

На правах рукописи

ВЛАСЕНКО ЕГОР ПАВЛОВИЧ

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ СОЗДАНИЯ РАЗБИВОЧНОЙ
ОСНОВЫ НА МОНТАЖНОМ ГОРИЗОНТЕ
ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ**

Специальность: 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: доктор технических наук, профессор
Клюшин Евгений Борисович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Маркузе Юрий Исидорович

доктор технических наук, профессор
Кернарская Ирина Борисовна

Ведущая организация: Государственный специализированный проектный институт (ГСПИ)

Защита диссертации состоится «11» июня 2009 г. в 12 час. 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 « » 2009 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Климков Ю.М.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы:

Национальный проект «Доступное и комфортное жилье – гражданам России», выдвинутый Президентом Российской Федерации В.В. Путиным, придал мощный импульс развитию всех направлений строительной отрасли России.

Современная Москва – один из наиболее мощно и динамично развивающихся мегаполисов мира. В нашей столице активно осуществляются многие, в том числе – уникальные градостроительные проекты, последовательно реализуются масштабные социальные программы. В строительном комплексе города всё шире внедряются новые технологии и материалы.

Применительно к Москве мировой опыт позволяет считать целесообразным освоение концентрации застройки на немногочисленных участках срединно-окраинной зоны столицы. При этом такие комплексы должны получить существенное социальное и композиционное значение. Одновременно отнесение высотных комплексов на периферию исключает опасность нарушения панорамы исторического центра города.

В конце апреля 2006 г. Градостроительный совет Москвы принял радикальную концепцию создания нового административно-жилого района столицы. Он будет простираться на 1000 га от Красной Пресни вверх по течению реки, включив Московский международный деловой центр (ММДЦ). На узловых точках территории будут размещены акцентные высотные объекты, включая 600-метровую башню арх. Н. Фостера в излучине реки Москвы.

Возобновление высотного строительства в России происходит после 30-летнего перерыва в возведении высотных, преимущественно административных, сооружений. В настоящее время высотными (свыше 30 этажей) возводят только отдельные жилые коммерческие дома с квартирами бизнес-класса с присущей им узостью функциональных и конструктивных проблем.

Программой развития Москвы на ближайшие 15 лет, разработанной ГУП «НИиПИ Генерального плана города Москвы», предусмотрено развитие высотного строительства, приуроченного преимущественно к срединно-периферий-

ным и периферийным зонам столицы, возникшим за последние 40 лет массовой жилой застройки по типовым проектам. Организацию строительства будет осуществлять ОАО «Новое кольцо Москвы» (НКМ). Объем строительства до 2015 г. должен составить от 60 (первая очередь) до 200 объектов к 2020 г., общей площадью ориентировочно 400 тыс. м².

Возвращение к решению задач возведения специализированных и многофункциональных высотных зданий происходит практически с чистого листа. Положение осложняется отсутствием новых отечественных нормативных документов на проектирование и возведение высотных объектов – Федеральный закон от 27.12.2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании» практически отменил действие всех ранее функционировавших ГОСТов и СНиПов. Высотные жилые и общественные здания (комплекс «Алые паруса», «Триумф-палас», жилые «высотки» района Жулебино и др.) возведены при реальном отсутствии норм проектирования объектов такой этажности.

Поскольку высотные сооружения относятся к строительным объектам повышенного риска и инженерной сложности, для выработки и регламентации критериев их безопасности в течение последних двух лет проведена работа по созданию «Временных норм и правил проектирования многофункциональных высотных зданий и зданий-комплексов в городе Москва» – МГСН 4.19-2005.

Внедрение новых методов и средств геодезических измерений должно сопровождаться и новой методикой обработки результатов измерений. Только комплексное решение задачи позволит добиться максимальной эффективности и будет отвечать современным требованиям.

Цель работы:

Основной целью диссертационной работы является разработка методики производства геодезических работ при строительстве высотных зданий в объеме и с точностью, которая обеспечивала бы при их размещении и возведении соответствие геометрических параметров проектной документации, требованиям строительных норм, правил и государственных стандартов.

Научная новизна работы:

1. Выполнен детальный анализ современного высотного строительства за рубежом, и тенденций, которые намечены в области высотного строительства в г. Москве.

