

Яндров Игорь Алексеевич

**ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА
КООРДИНАТНОГО МЕТОДА РАЗБИВОЧНЫХ РАБОТ
В СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

25.00.32 – Геодезия

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Москва 2009

Работа выполнена на кафедре прикладной геодезии

Московского государственного университета геодезии и картографии (МИИГАиК)

Научный руководитель: кандидат технических наук, профессор

Михелев Давид Шаевич

Официальные оппоненты:

Ведущая организация:

Защита диссертации состоится “4” июня 2009г. в 14 часов на заседании диссертационного совета Д 212.143.03 при Московском государственном университете геодезии и картографии по адресу: 105064. Москва К-64, Гороховский пер., 4, МИИГАиК, зал заседаний ученого совета.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МИИГАиК.

Автореферат разослан “ ____ ” _____ 2009г.

Ученый секретарь

Диссертационного совета

Климков Ю.М.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Современные тенденции в строительстве, породившие оригинальные идеи в архитектуре, должны быть подкреплены новыми методами и приемами инженерно-геодезических работ и, прежде всего, разбивочных. В последнее время возросла интенсивность строительства. Все сильнее проявляется тенденция к возведению в крупных городах жилых высотных зданий сложной конфигурации, имеющих нетиповые этажи и элементы конструкций различных форм. В связи с этим активно переходят к строительству зданий и сооружений из монолитного железобетона. Характерной чертой современного строительства является стремление к созданию целостных жилых зданий и сооружений, комплексно благоустроенных и завершенных в архитектурно-художественном плане, где наряду с жильем и инженерными службами создаются учреждения сферы обслуживания, обеспечивается внутреннее благоустройство. Следует также отметить, что с ростом этажности жилищного строительства повышается и плотность застройки, и в дальнейшем застройка крупных городов будет преимущественно проводиться многоэтажными жилыми высотными зданиями.

Все это требует современного подхода к процессу строительного-монтажного производства в целом и геодезическим, а именно разбивочным работам, в частности. Общеизвестно, что по своей природе и значимости разбивочные работы могут быть выделены в отдельный класс инженерно-геодезических работ. Это связано, в том числе с массовостью разбивочных работ, так как ни одно строительство без них не обходится. Большое разнообразие геодезических измерений с использованием различных схем, методов и средств измерений в сложных и разнообразных строительных условиях характерны именно разбивочным работам в строительстве и это заставляет искать все новые нетрадиционные решения. В силу особой ответственности, результаты разбивочных работ в обязательном порядке контролируются в процессе исполнительных съемок. Причем исполнительные съемки должны не только описывать фактическое положение объекта строительства или его отдельных конструктивных элементов, но и служить регулятором всего процесса строительства.

Все вышесказанное и определяет поиск новых решений выполнения разбивочных работ, а также необходимость решать принципиальные вопросы

разбивочных работ по-новому и на ином теоретическом уровне. Это обстоятельство и послужило основным мотивом исследований и разработок, выполненных автором в настоящей диссертационной работе и изложенных в ее содержании.

Цель работы. Целью диссертационной работы является разработка теоретических основ и практических рекомендаций по совершенствованию координатного метода разбивочных работ путем рационального сочетания современных средств измерений и методов разбивочных работ.

Научная новизна работы:

- выявлены особенности применения координатного метода разбивочных работ при строительстве зданий, сооружений,
- рассмотрен вопрос преобразования координат для применения спутниковых технологий в процессе строительства,
- выполнен анализ возможностей использования спутниковых методов в процессе строительства,
- разработаны принципы составления проекта производства геодезических работ (ППГР) с применением координатного метода и предложен его вариант.

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы докладывались на научно-практических конференциях студентов, аспирантов и молодых ученых МИИГАиК, а также в ходе проведения производственных исследований.

Практическая значимость работы. Результаты выполненных исследований и разработок позволяют более широко использовать координатный метод разбивочных работ в строительстве. Разработан алгоритм преобразования координат из WGS-84 с строительную систему, который может быть использован при применении спутниковых приемников в строительстве. Разработки по использованию координатного метода и в частности, применению спутниковых методов измерений в процессе строительства нашли свое отражение во “Временных рекомендациях по организации технологии геодезического обеспечения строительства многофункциональных высотных зданий”, которыми должны руководствоваться геодезические службы строительных организаций г. Москвы. Принципы составления проекта производства геодезических работ с учетом координатного метода и в качестве примера сам проект производства геодезических работ могут быть использованы в практике разработки

подобных проектов для геодезического обеспечения строительства различных объектов.

Результаты, выносимые на защиту:

- особенности применения координатного метода разбивочных работ в строительстве,

- метод преобразования координат для применения спутниковых технологий в строительстве зданий,

- обоснование применения координатного метода разбивочных работ и возможности использования спутниковых методов в процессе строительства,

- принципы составления проекта производства геодезических работ (ППГР) с применением координатного метода.

Структура и объем диссертации. Диссертация изложена на 122 страницах и состоит из введения, восьми глав, заключения, списка литературы и приложения. Список использованных источников включает 49 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснован выбор темы, показана ее актуальность, научная новизна и практическая значимость применения координатного метода разбивочных работ. К использованию координатного метода привело настоящее состояние строительства и методов измерений. Поэтому целесообразно рассмотреть современные тенденции в строительстве зданий и современное состояние методов разбивочных работ, что и было сделано в первой и второй главе соответственно.

