

Е. И. Аврунев^{1}, Ю. Г. Некрасова^{1,2}*

Проектирование и оценка точности геодезической сети специального назначения для координирования объектов недвижимости (на примере города Новосибирска)

¹Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск, Российская Федерация

²Департамент земельных и имущественных отношений мэрии города Новосибирска, Российская Федерация

* email: avrunev-ei@yandex.ru

Аннотация. В статье рассматриваются достоинства и недостатки способов координирования объектов капитального строительства, обозначенные действующим законодательством Российской Федерации. Делается заключение о целесообразности на застроенной территории населенных пунктов применения комбинированного способа, сочетающего в себе GNSS-технологии, используемую для определения координат базовых станций относительно исходных постоянно действующих базовых станций и традиционных наземных способов для уже непосредственного координирования характерных точек, закрепляющих на местности и в виртуальном пространстве контуров объектов капитального строительства. На конкретном объекте, расположенном в г. Новосибирске, выполнен проект построения геодезической сети специального назначения, реализующий комбинированный способ координирования. Для выполнения априорной оценки точности предложен математический алгоритм, основанный на инструментальной точности измерительного технологического оборудования. На основании применения этого алгоритма сделано заключение о том, что измерительное технологическое оборудование, используемое в настоящее время кадастровыми инженерами, обеспечивает требуемую среднюю квадратическую погрешность определения координат характерных точек, которая установлена действующим законодательством. Обосновано применение математического алгоритма по обработке результатов геодезических измерений для выполнения заключительного контроля точности координирования характерных точек объектов капитального строительства.

Ключевые слова: объекты капитального строительства, характерные точки, координаты, способы координирования, геодезическая сеть специального назначения, измерительное технологическое оборудование, средняя квадратическая погрешность, нормативная точность, математический алгоритм

E. I. Avrynev^{1}, YU. G. Nekrasova^{1,2}*

Design and assessment of the accuracy of a special-purpose geodetic network for coordinating real estate objects (using the example of Novosibirsk)

¹ Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation

²Department of Land and Property Relations of the Novosibirsk City Hall, Russian Federation

* email: avrunev-ei@yandex.ru

Abstract. The article considers the advantages and disadvantages of the methods of coordination of capital construction projects, designated by the current legislation of the Russian Federation. A conclusion is made on the advisability of using a combined method in the built-up area of populated areas, combining GNSS technology used to determine the coordinates of base stations relative

to the original permanent base stations and traditional ground methods for direct coordination of characteristic points, fixing the contours of capital construction projects on the ground and in the virtual space. At a specific facility located in Novosibirsk, a project for constructing a special-purpose geodetic network implementing a combined method of coordination was completed. To perform an a priori assessment of accuracy, a mathematical algorithm is proposed based on the instrumental accuracy of the measuring technological equipment. Based on the application of this algorithm, a conclusion is made that the measuring technological equipment currently used by cadastral engineers provides the required mean square error in determining the coordinates of characteristic points, which is established by the current legislation. The application of a mathematical algorithm for processing the results of geodetic measurements to perform final control of the accuracy of coordination of characteristic points of capital construction projects is substantiated.

Keywords: capital construction objects, characteristic points, coordinates, methods of coordination, special-purpose geodetic network, measuring technological equipment, mean square error, standard accuracy, mathematical algorithm

Введение

Для сбора информации, позволяющей наполнить Единый государственный реестр недвижимости актуальной и достоверной характеристикой об объектах недвижимости, которая необходима для решения многих социально-значимых задач экономики нашего государства выполняются кадастровые работы [5, 6]. Одним из важнейших технологических этапов выполнения этих работ и, в первую очередь комплексных кадастровых работ, является их геодезическое обеспечение [1-4].

В соответствии с приказом Росреестра [7] существуют шесть основных способов определения координат характерных точек (ХТ) границ земельных участков (ЗУ), контуров зданий, сооружений и объектов незавершенного строительства, местоположение которых на местности определяется плоскими прямоугольными координатами в соответствии с установленной действующим законодательством системе координат. Так, например, для города Новосибирска установлена местная система координат Новосибирской области (МСК НСО).