2. Выполнен расчет средних квадратических ошибок проектирования и средних квадратических ошибок передачи отметки на монтажные горизонты по отношению к исходному для зданий высотой от 3 до 240 м. Полученные результаты позволяют определить требования к точности и условия обеспечения точности геодезических измерений

3. Разработан алгоритм однозначного решения обратной угловой засечки, который позволяет избежать неоднозначности решения и установки инструмента вблизи «опасного круга».

4. Сделан вывод формул для вычисления средних квадратических ошибок координат пунктов, определяемых методом обратной угловой засечки, и выполнены исследования точности метода.

5. Разработана методика создания плановой разбивочной сети на монтажном горизонте с использованием прямых и обратных угловых засечек. Такая методика оказывается достаточно простой и обеспечивает точность, необходимую для выполнения разбивочных работ.

Практическая значимость выполненных разработок заключается в обеспечении повышения точности и эффективности геодезического обеспечения строительства высотных объектов.

Апробация работы: положения и тезисы исследований обсуждались на Международной научно-технической конференции, посвященной 225-летию МИИГАиК в 2004 г. и на конференциях студентов, аспирантов и молодых ученых МИИГАиК в 2006-1008 гг. Основные положения диссертации подтверждены методами математических исследований.

Публикации: по теме диссертации опубликованы 8 статей.

Структура и объем диссертации: диссертационная работа состоит из введения, трех разделов с подразделами, заключения и списка литературы. Общий объем работы – 120 стр. Диссертация содержит семь таблиц и 30 рисунков. Список литературы составляет 72 наименования.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

ВВЕДЕНИЕ

Обоснована актуальность темы, сформулированы цели и основные направления исследований.

ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННОЕ ВЫСОТНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

На основании изучения литературных источников выполнен анализ современного высотного строительства за рубежом, которое сформировалось в США на рубеже XIX–XX веков, и тенденциях, которые намечены в области высотного строительства в г. Москве

Высотные здания классифицируют по следующим основным признакам – функции, высоте, конструктивным решениям, материалам и технологии возведения. В 1960–1980 гг. получил распространение многофункциональный тип высотного здания. Поскольку высотные здания относятся к числу наиболее сложных объектов строительства, ряд основных решений по их проектированию принимаются согласованно международными общественными организациями инженеров и архитекторов – IABSE – ASCE и CIB. На симпозиуме CIB в 1976 г. была принята общая классификация зданий по их высоте в метрах. Сооружения высотой до 30 м были отнесены к зданиям повышенной этажности, до 50, 75 и 100 м – соответственно к I, II и III категориям многоэтажных зданий, свыше 100 м – к высотным. Для классификации небоскребов был принят критерий высоты. Классификация, принятая CIB, не является обязательной. В частности, в Москве, где практика многоэтажного строительства и нормы проектирования были ориентированы на высоту зданий не более 75 м, складывается тенденция отнесения к высотным зданиям сооружения выше 75 м.

7 апреля 1998 г. вышло распоряжение мэра Москвы Ю.М. Лужкова за № 334-РМ «О комплексной городской инвестиционной программе строительства многофункциональных высотных зданий «Новое кольцо Москвы», согласно которому был разработан план застройки удаленных от центра города участков. В соответствии с этой программой планируется построить до 2015 г. 60 высотных многофункциональных комплексов в стратегически важных с градостроительной

точки зрения местах с развитой инфраструктурой общим числом более 200 небоскребов с высотой 30 этажей и выше.

Масштабы и актуальность программы «Новое кольцо Москвы» также обнажили серьезные пробелы в существующей нормативной базе. Отсутствие норм и правил проектирования, строительства и эксплуатации высотных зданий в значительной степени затрудняет процессы разработки исходно-разрешительной документации, проектирования, прохождения экспертизы и осуществления архитектурно-строительного надзора. На сегодняшний день действуют «Общие положения к техническим требованиям по проектированию жилых зданий высотой более 75 м». Подготовлены к изданию московские городские строительные нормы МГСН 4.19-05 «Многофункциональные высотные здания и комплексы», которые будут распространяться на отдельно стоящие или расположенные внутри многофункциональных комплексов здания высотой от 75 до 400 м.

Из проведенного анализа, выполненного в данной главе, можно утверждать, что высотное строительство в Москве выходит на качественно новый уровень развития, соответствующий современным мировым тенденциям, и требует дальнейшего развития геодезического обеспечения строительства.