В первой главе отражено состояние и основные направления строительства. Показаны основные преимущества современного монолитного домостроения. В стесненных условиях строительства, особенно в условиях мегаполиса, монолитные дома позволяют обеспечить то, что хочет заказчик - любую конфигурацию здания, количество этажей, фасад, планировку. Таким образом, оказываются развязанными руки у архитектора, и здания внешне могут быть разнообразны и интересны. Увеличение темпов строительства, комбинированные решения в выполнении наружных стен, звукоизоляция, жесткость и прочность, стоимость монолитного здания, сопоставимая со стоимостью панельных домов, позволяют сделать вывод, что за монолитным домостроением большое будущее.

Вторая глава

Отмеченные особенности современного строительства привели к необходимости пересмотра методов геодезического обеспечения высотного строительства. В связи с этим во второй главе выполнен обзор состояния методов разбивочных работ в строительстве.

Рассматриваются традиционные методы разбивочных работ по установке элементов конструкций в плане, по высоте и установке конструкций и оборудования в вертикальное положение. Однако в настоящее время традиционные методы и средства геодезического обеспечения при возведении строительных объектов не удовлетворяют возросшим масштабам и темпам строительства, а также уровню механизации и автоматизации строительно-монтажных работ. В связи с этим появилась необходимость в создании новых методов геодезического обеспечения при возведении строительных объектов. Наряду с уже имеющимися на сегодняшний день методами был рассмотрен новый координатный метод разбивочных работ.

Третья глава

В третьей главе отражена сущность координатного метода и поставлены задачи исследований.

С применением современных приборов и соответствующего программного обеспечения в сложных, стесненных условиях строительной площадки координатный метод обладает рядом преимуществ по сравнению с традиционными способами, однако требует решения ряда вопросов теоретического и организационного характера.

Для сложных по конфигурации современных зданий или комплексов, возводимых из монолитного железобетона, может быть использован координатный метод, причем не только для выноса основных осей, но и для всего разбивочного цикла, включая монтаж строительных конструкций. Для применения координатного метода прежде всего необходимо неременное для геодезического обеспечения строительства условие: весь объем точек, фиксирующих положение разбивочных осей и характерных элементов конструкций, должен иметь координаты в какой-либо системе координат данного строительства, то есть по результатам соответствующей аналитической подготовки необходимо определить все разбивочные элементы (а это не только горизонтальные и вертикальные углы, горизонтальные и наклонные расстояния, а прежде всего сами координаты X , Y , H). Зная координаты характерных точек осей и элементов конструкций

здания или сооружения, эти точки можно выносить в натуру любым удобным в данных строительных условиях способом, опираясь на координаты пунктов внешней и внутренней разбивочной сети.

Внешняя разбивочная сеть может быть создана путем различных линейно-угловых построений как с помощью электронных теодолитов или тахеометров, так и с помощью спутниковых методов измерений.

Следует подчеркнуть, что координатный метод разбивочных работ лучше других отвечает задачам современного строительства, поскольку обладает универсальностью. При наличии координат X , Y , H , характерных точек объекта, метод позволяет выносить конструкции в натуру при наличии лишь только оптической видимости с произвольной точки стояния прибора (тахеометра) на точки конструкций. При наличии спутниковых приемников даже оптической видимости необязательно, необходимо наличие “видимости” на созвездие спутников.

Очевидно, что для реализации координатного метода разбивочных работ наиболее целесообразно применять современные производительные приборы: электронные теодолиты и тахеометры, спутниковые приемники. Однако даже при использовании современных приборов и методов разбивочных работ возникают некоторые сложности и проблемы. Это вопросы связанные реализацией координатного метода, организацией разбивочных работ. В связи с этим, целью диссертационной работы является разработка рекомендаций по совершенствованию координатного метода разбивочных работ путем рационального сочетания современных средств измерений и методов разбивочных работ.

Представляется, что для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- выявить особенности применения координатного метода разбивочных работ при строительстве зданий.
- рассмотреть вопрос преобразования координат для применения спутниковых технологий в процессе строительства
- выполнить анализ возможностей использования спутниковых методов в процессе строительства
- разработать принципы составления проекта производства геодезических работ (ППГР) с применением координатного метода и предложить вариант ППГР с применением координатного метода.

Четвертая глава

Четвертая глава посвящена особенностям применения координатного метода. Для его применения необходимо, чтобы весь объем характерных пунктов строительной площадки имел координаты в какой-либо единой системе координат данного строительства. Иными словами встает вопрос о преобразовании систем координат.

К тому же должна быть создана внешняя разбивочная сеть, сохраняющая систему координат на весь период строительства и состоящая от простых построений, определяющих положение точек пунктов на близлежащих элементах ситуации, до сложных линейно-угловых сетей. В любом случае, пункты должны, по возможности, располагаться в местах просматриваемых со всех горизонтов строительства. Для посадки объекта в запроектированном месте, отрытия котлована и строительства подземной части здания внешняя разбивочная сеть должна быть привязана к местной системе координат, т.е. пункты внешней разбивочной сети должны иметь координаты в двух системах: местной и строительной.

При возведении надземной части здания на исходном горизонте создается внутренняя разбивочная сеть с пунктами, расположенными в местах, удобных для вертикального проектирования на монтажные горизонты и дальнейших разбивочных работ. Координаты пунктов внутренней разбивочной сети определяются в принятой для данного строительства системе от пунктов внешней разбивочной сети.

Перенос пунктов внутренней разбивочной сети на монтажные горизонты осуществляется, высокоточным прибором вертикального проектирования с последующим контролем путем линейно-угловых измерений на пунктах внутренней разбивочной сети на каждом монтажном горизонте или измерений с использованием спутниковых приемников. Фазовые измерения по сигналам спутниковых систем ГЛОНАСС и GPS целесообразно производить в статическом дифференциальном режиме по стандартной схеме: один приемник на время наблюдений устанавливается на пунктах исходной разбивочной сети, другой перемещается по пунктам внутренней разбивочной сети.