Приведенные в этом приказе способы координирования представляют собой следующие технологические процедуры:

1. Геодезический способ. Данный способ обеспечивает точное определение координат ХТ, однако характеризуется является наивысшей трудоемкостью. При реализации этого способа используются традиционные наземные измерительные технологии, определяющие необходимость обеспечения прямой оптической видимости от исходных пунктов государственных геодезических сетей (ГГС) до определяемых характерных точек [1];

2. Современные спутниковые GNSS-технологии относительно исходных постоянно действующих базовых станций (ПДБС). Данный способ обеспечивает наивысшую точность определения координат и характеризуется значительно меньшей трудоемкостью. Однако он, в ряде случаев, обладает специфическими особенностями, детально изложенными в [1-4] и существенно затрудняющими выполнения данной технологической процедуры;

3. Комбинированный способ относительно исходных пунктов ГССН и ПДБС (сочетание традиционных наземных и спутниковых *GNSS*-технологий). Характеризуется наивысшей универсальностью и точностью, может использоваться в любой очень сложной ситуации, однако требует наличия максимального количества измерительного технологического оборудования, которое обладает максимальной стоимостью;

4. Фотограмметрический способ, который заключается в построении цифровой модели местности по данным дистанционного зондирования Земли. В последнее время на практике выполнения геодезического обеспечения кадастровых работ, как правило, используются данные, полученные с измерительного технологического оборудования, расположенного на беспилотном летательном судне (БЛС). Данный способ наиболее целесообразно применять для геодезического обеспечения комплексных кадастровых работ (ККР) при определении параметров большого числа объектов капитального строительства (ОКС). Однако, в ряде случаев, особенно при нарушении технологии выполнения аэрофотосъёмочных работ, данный способ может не обеспечивать требуемую точность определения координат характерных точек [4];

5. Картометрический способ, который заключается в определении координат характерных точек объектов недвижимости по уже созданной цифровой модели местности или аналоговому картографическому материалу. Он характеризуется минимальной трудоемкостью, однако имеет существенный недостаток - точность зависит от масштаба исходного топографического материала;

Целью настоящего исследования является проектирование и оценка точности комбинированного способа определения координат ХТ объектов капитального строительства в виде геодезической сети специального назначения, запроектированной в одном из кадастровых кварталов г. Новосибирска.

Методы и материалы

Проектирование ГССН выполнялось на ортофотоплане города Новосибирска в отношении ОКС, расположенных на ул. Большевистской в соответствующем кадастровом квартале (рис. 1).

Принципиальная схема построения геодезической сети специального назначения (ГССН), запроектированная с использованием комбинированного способа, представлена на рис. 2.

В анализируемом проекте исходные пункты относительно которых будет выполняться координирование ХТ ОКС, представлены двумя базовыми станциями (I и II), для определения координат которых предлагается использовать *GNSS*-технологии относительно трех исходных пунктов постоянно действующих базовых станций (ПДБС), расположенных соответственно в Новосибирске (NSKV), Мошково (MSHK) и Колывани (KOLV).