ГЛАВА 2. АНАЛИЗ МЕТОДОВ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВЫСОТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

Конструкции высотных зданий непрерывно совершенствуются и становятся все более разнообразными. Не менее специфичны и отдельные конструкции и элементы высотных зданий, на решении которых от фундамента до крыши сказываются требования комплексной безопасности. Разнообразие строительных конструкций, безусловно, диктует разработку современных подходов к геодезическому обеспечению строительства высотных сооружений.

Геодезические работы при строительстве высотных зданий должны выполняться в объеме и с точностью, которая обеспечивала бы при их размещении и возведении соответствие геометрических параметров проектной документации, требованиям строительных норм, правил и государственных стандартов.

Учитывая уникальность и сложность строительства высотных зданий для построения внешней и внутренней разбивочной основы, производства детальных разбивочных работ необходимо использовать координатный метод. Для этого весь объем характерных точек строительной площадки должны иметь координаты в единой системе координат данного строительства. Для реализации координатного метода разбивочных работ необходимо применять современные приборы: лазерные дальномеры, электронные теодолиты, тахеометры, цифровые нивелиры, спутниковые приемники.

Точность построения разбивочной основы строительной площадки следует принимать в соответствии с требованиями СНиП 3.01.03-84 «Геодезические работы в строительстве». В отдельных случаях точность построения разбивочной основы может быть получена расчетным путем с соответствующим обоснованием в проекте производства геодезических работ.

Разбивочные работы для монтажа строительных конструкций и технологического оборудования необходимо выполнять с точностью, обеспечивающей соблюдение допусков, предусмотренных соответствующими нормами и правилами СНиП 3.01.03-84, СНиП 3.03.01-87, государственными стандартами ГОСТ 21779-82, ГОСТ 21780-83, а также проектной документацией.

При возведении надземной части многофункционального высотного здания возникает необходимость переноса точек внутренней разбивочной сети на монтажные горизонты. Перенос точек целесообразно производить с помощью приборов вертикального проектирования шаговым методом через 5 этажей. Точность вертикального проектирования зависит от ошибок зенит-прибора и принятого способа проектирования.

Общая ошибка шагового способа проектирования $\sigma_{\text{пр}}$ определяется из вы-

ражения $\sigma_{\text{пр}} = \sqrt{\frac{\sigma_H^2 + \sigma_{\text{виз}}^2}{n} + (\sigma_{\text{ц}}^2 + \sigma_{\text{ф}}^2) \cdot n}$, где $\sigma_{\text{виз}}$ – ошибка визирования; $\sigma_{\text{ц}}$ – ошибка центрирования прибора; $\sigma_{\text{ф}}$ – ошибка фиксации переносимой точки на палетке; σ_H – ошибка прибора типа PZL; n – число поярусных перестановок прибора.

Ошибка визирования может быть подсчитана по формуле $\sigma_{\text{виз}} = \frac{20''}{\Gamma^x \cdot \rho''} H$,

где Γ^x – увеличение визирной трубы. В работе выполнен расчет средних квадратических ошибок проектирования для разных высот, при этом приняты следующие значения: $\Gamma^x = 30$, $\sigma_{\text{ц}} = \sigma_{\text{ф}} = 0,5$ мм, высота одного этажа – 3 м (табл. 1).

Таблица 1

Высота передачи H , м	Ошибка визирования $\sigma_{\text{виз}}$, мм	Ошибка прибора σ_H , мм	Ошибка проектирования $\sigma_{\text{пр}}$, мм
3 (1 этаж)	0,01	0,33	0,78
15 (5 этаж)	0,05	0,45	0,84
30 (10 этаж)	0,10	0,60	1,09
45 (15 этаж)	0,15	0,75	1,30
60 (20 этаж)	0,20	0,90	1,49
75 (25 этаж)	0,25	1,05	1,65
90 (30 этаж)	0,30	1,20	1,80
105 (35 этаж)	0,35	1,35	1,94
120 (40 этаж)	0,40	1,50	2,07
135 (45 этаж)	0,45	1,65	2,20
150 (50 этаж)	0,50	1,80	2,31
165 (55 этаж)	0,55	1,95	2,42
180 (60 этаж)	0,60	2,10	2,53
240 (80 этаж)	0,80	2,70	2,91

Отметки на монтажный горизонт могут передаваться двумя путями: методом геометрического нивелирования, а также путем фиксации отметки на строительных конструкциях исходного горизонта и вертикального линейного промера по строительным конструкциям до репера или откраски на монтажном горизонте. Ввиду значительной высоты здания отметку целесообразно передавать шаговым методом через 30 м (10 этажей) высоты здания. Результаты расчета ошибок передачи отметки на монтажные горизонты по отношению к исходному представлены в табл. 2.