Разбивочные работы на монтажном горизонте производятся электронным тахеометром полярным методом или применением различного вида засечек от пунктов базовой разбивочной сети.

Электронный тахеометр можно применить на всех этапах производства: от создания внешней и базовой разбивочной основы, выноса в натуру основных осей и элементов конструкций до геометрического обеспечения строительно-монтажных работ, контроля за соблюдением геометрических параметров строительных конструкций и исполнительной съемки. Спутниковые приемники можно использовать на всех этапах, кроме определения местоположения строительных конструкций.

Необходимо отметить, что спутниковые измерения в строительстве зданий могут служить альтернативой переносу пунктов внутренней разбивочной сети с помощью прибора вертикального проектирования. Спутниковые измерения могут быть выполнены в качестве контроля переноса пунктов внутренней разбивочной сети вместо угловых и линейных измерений между уже перенесенными на монтажный горизонт пунктами, а также для разбивочных работ на монтажном горизонте в режиме кинематики в реальном времени RTK.

На исходном и монтажных горизонтах пункты внутренней разбивочной сети могут располагаться в любых удобных для спутниковой технологии местах при последующем выносе в натуру местоположения строительных конструкций. Но при этом координаты пунктов внутренней разбивочной сети на каждом горизонте будут различные и придется каждый раз заново рассчитывать разбивочные элементы для выноса строительных конструкций, в связи с этим необходимо организовать процесс оперативного планирования геодезических работ и быстрой обработки полевых данных с самого начала строительства. При этом в идеале в качестве исходных данных нужно иметь чертежи и каталоги координат характерных точек в цифровой форме, для дальнейшего переноса в данные в тахеометр или спутниковый приемник.

Хотелось бы подчеркнуть, что именно координаты, а не характеристики взаимного положения точек (расстояния и углы) целесообразно иметь в цифровом виде, поскольку наличие координат характерных точек разбивки позволяет выносить эти точки независимо от геометрии геодезической сети и расположения строительной техники и оборудования на строительной площадке.

Исполнительную съемку целесообразно производить электронным тахеометром с сохранением координат характерных точек во внутренней или внешней (карте памяти) прибора с последующей передачей данных в компьютер для построения исполнительных чертежей.

Для приборной реализации координатного метода необходимо чтобы электронный тахеометр был оснащен встроенным программным обеспечением именно для производства разбивочных работ: определение и вынос в натуру пространственных координат, привязка прибора к станции через различного вида засечки или через внецентренное стояние. Наличие лазерного указателя цели позволит быстро выносить характерные точки, а возможность измерения расстояний без отражателя – производить исполнительную съемку недоступных объектов. При использовании спутниковых приемников необходимо предусмотреть возможность их совместного использования с электронным тахеометром.

Для всех приборов предъявляется требование: возможность передачи в прибор проектных координат характерных точек для разбивочных работ и получение с прибора координат пунктов разбивочной сети для обработки и уравнивания, а также фактических координат характерных точек конструкций для построения разбивочных чертежей. Также должно быть программное обеспечение, соответствующее решению задач по обработке полевых измерений, уравниванию и оценке точности геодезических разбивочных сетей с используемыми видами приборов, для преобразования координат при GPS измерениях и подготовки исполнительных чертежей.

Пятая глава

Пятая глава посвящена вопросу преобразования координат для применения спутниковых технологий в строительстве зданий.

Используемые системы координат при строительстве должны быть определены уже в начальный период строительства и показаны в проекте производства геодезических работ. Привязки отдельных элементов здания или сооружения должны быть даны относительно осей в установленной для данного объекта строительной системе координат.

При применении спутниковой технологии необходимо знать координаты выносимых в натуру точек конструкций, но не в системе координат WGS-84, а в строительной системе координат, где оси X , Y параллельны осям здания, а ось Z направлена вдоль отвесной линии. Кроме того, в начальный период строительства для посадки объекта в

запроектированном месте координаты точек внешней разбивочной основы задаются в общегородской системе координат.

Таким образом, имеются три системы координат, но на весь период строительства удобно выбрать и работать лишь с одной системой. В связи с этим возникает задача преобразования координат, то есть определения параметров перехода от одной системы координат к другой.

Для того, чтобы определить параметры преобразования необходимо, чтобы в двух системах координат были известны координаты ряда связующих пунктов. Оптимальным расположением связующих пунктов является их равномерное расположение по всей территории строительной площадки. Основываясь на том, что размер площадки строительства в среднем составляет 100×100м можно считать, что используемые системы координат прямоугольные и произвольно ориентированные друг по отношению к другу, причем общегородская и строительная системы – топоцентрические, а WGS-84 - геоцентрическая.

Задача формулируется следующим образом: имеются координаты пунктов в двух системах координат: WGS-84 и строительной системе координат. Необходимо вычислить элементы разворота и сдвиги по осям координат. Общее преобразование описывается соотношением, где каждый связующий пункт позволяет составить следующее уравнение:

$$\begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_{WGS} \\ y_{WGS} \\ z_{WGS} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \end{bmatrix} \quad (1)$$

где

$$\begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \end{bmatrix} - \bar{r}_c \text{ вектор координат пункта в строительной системе,}$$

$$\begin{bmatrix} x_{WGS} \\ y_{WGS} \\ z_{WGS} \end{bmatrix} - \bar{r}_{WGS} \text{ вектор координат пункта в системе WGS - 84,}$$

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} - \text{ортогональная матрица } \Pi \text{ разворота систем координат,}$$

$$\begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \end{bmatrix} - \Delta \bar{r} \text{ вектор сдвига систем координат.}$$

Ортогональная матрица Π разворота систем координат представляет собой произведение матриц последовательного поворота R_1, R_2, R_3 :

$$\Pi = R_3 \cdot R_2 \cdot R_1 \quad (2)$$

и содержит 9 элементов a_{ij} , каждый из которых выражается через 3 угла разворота соответствующих осей координатных систем. Выразим эти углы через широту B , долготу L и азимут A (рис. 1).

