzhenii [Vertical Projection Efficiency of Pivot Points Using Electronic Tacheometer During Construction of Buildings and Structure]. *Science & Technique. Series 2. Civil and industrial engineering*. 2014;5: 35–39. (In Russian).
 7. Shekhovtsov GA. *Edinyi algoritm uravnivaniya, otsenki tochnosti i optimizatsii geodezicheskikh zasechek* [A unified algorithm for equalizing, evaluating accuracy and optimizing geodetic serifs]. Nizhny Novgorod: Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering, 2017. 123 p. (In Russian).
 8. Shekhovtsov GA. O tochnosti opredeleniya punkta, raspolzhenogo v zamechatel'nykh tochkakh treugol'nika [On the accuracy of determining the point located in the remarkable points of the triangle]. *Izvestia vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2020;64(6): 627–634. (In Russian). DOI:10.30533/0536-101X-2020-64-6-627-634.
 9. Shekhovtsov GA. O sozdanii planovoi razbivochnoi seti sposobom obratnoi lineino-uglovoi zasechki pri stroitel'stve zdaniy povyshennoi etazhnosti [About building a planned center network by means of inverse linear-angular notches in construction of high-rise buildings]. *Privolzhsky Scientific Journal*. 2019;4: 98–107. (In Russian).

AUTHOR

George E. Valov

Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia
 Department of Applied Geodesy, Faculty of Geodesy

 0009-0006-3431-1917

Submitted: August 12, 2023. Accepted: October 23, 2023. Published: October 30, 2023.