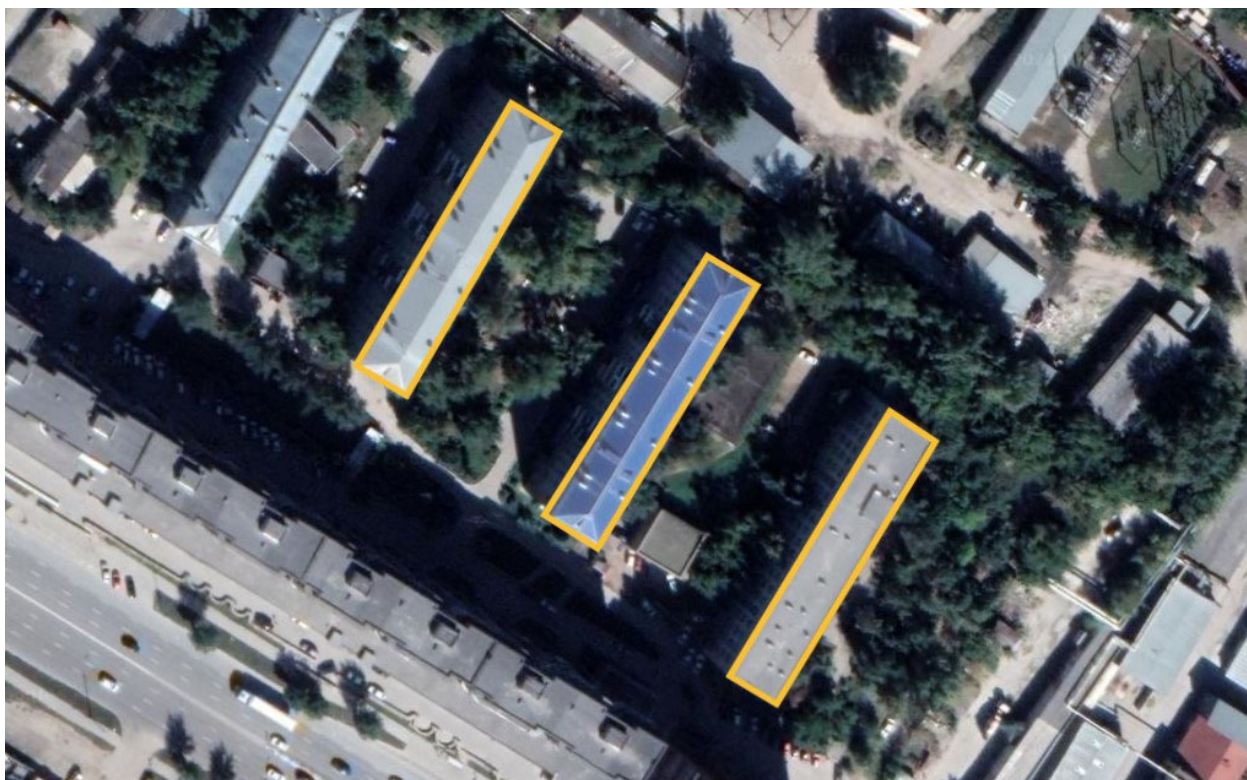


Рис. 1. Расположение ОКС на территории города Новосибирска

Базовые станции располагаются в местах, обеспечивающих устойчивую радиотехническую видимость на исходные пункты ПДБС и прямую оптическую видимость на определяемые характерные точки ОКС.

Спутниковое позиционирование предлагается выполнять в режиме статика с обязательным контролем точности выполненных спутниковых определений, а непосредственное координирование характерных точек ОКС с использованием традиционных наземных измерительных технологий способом полярных координат.

Отметим, что поскольку объекты капитального строительства находятся на землях населённых пунктов, то необходимая точность определения координат их характерных точек составляет следующую величину: $m_{НОРМ}=0.1$ м.

При выполнении оценки точности выполненного проекта учтем, что средняя квадратическая погрешность (СКП) определения координат ХТ будет определяться как точностью *GNSS*-технологии, так и наземных измерительных технологий. Следовательно нормативная СКП для земель населенных пунктов при условии применения принципа равного влияния может быть представлена с использованием следующего выражения формуле

$$m_{НОРМ}^2 \leq m_{GNSS}^2 + m_{КООРД}^2. \quad m_{КООРД} = m_{GNSS} \leq \frac{m_{НОРМ}}{\sqrt{2}}. \quad (1)$$