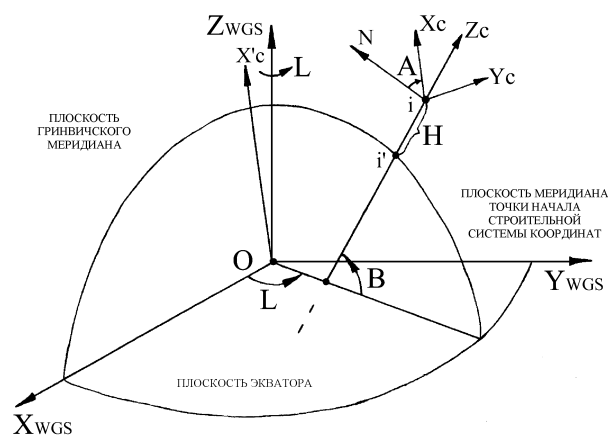


Рис. 1 Углы разворота систем координат

Координаты любого пункта в этой системе, кроме декартовых координат можно задать и через эллипсоидальные геодезические координаты B, L, H . Здесь следует заметить, что фактически геодезические высоты пунктов мы не знаем, поэтому используем нормальные высоты, полагая что для пунктов на локальном участке аномалии силы тяжести незначительно различаются между собой.

Перемножив матрицы разворота систем координат

12

$$R_1 = \begin{bmatrix} \cos L & \sin L & 0 \\ -\sin L & \cos L & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad R_2 = \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 & \sin \theta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \theta & 0 & \cos \theta \end{bmatrix} \quad R_3 = \begin{bmatrix} \cos \delta & \sin \delta & 0 \\ -\sin \delta & \cos \delta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

, где $\theta = 90^\circ - B$, $\delta = 180^\circ - A$

получим 9 элементов a_{ij} ортогональной матрицы Π . Таким образом, преобразование координат осуществляется с использованием шести параметров – это три угла разворота и три элемента сдвига начала координат. Если приближенные значения параметров неизвестны, возможен следующий метод их нахождения.

Пусть имеются n связующих пунктов. Для всех пунктов сначала возьмем координату X и составим систему уравнений:

$$\begin{cases} x_{c_1} = a_{11}x_{WGS_1} + a_{12}y_{WGS_1} + a_{13}z_{WGS_1} + \Delta x \\ x_{c_2} = a_{11}x_{WGS_2} + a_{12}y_{WGS_2} + a_{13}z_{WGS_2} + \Delta x \\ \text{-----} \\ x_{c_n} = a_{11}x_{WGS_n} + a_{12}y_{WGS_n} + a_{13}z_{WGS_n} + \Delta x \end{cases} \quad (3)$$

Из этой системы по методу наименьших квадратов определим первую строчку ортогональной матрицы Π , а именно элементы a_{11}, a_{12}, a_{13} и Δx

Далее введем вектор неизвестных $\bar{X} = \begin{bmatrix} a_{11} \\ a_{12} \\ a_{13} \\ \Delta x \end{bmatrix}$, и матрицу коэффициентов A

$A = \begin{bmatrix} x_{WGS_1} & y_{WGS_1} & z_{WGS_1} \\ x_{WGS_2} & y_{WGS_2} & z_{WGS_2} \\ \text{---} & \text{---} & \text{---} \\ x_{WGS_n} & y_{WGS_n} & z_{WGS_n} \end{bmatrix}$. Вектор свободных членов L будет состоять из

координат пунктов в строительной системе $\bar{L} = \begin{bmatrix} x_{c_1} \\ x_{c_2} \\ \dots \\ x_{c_n} \end{bmatrix}$. Вектор поправок:

$\bar{V}_x = \begin{bmatrix} v_{1x} \\ v_{2x} \\ \dots \\ v_{nx} \end{bmatrix}$ - это мера рассогласования этих систем координат. Теперь под

условием $\sum_1^n v_{ix}^2 = \min$ (или в векторной форме: $\bar{V}^T \bar{V} = \min$) получаем неизвестные: $\bar{X} = (A^T A)^{-1} A^T \bar{L}$.

Также составляются уравнения по координатам Y и Z и находятся величины a_{21}, a_{22}, a_{23} и Δy , a_{31}, a_{32}, a_{33} и Δz . Следует подчеркнуть, что у этих систем уравнений будет одна и та же матрица коэффициентов и для нахождения элементов a_{ij} ортогональной матрицы Π и элементов вектора сдвига систем координат необходимо минимум 4 связующих пункта. Далее через найденные приближенные значения элементов a_{ij} можно найти приближенные значения углов поворота. Имея априорные значения шести параметров, для каждой связующей точки можно написать следующее уравнение поправок:

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial X_c}{\partial L} & \frac{\partial X_c}{\partial Q} & \frac{\partial X_c}{\partial \delta} & \frac{\partial X_c}{\partial X_o} & \frac{\partial X_c}{\partial Y_o} & \frac{\partial X_c}{\partial Z_o} \\ \frac{\partial Y_c}{\partial L} & \frac{\partial Y_c}{\partial Q} & \frac{\partial Y_c}{\partial \delta} & \frac{\partial Y_c}{\partial X_o} & \frac{\partial Y_c}{\partial Y_o} & \frac{\partial Y_c}{\partial Z_o} \\ \frac{\partial Z_c}{\partial L} & \frac{\partial Z_c}{\partial Q} & \frac{\partial Z_c}{\partial \delta} & \frac{\partial Z_c}{\partial X_o} & \frac{\partial Z_c}{\partial Y_o} & \frac{\partial Z_c}{\partial Z_o} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} dL \\ d\theta \\ d\delta \\ d\Delta x \\ d\Delta y \\ d\Delta z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} l_x \\ l_y \\ l_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ v_z \end{bmatrix} \quad (4)$$

В уравнении поправок l_x, l_y, l_z являются свободными членами, причем $l_x = X_c - X_c^{(0)}$, $l_y = Y_c - Y_c^{(0)}$, $l_z = Z_c - Z_c^{(0)}$, где $X_c^{(0)}, Y_c^{(0)}, Z_c^{(0)}$ вычисляются по приближенным значениям параметров и при этом должны им точно соответствовать. v_x, v_y, v_z - поправки в координаты X_c, Y_c, Z_c , которые определяются при избыточном числе общих точек под условием: $\bar{V}^T \bar{V} = \min$, где \bar{V} - вектор поправок.

Частные производные вычисляются по приближенным значениям параметров. Обозначим вектор поправок к априорным параметрам через $\Delta \bar{X}$, а вектор априорных значений через $\Delta \bar{X}^0$. Дальнейшие вычисления выполняются методом итераций с уточнением неизвестных:

$$\bar{X}^{(k+1)} = \bar{X}^{(k)} + \Delta \bar{X}^{(k)} \quad \Delta \bar{X} = (A^T A)^{-1} A^T \bar{L} \quad (5)$$

где k - номер итерации, A - матрица коэффициентов уравнений поправок координат всех общих точек, включенных в обработку, L - вектор свободных членов. После того, как выполнилось условие:

$$|\bar{X}^{(k+1)} - \bar{X}^{(k)}| < |\bar{E}| \quad (6)$$

где \bar{E} - вектор, характеризующий точность вычислений, итерации заканчиваются и вычисляется вектор поправок: $\bar{V} = A\Delta\bar{X} - \bar{L}$.

Таким образом, показан возможный более простой путь решения задачи преобразования координат из системы WGS-84 в строительную систему при выполнении разбивочных работ. В отличие от существующих алгоритмов углы разворота между системами координат выражены через широту, долготу и азимут, значения которых можно использовать в качестве приближенных при переходе. Алгоритм позволяет уменьшить число этапов перехода. Полагая, что при каждом этапе происходит потеря точности, данное решение может повысить точность конечных результатов.

Шестая глава

В последнее время при строительстве стали использовать спутниковые приемники, но пока только в начальный период строительства при выносе основных осей, создании внешней разбивочной основы. Для разбивочных работ при возведении подземной и надземной части зданий, спутниковые приемники однако не используются. В этой связи в данной главе рассмотрены возможности применения спутниковых приемников в процессе строительства, дано обоснование и рекомендации к их использованию.

При строительстве подземной части здания и на начальном этапе строительства надземной части здания необходимо закрепить пункты внешней разбивочной сети. Эти пункты должны быть закреплены вблизи объекта строительства, но вне территории строительных работ. После закрепления пунктов внешней разбивочной сети измеряются углы и линии между всеми видимыми пунктами сети и уравниваются. Координаты, полученные в результате уравнивания, вносятся в память тахеометра и используются при разбивочных работах.

При возведении надземной части здания на исходном горизонте создается внутренняя разбивочная сеть с пунктами, расположенными в местах, удобных для вертикального проектирования на монтажные горизонты и дальнейших разбивочных работ. Координаты пунктов

внутренней разбивочной сети определяются в принятой для данного строительства системе координат от пунктов внешней разбивочной сети.

В случае использования спутниковых технологий необходимо иметь координаты ряда пунктов в двух системах: в строительной системе координат и в системе координат WGS-84. При нахождении параметров связи между системами координат необходимо иметь уравненные координаты опорных пунктов в обеих системах координат, поэтому опорные пункты целесообразно совмещать с пунктами внешней разбивочной сети, имеющими координаты как в плане так и по высоте.

Получить координаты опорных пунктов в строительной системе координат можно имея план осей объекта строительства и задавшись системой координат. Для определения координат пунктов внешней разбивочной основы в системе WGS-84 необходимо на опорных пунктах установить приемники и в дифференциальном режиме методом статики в течение некоторого промежутка времени определять координаты. Длительность наблюдений зависит от многих факторов. При большой загруженности и стесненности строительной площадки и при возможности рекомендуется устанавливать спутниковые приемники на крышах соседних зданий, предварительно определив координаты пунктов постановки GPS приемников методом обратной угловой засечки или другим удобным в данных условиях строительства способом.

Далее от этих пунктов можно определять координаты любых характерных пунктов на строительной площадке. В зависимости от ответственности работ и наличия одно- или двухчастотных приемников можно использовать тот или иной способ определения координат: статику или кинематику или их разновидности. Например, в условиях открытой площадки для разбивки контура котлована можно использовать кинематический метод GPS или режим RTK наблюдений: один приемник устанавливается на пункте внешней разбивочной основы, другой перемещаясь по предполагаемому контуру в движении производит измерения.