Полученные результаты подтверждают рекомендации по выбору соответствующих приборов и позволяют определить требования к точности и условия обеспечения точности геодезических измерений (табл. 3).

Таблица 2

Высота передачи H , м	Средняя квадратическая ошибка передачи m_H , мм	Высота передачи H , м	Средняя квадратическая ошибка передачи m_H , мм
3 (1 этаж)	1,75	30 (10 этаж)	4,00
6 (2 этаж)	2,00	60 (20 этаж)	5,65
9 (3 этаж)	2,25	90 (30 этаж)	6,93
12 (4 этаж)	2,50	120 (40 этаж)	8,00
15 (5 этаж)	2,75	150 (50 этаж)	8,94
18 (6 этаж)	3,00	180 (60 этаж)	9,80
21 (7 этаж)	3,25	210 (70 этаж)	10,58
24 (8 этаж)	3,50	240 (80 этаж)	11,30
27 (9 этаж)	3,75		

Таблица 3

Требования к точности геодезических измерений

Вид работ	Средняя квадратическая ошибка				
Измерение углов	3"				
Измерение линий	2,0 мм				
Определение взаимного положения смежных пунктов внешней разбивочной сети	2,5 мм				
Определение положения точки из измерений способами прямой или обратной линейно-угловой засечки	3,0 мм				
Вынос осевых рисков способом полярной засечки	2,0 мм				
Перенос точек по вертикали шаговым методом на высоту H	15 м	90 м	150 м	240 м	
	0,84 мм	1,8 мм	2,3 мм	3,0 мм	
Передача отметки шаговым методом на высоту H	15 м	30 м	90 м	150 м	240 м
	2,75 мм	4,0 мм	7,0 мм	9,0	11,3 мм
Определение превышения на станции	2,5 мм				

Важным этапом при возведении высотных зданий является производство исполнительных съемок конструктивных элементов. В процессе возведения здания необходимо производить геодезический контроль точности его геометрических параметров, который является составной частью производственного контроля качества строительства. Точность контрольных измерений должна составлять 0,2 величины отклонений, допускаемых нормативными или проектными документами.

В данной главе уделено особое внимание организации мониторинга высотных зданий и сооружений, основанного на использовании технологии GPS-измерений. Этот метод предполагает дискретное разбиение файлов непрерывных спутниковых наблюдений, полученных GPS-приемниками, с определённым интервалом. В результате получаются пространственные координаты реперов, расположенных на крыше здания, на каждую тридцатиминутную эпоху в пределах интервала непрерывных измерений. В качестве примера таких наблюдений в работе приведены результаты, полученные компанией «Навгеоком», с использованием измерительно-вычислительного комплекса Trimble. Исследования позволяют заключить, что измерительно-вычислительный комплекс может стать эффективным и недорогим средством проведения геодезических работ при мониторинге высотных зданий и сооружений. Высокоточные наблюдения за деформациями зданий и сооружений целесообразно дополнить специальными средствами измерений, в разработках которых автор диссертации принимал непосредственное участие [1-8].

Анализ методов геодезического обеспечения, выполненный в данной главе, определяет необходимость разработки новых унифицированных методов производства геодезических работ, основанных на использовании современных технических средств, которые обеспечивали бы необходимую точность при всем многообразии конструктивных систем и технологических схем, присущих высотному строительству.

ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ СОЗДАНИЯ ПЛАНОВОЙ РАЗБИВОЧНОЙ СЕТИ НА МОНТАЖНОМ ГОРИЗОНТЕ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ЗДАНИЙ ПОВЫШЕННОЙ ЭТАЖНОСТИ

Использование современных электронных тахеометров в инженерно-геодезических работах и особенно в строительстве в корне изменило технологию геодезических работ. Перспективность поиска удобных в работе алгоритмов решения стандартных геодезических задач в данной диссертационной работе продемонстрирована на примере обратной угловой засечки.