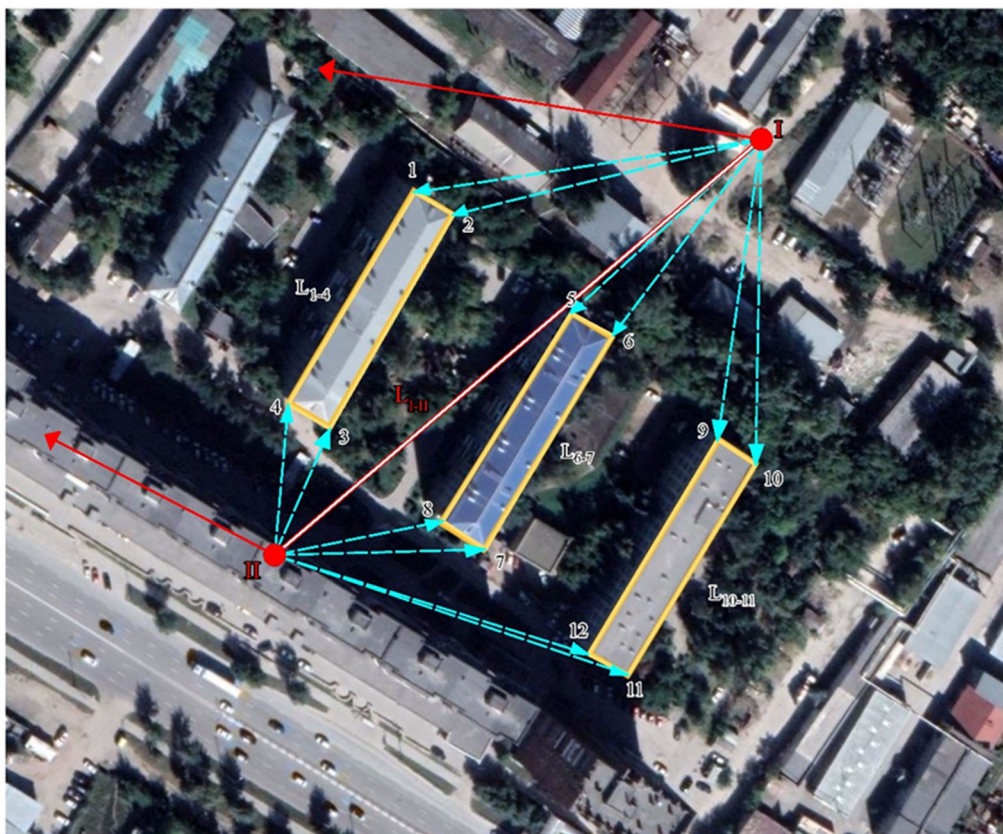


Рис. 2. Принципиальная схема координирования характерных точек с использованием наземных и GNSS-технологий (режим статика)

При выполнении априорной оценки точности целесообразно использовать паспортные точности проектируемого для выполнения измерительного технологического оборудования. Следовательно, уравнение (1) целесообразно представить в следующем виде

$$m_{GNSS} = a + b \cdot L_{(KM)}^{GNSS} \leq \frac{m_{HOPM}}{\sqrt{2}} = 3 \text{ мм} + 0,5 \text{ мм} \cdot 40_{(KM)} = 2,3 \text{ см} \leq \frac{10 \text{ см}}{\sqrt{2}} = 7,1 \text{ см},$$

$$m_{КООРД} = \sqrt{m_L^2 + \frac{m_\beta^2}{\rho^2} L_{КООРД}^2} = \sqrt{0,2_{\text{см}}^2 + \frac{5^2}{206265^2} 5000_{\text{см}}^2} = 2,5 \text{ см} \leq \frac{10 \text{ см}}{\sqrt{2}} = 7,1 \text{ см},$$
(2)

где a , b – коэффициенты, характеризующие паспортную точность GNSS-приемника; L^{GNSS} – максимальное удаление исходной ПДБС от определяемой базовой станции; m_L , m_β – соответственно инструментальная точность используемого электронного тахеометра; $L^{КООРД}$ – максимальное удаление определяемой ХТ от исходной базовой станции.

При реализации данного проекта предусматривается использование электронного безотражательного тахеометра GeoMax ZOOM30 с инструментальной точностью $m_\beta = 5''$ и точностью линейных измерений $m_L = 2 \text{ мм} + 1 \text{ мм} \cdot L_{(KM)}$.

При реализации GNSS-технологий предусматривается использование спутникового приемника Leica GS07, который в режиме статика характеризуется следующими точностными коэффициентами: $a=3$ мм., $b=0,5$ мм.

Отметим, что измерительное технологическое оборудование с такими точностными характеристиками в настоящее время используется кадастровыми инженерами при выполнении геодезического обеспечения кадастровых работ.

Следовательно СКП определения координат наиболее слабой характерной точки ОКС, наиболее удаленной от исходной базовой станции, составляет следующую величину, которая не превышает установленный нормативный допуск для земель населенных пунктов

$$m_{XT} = \sqrt{m_{GNSS}^2 + m_{КООРД}^2} \leq m_{НОРМ}, m_{XT} = \sqrt{2,3^2 + 2,5^2} = 3,5 \text{ см} \leq 10 \text{ см}. (3)$$

Таким образом, исходя из инструментальной точности используемого измерительного технологического оборудования представленный проект ГССН соответствует установленным нормативным требованиям. Однако, при его реализации на местности фактическая точность геодезических измерений, в силу различных возмущающих воздействий [1], может существенно отличаться от инструментальной.

Поэтому после выполнения натурных геодезических измерений по определению базовых векторов при реализации GNSS-технологии целесообразно использовать алгоритм, основанный на использовании трех исходных пунктах ПДБС и предложенный в работе [1].

$$\Delta_X = \begin{bmatrix} \Delta_{X1} = x_I^{NSKV} - x_I^{MSHK} \\ \Delta_{X2} = x_I^{NSKV} - x_I^{KOLV} \\ \Delta_{X3} = x_{II}^{NSKV} - x_{II}^{MSHK} \\ \Delta_{X4} = x_{II}^{NSKV} - x_{II}^{KOLV} \end{bmatrix}; \quad \Delta_Y = \begin{bmatrix} \Delta_{Y1} = y_I^{NSKV} - y_I^{MSHK} \\ \Delta_{Y2} = y_I^{NSKV} - y_I^{KOLV} \\ \Delta_{Y3} = y_{II}^{NSKV} - y_{II}^{MSHK} \\ \Delta_{Y4} = y_{II}^{NSKV} - y_{II}^{KOLV} \end{bmatrix};$$