В режиме статики или быстрой статики (при благоприятных условиях) можно выносить точки на верхнем монтажном горизонте взамен или параллельно с вертикальным проектированием. В зависимости от условий строительной площадки и приборного обеспечения возможна различная схема переноса пунктов внутренней разбивочной основы на монтажный

горизонт. Перенос осуществляется от пунктов внешней разбивочной основы. При этом два приемника устанавливаются на пунктах внешней разбивочной основы, третий устанавливается на пункте на монтажном горизонте, с которого в дальнейшем удобно производить разбивочные работы с помощью электронного тахеометра. В режиме статики производится сбор данных.

При переносе точки с исходного горизонта на монтажный спутниковым методом достаточно иметь два спутниковых приемника, но наличие третьего дает дополнительный контроль при обработке данных по приращению координат. В этом случае располагать пункты для GPS наблюдений целесообразно в вершинах равностороннего треугольника, поскольку получается более надежный контроль по приращению координат в замкнутом контуре (рис. 2)

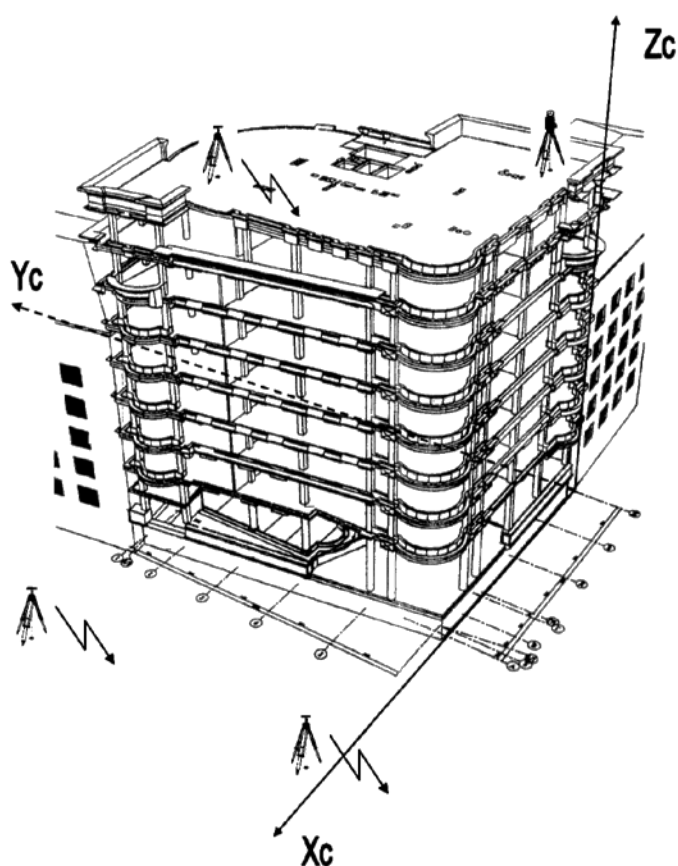


Рис. 2 Вынос пункта на монтажном горизонте с помощью спутниковых приемников

После того как определены и уравнены координаты пункта на монтажном горизонте, данный пункт можно использовать для работ по

разбивке строительных конструкций в качестве базового. На данный пункт установить базовый приемник и с помощью роверного приемника определять координаты других точек, удобных для дальнейших разбивочных работ.

При сборе данных спутниковыми методами измерений важны два момента: интервал записи данных и время сбора данных. В зависимости от условий площадки и использования одно- или двухчастотного оборудования рекомендуется ставить интервал записи 1 или 2 секунды и сбор данных производить в течении 30-60 минут.

Точность, получаемая при постобработке, во многом зависит от мест установки спутниковых приемников. При плотной городской застройке часто происходят срывы сигналов в наблюдениях по приемникам, установленным внизу вблизи строящегося здания. При установке спутниковых приемников на крышах соседних зданий при использовании одночастотных приемников можно добиться точности примерно 5 мм, что удовлетворяет существующим требованиям строительства.

Седьмая глава

На основании выводов, сделанных в предыдущей главе, представляется, что для применения координатного метода необходимо представить организацию работ и экспериментальное подтверждение возможности использования спутниковых приемников в строительстве.

Как отмечалось, основной задачей координатного метода разбивочных работ при строительстве зданий и сооружений является создание строительной системы координат, закрепление точек внешней и внутренней разбивочной основы в строительной системе координат и воспроизводство ее на всех монтажных горизонтах.

Современные тахеометры позволяют получать координаты любых необходимых для разбивки точек строительных конструкций с помощью линейно-угловых засечек от вспомогательных точек (рисок), закрепленных на ближайших зданиях, по схемам обеспечивающим оптимальность засечек и видимость на эти точки со всех монтажных горизонтов возводимого здания, сооружения. Реализация таких схем закрепления не всегда возможна из-за условий плотной застройки, что и ограничивает ее повсеместное применение.

Свободным от этих недостатков является метод определения координат с помощью спутниковых технологий. С целью выявления особенностей использования координатного метода и применения спутниковых методов в

строительстве были проведены исследования в реальных условиях при строительстве высотного здания.

Объект строительства – высотное здание из монолитного железобетона, расположенное в Москве. При достаточно высоких требованиях к точности одной из основных задач является увеличение скорости выполнения как полевых, так и камеральных работ, включающих обработку результатов измерений, подготовку оперативных исполнительных схем готовых конструкций. В связи с этим целесообразно разбивочные работы выполнять с помощью электронного тахеометра координатным методом. На данном объекте работы выполнялись с помощью электронного тахеометра, в различных режимах измерений (в том числе и координатном) камеральная обработка осуществлялась на персональном компьютере. Результаты измерений записывались в память тахеометра, а затем передавались для обработки в компьютер. При этом технология ведения работ координатным методом дает возможность связать в единый высокоэффективный комплекс данные о строящемся объекте, полевые измерения и результаты камеральной обработки.