Одним из серьезных недостатков использования обратной угловой засеч-

ки является опасность установки прибора вблизи «опасного круга», когда определение координат определяемого пункта становится невозможным либо сопровождается резким снижением точности вычисляемых координат. В связи с

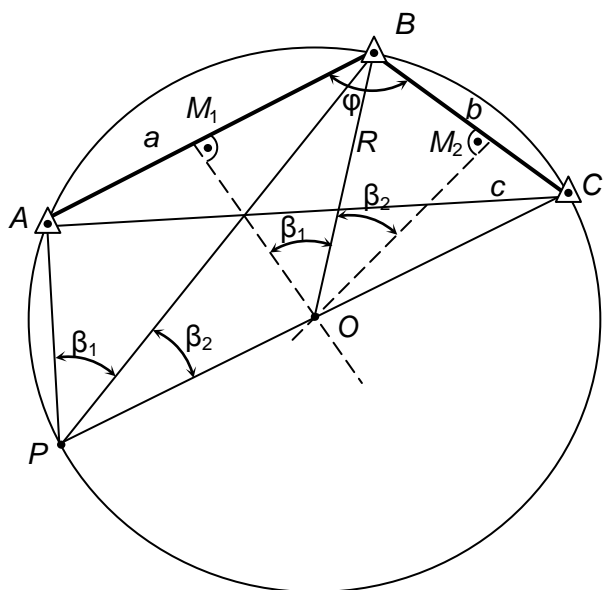


Рис. 1. «Опасный круг» при обратной угловой засечке

этим целесообразно определить признаки, по которым можно заранее предусмотреть и избежать опасной ситуации. «Опасным кругом» в геодезии принято называть окружность, проходящую через три опорных пункта с известными координатами. Если определяемый пункт расположен в любой точке этой окружности, то измерение двух углов β_1 и β_2 (рис. 1) не имеет реального смысла, так как один из этих углов может быть заранее вычислен.

Стандартные решения этой задачи опубликованы в разных литературных источниках и хорошо известны. Эти алгоритмы решения обладают недостатками, которые не позволяют найти оба решения задачи и выбирать из них верное решение. Более того, в расчетных формулах встречаются тригонометрические функции $\operatorname{tg}\alpha_1$ и $\operatorname{ctg}\alpha_1$, которые в условиях строительной площадки равны либо 0° , либо 90° , а при этих значениях дирекционных углов компьютер не сможет продолжить расчеты. Следовательно, необходим дополнительный алгоритм, чтобы избежать отказа компьютера.

Учитывая недостатки известных методов решения обратной угловой засечки, в диссертационной работе выполнена разработка оптимального решения обратной угловой засечки. На рис. 1 пункты A , B и C – опорные пункты с известными координатами, пункт P – определяемый пункт, расстояния a , b и c – расстояния между опорными пунктами. Углы β_1 и β_2 являются вписанными, и равны половине центральных углов в центре окружности O , так как они опираются на одни и те же дуги $\cup AB$ и $\cup BC$ окружности с радиусом R . Центр окружности O находится на пересечении перпендикуляров, восстановленных из

середины отрезков a и b , следовательно: $R = \frac{a}{2 \sin \beta_1} = \frac{b}{2 \sin \beta_2}$. (1)

После преобразований формула (1) принимает вид: $R = \frac{c}{2 \sin \varphi}$. (2)

Анализ формулы вычисления радиуса «опасного круга» показывает: если $\varphi \rightarrow 180^\circ$, $R \rightarrow \infty$, то вероятность попадания в зону неустойчивого решения задачи резко снижается; если $\varphi \approx 90^\circ$, а величина R приблизительно равна значениям расстояний до опорных пунктов, то в этом случае необходимо быть предельно осмотрительными при выборе исходных пунктов. В том случае, если длина радиуса R определена по формуле (1), а угол $\beta_1 \approx \arcsin \frac{a \sin \varphi}{c}$ или $\beta_2 \approx \arcsin \frac{b \sin \varphi}{c}$, целесообразно либо отказаться от использования обратной угловой засечки, либо использовать иную комбинацию опорных пунктов, так как определяемый пункт находится вблизи опасного круга.

В геодезии принято измерять не просто углы, а углы либо «левые», либо «правые». Это обстоятельство полезно помнить при написании программы вычисления координат определяемого пункта, и использовать значения измеренных углов при выборе требуемого решения, так как обратная угловая засечка допускает появление двух возможных решений. Это обстоятельство демонстрируется на рис. 2.