$$\Delta = \begin{bmatrix} \Delta_1 = \sqrt{\Delta_{X1}^2 + \Delta_{Y1}^2} \leq t \frac{m_{НОРМ}}{\sqrt{2}} \\ \Delta_2 = \sqrt{\Delta_{X2}^2 + \Delta_{Y2}^2} \leq t \frac{m_{НОРМ}}{\sqrt{2}} \\ \Delta_3 = \sqrt{\Delta_{X3}^2 + \Delta_{Y3}^2} \leq t \frac{m_{НОРМ}}{\sqrt{2}} \\ \Delta_4 = \sqrt{\Delta_{X4}^2 + \Delta_{Y4}^2} \leq t \frac{m_{НОРМ}}{\sqrt{2}} \end{bmatrix}; \quad m_0 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^4 \Delta_i^2}{n}} \leq 2 \frac{m_{НОРМ}}{\sqrt{2}}, \quad (4)$$

где t – статистический коэффициент перехода от СКП к предельному значению и принимаемый при доверительной вероятности $\beta=0,95$ равным $t=2$.

Отметим, что при наличии прямой оптической видимости между базовыми станциями для надежного контроля *GNSS*-определений целесообразно использовать контрольную длину линии L_{I-II} , измеренную с использованием электронного тахеометра.

$$\Delta = L_{I-II} - \sqrt{(x_I - x_{II})^2 + (y_I - y_{II})^2} \leq t \frac{m_{НОРМ}}{\sqrt{2}}, \quad (5)$$

По аналогии статистический критерий (5) необходимо применять и для заключительного контроля точности выполненного координирования характерных точек, закрепляющих на местности контура ОКС.

Заключение

В результате выполненного теоретического исследования в данной статье сформулируем следующие основные выводы:

1. В условиях сложной городской застройки для обеспечения заданной нормативной СКП определения координат ХТ, определяющих на местности контура ОКС, рекомендуется применение комбинированного способа координирования, основанного на построении геодезической сети специального назначения, в которой сочетаются *GNSS*-технология для определения координат базовых станций и традиционные наземные технологии в виде способа полярных координат для координирования характерных точек относительно базовых станций;
2. Априорную оценку точности запроектированной ГССН целесообразно выполнять с использованием алгоритма (1 – 2), основанного на инструментальной точности предназначенного для реализации проекта измерительного технологического оборудования;
3. Имеющееся в наличии у кадастровых инженеров измерительное технологическое оборудование и расположение исходных ПДБС на территории города Новосибирск обеспечивает необходимую и, даже, как правило, избыточную точность определения координат ХТ объектов капитального строительства;
4. Учитывая высокую ответственность определения координат характерных точек ОКС и наличия на городской территории большого числа возмущающих воздействий на точность геодезических измерений рекомендуется окончательный контроль выполнять с использованием математического алгоритма (4, 5), обеспечивающего фактическое определение СКП выполненного координирования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аврунев Е.И. Геодезическое обеспечение кадастровых работ / Текст: монография // Е.И. Аврунев, С.Р. Горобцов. – Новосибирск: СГУГиТ, 2021. – 209 с.
2. Аврунев, Е. И., Метелева, М. В. О совершенствовании системы координатного обеспечения государственного кадастра недвижимости // Вестник СГГА. – 2014. – Вып. 1 (25). – С. 60-66.

3. Аврунев, Е. И., Пархоменко, И. В. Совершенствование координатного обеспечения государственного земельного надзора. // Вестник СГУГиТ. – 2016. – Вып. 2 (34). – С. 45-52.
4. Аврунев, Е. И. Проектирование геодезического обоснования для координатного обеспечения кадастровых работ в территориальном образовании. – Вестник СГУГиТ. – 2019. – Т. 24, № 1. – С. 1-12.
5. Карпик, А. П. Сущность геоинформационного пространства территорий как единой основы развития государственного кадастра недвижимости / А. П. Карпик, В. С. Хорошилов // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. -2012. - № 1. – С. 134-136.
6. Карпик, А. П. Информационное обеспечение геодезической пространственной информационной системы. / А. П. Карпик. – Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2013. - № 4/С. – С. 70-73.
7. Приказ Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии от 23 октября 2020 г. № П/0393 «Об утверждении требований к точности и методам определения координат характерных точек границ земельного участка, требований к точности и методам определения координат характерных точек контура здания, сооружения или объекта незавершенного строительства на земельном участке, а также требований к определению площади здания, сооружения, помещения, машино-места». [Текст] (ред. от 29.10.2021).

© Е. И. Аврунев, Ю. Г. Некрасова, 2025