Непосредственно на строительной площадке была организована автоматизированная система по подготовке каталогов координат, разбивочных чертежей и составлению исполнительных схем. В качестве базового программного обеспечения использовались следующие программы: система CREDO (НПО “Кредо-диалог” г. Минск), AutoCAD (Autodesk Corp., США), при использовании спутниковых приемников соответствующее оборудование и программное обеспечение для постобработки, например Topcon Tools, TGO, Ashtech Solutions и др.

Исходная информация вводится в память компьютера с рабочих чертежей, с электронных носителей или через электронную почту. Для удобства работы могли быть созданы плановые цифровые модели положения конструкций и сооружений, на основании которых готовится полевая разбивочная документация или для простоты в бумажном виде можно выпускать разбивочную схему с номерами и координатами выносимых точек, а сами координаты напрямую записывать в прибор, что было сделано на данном объекте.

На данном объекте использовался тахеометр с внутренней памятью в координатном режиме. При этом была создана строительная система координат, закрепленная на местности точками внешнего и внутреннего

разбивочного обоснования с координатами в данной системе и дальнейшие разбивочные работы также велись в данной системе, таким образом реализован координатный метод, но использование спутниковых приемников на строительной площадке проектом не было предусмотрено, однако в рамках данной работы были проведены исследования с целью выявить особенности и возможности использования одночастотного спутникового оборудования в процессе строительства для разбивочных работ в реальных условиях высотного строительства.

На рис. 3 показана строительная система координат на объекте, а также привязка основных осей объекта к данной системе координат и точек постановки спутниковых приемников, при этом точки GPS1 и GPS2 были установлены на пунктах внешней разбивочной сети на уровне исходного горизонта строительства, а GPS3 на монтажном.

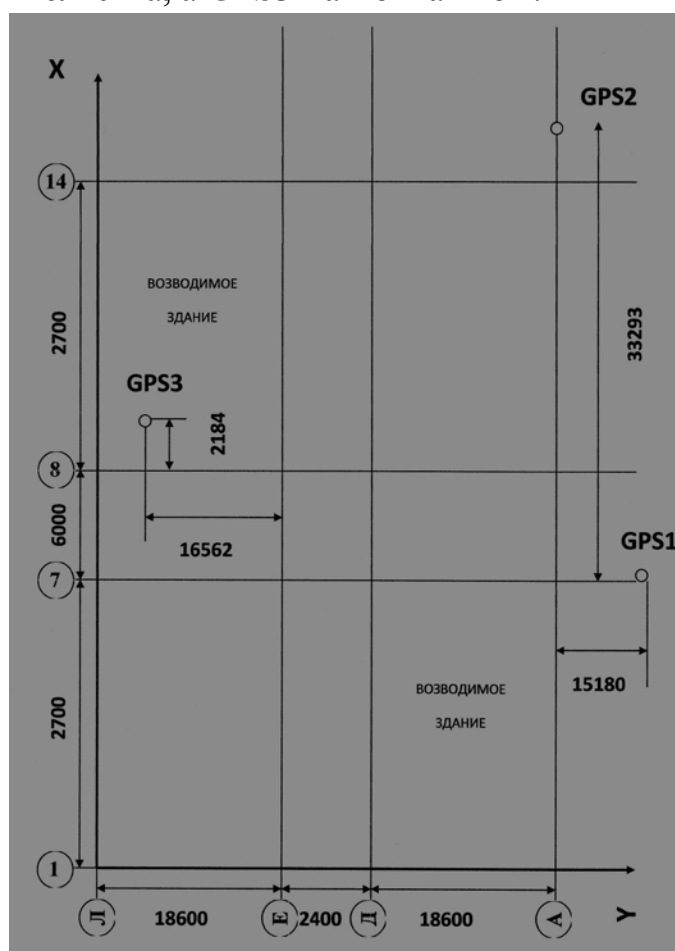


Рис. 3 Привязка пунктов GPS к строительной системе координат

По данной схеме были выполнены измерения одночастотными спутниковыми приемниками в режиме статика 30-ти минутный интервал времени с интервалом записи данных 30сек. После постобработки

сравнивались расстояния между заданными точками по результатам спутниковых наблюдений и определенные по результатам измерений, выполненных традиционными способами (точка на монтажный горизонт была перенесена с помощью прибора PZL и определена привязка к строительной системе координат с помощью тахеометра).

Результаты постобработки, выполненной в программном обеспечении Ashtech Solutions позволили сделать выводы, что сравнительно невысокая точность в определении векторов (20 мм) во многом зависела от выбора условий и мест постановки базовых и роверных приемников, наличия открытого сектора неба, срывами циклов в измерениях на приемниках, установленных на исходном горизонте строительства, а также многолучевостью. Однако следует заметить, что эти условия были выбраны специально с целью определения возможной точности определения координат точки на монтажном горизонте в реальных условиях строительства.

Также были проведены исследования вне строительной площадки в режиме статики в более благоприятных условиях, варьировался интервал записи данных и время сбора данных, при этом все точки выбирались с открытым сектором неба. Эти измерения свидетельствуют о том, что для переноса координат точек с исходного горизонта на монтажный с помощью GPS следует особо тщательно подходить к вопросам о местах постановки спутниковых приемников, выборе времени сбора данных, интервале записи и т.д. Относительно точности, полученной в эксперименте по результатам спутниковых наблюдений можно сделать следующие выводы:

- точность переноса координат с исходного горизонта на монтажный (два GPS приемника находятся на пунктах внешней разбивочной сети, один на монтажном) составила 20 мм. Представляется, что в данных условиях это связано с многолучевостью и срывами циклов в измерениях на приемниках, установленных на пунктах внешней разбивочной сети на уровне “нулевого” горизонта строительства.