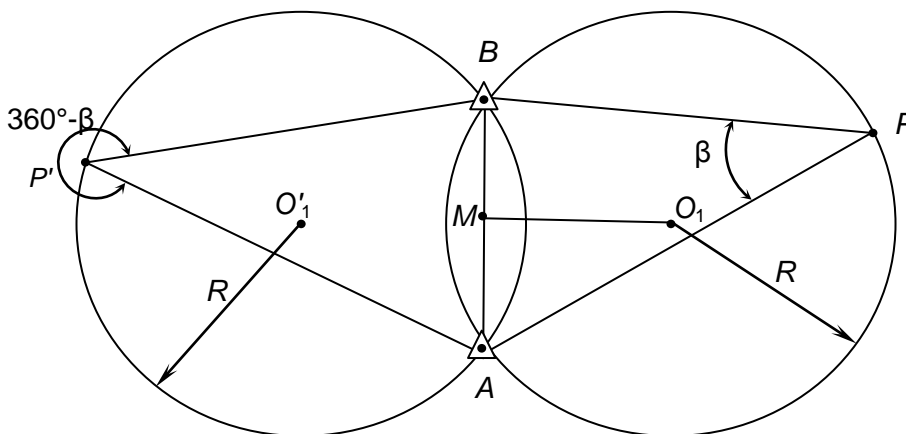


Рис. 2. Выбор однозначного решения обратной угловой засечки

Если при измерении угла β измерили левый угол APB , то из пункта P' левым углом $AP'B$ будет $360^\circ - \beta$. В таком случае, вычислив дирекционный угол стороны AB $\alpha_{AB} = \arcsin \frac{y_B - y_A}{a}$, дирекционный угол перпендикуляра к линии AB в середине этого отрезка M будет равен: $\alpha_{M-O_1} = \alpha_{AB} + 90^\circ$, если левый угол $\beta_1 \leq 90^\circ$; или $\alpha_{M-O_1} = \alpha_{AB} - 90^\circ$, если левый угол равен $360^\circ - \beta_1$.

Таким образом, измеренный угол β_1 позволяет вычислить радиус окружности, проходящей через опорные пункты A и B и определяемый пункт P по формуле (1), и координаты центра окружности, например, O_1 :

$$\left. \begin{aligned} X_{O_1} &= \frac{x_A + x_B}{2} + \frac{a}{2} \operatorname{ctg} \beta_1 \cos \alpha_{M-O_1} \\ Y_{O_1} &= \frac{y_A + y_B}{2} + \frac{a}{2} \operatorname{ctg} \beta_1 \sin \alpha_{M-O_1} \end{aligned} \right\}.$$

По измеренному углу β_2 и стороне b можно аналогично определить координаты центра окружности R_2 . Вычислив координаты центров окружностей O_1 и O_2 и радиусы окружностей можно записать уравнения окружностей в виде (рис. 3):