- точность разбивочных работ на монтажном горизонте, в случае когда два приемника находятся на монтажном горизонте, один работает как базовая станция, другой как роверная, характеризуется величиной примерно

5мм, что соответствует паспортным данным GPS и существующим требованиям в строительстве.

Применение спутниковых методов в строительстве в ряде случаев позволяет упростить работы при переносе координат пунктов на монтажный горизонт, последующих разбивочных работах, повысить информативность, сократить время производства работ. Однако при строительстве высотных зданий использование GPS должно быть отражено в ППГР, в частности должна быть предложена методика проведения спутниковых наблюдений для данного конкретного объекта, тщательно выбраны места постановки спутниковых антенн и программы по обработке результатов наблюдений.

Восьмая глава

Для использования координатного метода разбивочных работ в строительстве необходимо учитывать его особенности применения в конкретных условиях строительной площадки. Эти особенности должны быть отражены в проекте производства геодезических работ (ППГР). В связи с этим в данной главе приведены принципы составления проекта производства геодезических работ с применением координатного метода и использованием современных средств измерений, а также предложен его вариант.

В ППГР с применением координатного метода должна быть предложена система координат объекта строительства, методы создания внешней и внутренней разбивочной сети, способы вынесения в натуру основных осей конструкций в выбранной строительной системе координат, удобной для производства разбивочных работ. Для этого на основе проектных чертежей и других данных должны быть вычислены координаты точек внешней и внутренней разбивочной основы, а также характерных точек объекта в строительной системе координат, в случае применения спутниковых приемников должен быть предложен метод пересчета координат в строительную систему или даны параметры перехода между системами координат.

Также должны быть рекомендованы приборы, способные хранить в памяти и выполнять типовые разбивочные задачи (разбивка методом полярных координат, способом прямой угловой засечки, определение координат точек обратной угловой засечкой), оперируя координатами точек внешней и внутренней разбивочной основы, характерных точек конструкций.

Рекомендуемыми приборами могут быть как электронные тахеометры, так и спутниковые приемники, соответствующее программное обеспечение такое, что при наличии избыточных данных может быть оперативно организована обработка результатов измерений. Это, например, обработка в тахеометре при измерении более трех направлений при обратной угловой засечке или постобработка данных спутниковых измерений на компьютере.

В качестве примера в работе составлен и предложен проект производства геодезических работ (ППГР) с применением координатного метода для строительства здания сложной конфигурации на примере здания, строительство которого осуществлялось в г. Москве.

Основные результаты исследований

- Проведен анализ современных конструктивных особенностей строительства зданий, а также существующих методов разбивочных работ. На основании анализа был сделан вывод о том, что при использовании современных средств измерений (безотражательных тахеометров, спутниковых приемников и соответствующего программного обеспечения) в сложных, стесненных условиях строительной площадки координатный метод обладает рядом преимуществ по сравнению с традиционными способами разбивочных работ, среди прочих методов разбивочных работ является универсальным, быстрым и маневренным. Однако при неоспоримых преимуществах координатный метод требует решения ряда вопросов теоретического и организационного характера.

- Предложен метод преобразования координат для применения спутниковых технологий в процессе строительства. Составлен алгоритм преобразования координат. Показан возможный более простой путь решения задачи преобразования координат из системы WGS-84 в строительную систему при выполнении разбивочных работ. В отличие от существующих алгоритмов углы разворота между системами координат выражены через широту, долготу и азимут, значения которых можно использовать в качестве приближенных при переходе.

- Выявлены особенности применения координатного метода разбивочных работ при строительстве зданий и на этой основе составлена принципиальная схема применения координатного метода разбивочных работ в строительстве.

- На основе анализа возможностей использования спутниковых методов измерений в процессе строительства, обоснована целесообразность их

использования при высотном строительстве, даны рекомендации и обоснование применения координатного метода, а также проведен эксперимент по использованию спутниковых приемников в процессе строительства. На основании экспериментальных данных можно сделать вывод о том, что применение координатного метода разбивочных работ в сочетании с использованием электронных тахеометров и спутниковых приемников в процессе строительства позволяют выполнять разбивочные работы с заданной в нормативных документах точностью, при этом дают большую маневренность увеличивают темпы производства работ в сложных и стесненных условиях строительной площадки, однако требуют планирования работ при выполнении спутниковых наблюдений на каждом конкретном объекте, что как представляется должно быть отражено в проекте производства геодезических работ.

- В связи с этим были разработаны принципы составления проекта производства геодезических работ (ППГР) с использованием координатного метода и разработан вариант ППГР с его применением.

Публикации:

1. “Некоторые аспекты применения координатного метода разбивочных работ в строительстве” – Изв. вузов. Геодезия и Аэрофотосъемка. – 2004. - № 5. – С. 41 - 47.
2. “К вопросу о преобразовании координат для применения спутниковых технологий в строительстве зданий” – Изв. вузов. Геодезия и Аэрофотосъемка. – 2004. - № 5. – С. 47 - 58.
3. “Возможности использования спутниковых методов в процессе строительства” – Изв. вузов. Геодезия и Аэрофотосъемка. – 2007. - № 5. – С. 36 - 43.
4. Фельдман В.Д., Ключин Е.Б., Михелев Д.Ш., Яндров И.А. и др. Временные рекомендации по организации технологии геодезического обеспечения строительства многофункциональных высотных зданий. – М.: ООО “Тектоплан”, 2007 -76 с.