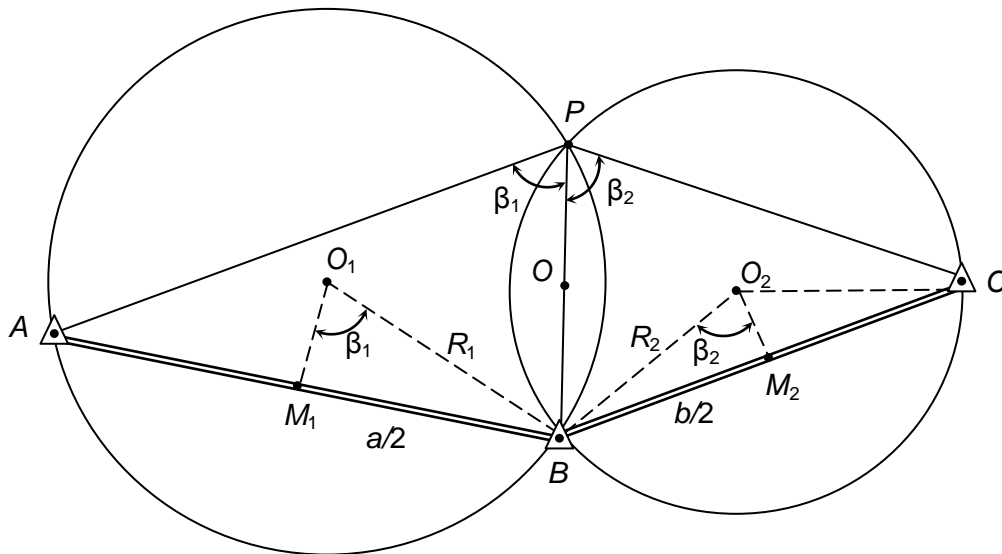


Рис. 3. Обратная угловая засечка

$$\left. \begin{aligned} (X - X_{O_1})^2 + (Y - Y_{O_1})^2 &= R_1^2 \\ (X - X_{O_2})^2 + (Y - Y_{O_2})^2 &= R_2^2 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Образуем разность между уравнениями (3), получим

$$Y = \frac{l}{Y_{O_2} - Y_{O_1}} - \frac{X_{O_2} - X_{O_1}}{Y_{O_2} - Y_{O_1}} X, \quad (4)$$

где $l = 1/2(R_1^2 - R_2^2 - X_{O_1}^2 - Y_{O_1}^2 + X_{O_2}^2 + Y_{O_2}^2)$.

Подставим значение Y (4) в первое уравнение (3), в результате преобразований будем иметь квадратное уравнение $k_1 X^2 - 2k_2 X + k_3 = 0$, (5)

$$\text{где } k_1 = 1 + \left(\frac{X_{O_2} - X_{O_1}}{Y_{O_2} - Y_{O_1}} \right)^2; \quad k_2 = X_{O_1} + \frac{l(X_{O_2} - X_{O_1})}{(Y_{O_2} - Y_{O_1})^2} - \frac{Y_{O_1}(X_{O_2} - X_{O_1})}{(Y_{O_2} - Y_{O_1})^2};$$

$$k_3 = X_{O_1}^2 + Y_{O_1}^2 - R_1^2 + \frac{l^2}{(Y_{O_2} - Y_{O_1})^2} - \frac{2lY_{O_1}}{(Y_{O_2} - Y_{O_1})}.$$

В результате решения квадратного уравнения (5) получим два корня:

$$X_{B,P} = \frac{k_2 \pm \sqrt{k_2^2 - k_1 k_3}}{k_1}. \quad (6)$$

Один из корней уравнения (6) определяет абсциссу пункта B и может служить контролем качества вычислений, а второй – абсциссу определяемого пункта P . Ордината пункта P вычисляется по формуле (4). Приведенный алгоритм решения обратной угловой засечки позволяет избежать неоднозначности решения и установки инструмента вблизи опасного круга.

При оценке точности определяемых координат методом обратной угловой засечки необходимо определить зависимость между малыми изменениями измеряемых углов и изменениями координат определяемого пункта. В этом случае измеряемые углы выразим через разности дирекционных углов (рис. 4).

$$\left. \begin{aligned} \beta_1 &= \alpha_{P-2} - \alpha_{P-1} \\ \beta_2 &= \alpha_{P-3} - \alpha_{P-2} \end{aligned} \right\}, \quad (7)$$

где P – название определяемого пункта.

Дифференцируя уравнения (7), получим:

$$\left. \begin{aligned} d\beta_1 &= d\alpha_{P-2} - d\alpha_{P-1} \\ d\beta_2 &= d\alpha_{P-3} - d\alpha_{P-2} \end{aligned} \right\}.$$

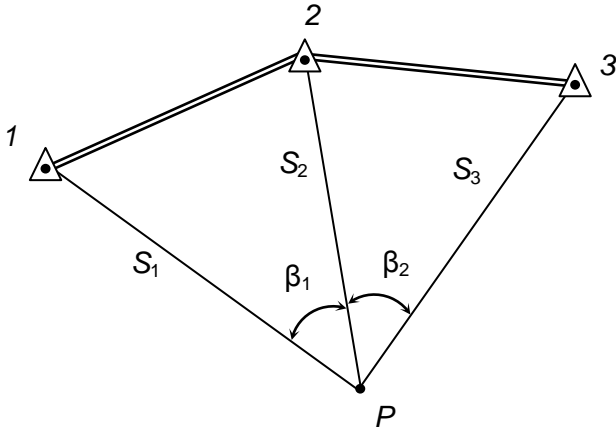


Рис. 4. Схема обратной угловой засечки

Далее определяются дифференциалы дирекционных углов и после преобразований, полагая, что углы измеряются одним прибором в одинаковых условиях $m_{\beta_1}^2 = m_{\beta_2}^2 = m_{\beta}^2$, получим формулы для вычисления средних квадратических ошибок координат:

$$m_{x_P} = \frac{m_{\beta}}{\rho} \sqrt{\frac{S_1^2 (S_3 \cos \alpha_{P-2} - S_2 \cos \alpha_{P-3})^2 + S_3^2 (S_2 \cos \alpha_{P-1} - S_1 \cos \alpha_{P-2})^2}{[S_1 \sin \beta_2 + S_3 \sin \beta_1 - S_2 \sin(\beta_1 + \beta_2)]^2}}; \quad (8)$$

$$m_{y_P} = \frac{m_{\beta}}{\rho} \sqrt{\frac{S_1^2 (S_3 \sin \alpha_{P-2} - S_2 \sin \alpha_{P-3})^2 + S_3^2 (S_2 \sin \alpha_{P-1} - S_1 \sin \alpha_{P-2})^2}{[S_1 \sin \beta_2 + S_3 \sin \beta_1 - S_2 \sin(\beta_1 + \beta_2)]^2}}. \quad (9)$$

Представим формулы (8) и (9) в виде: $m_{x_P} = m_{\beta} k_x$; $m_{y_P} = m_{\beta} k_y$,

$$\text{где } k_x = \frac{1}{\rho} \sqrt{\frac{S_1^2 (S_3 \cos \alpha_{P-2} - S_2 \cos \alpha_{P-3})^2 + S_3^2 (S_2 \cos \alpha_{P-1} - S_1 \cos \alpha_{P-2})^2}{[S_1 \sin \beta_2 + S_3 \sin \beta_1 - S_2 \sin(\beta_1 + \beta_2)]^2}};$$

$$k_y = \frac{1}{\rho} \sqrt{\frac{S_1^2 (S_3 \sin \alpha_{P-2} - S_2 \sin \alpha_{P-3})^2 + S_3^2 (S_2 \sin \alpha_{P-1} - S_1 \sin \alpha_{P-2})^2}{[S_1 \sin \beta_2 + S_3 \sin \beta_1 - S_2 \sin(\beta_1 + \beta_2)]^2}}.$$

В работе рассчитаны величины коэффициентов k_x и k_y при расстояниях между опорными пунктами $S_{1-2} = S_{2-3} = 300$ м и при различных значениях углов φ ; $\varphi = 180^\circ$; $\varphi = 150^\circ$; $\varphi = 120^\circ$; $\varphi = 90^\circ$. В качестве примера приведем графики величин k_x и k_y для значения угла $\varphi = 180^\circ$ (рис. 5, 6).

Как видно из приведенных графиков, обратная угловая засечка обладает достаточно высокой точностью определения координат определяемого пункта. При этом точность координат определяемого пункта слабо зависит от величин углов засечки и тем выше, чем ближе определяемый пункт расположен к опорным пунктам. Ошибка резко возрастает при приближении определяемого пункта к опасному кругу.

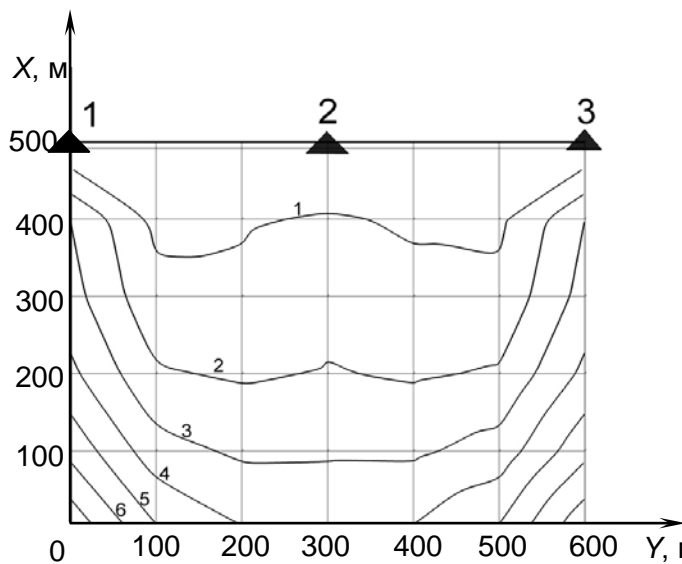


Рис. 5. График коэффициента K_x

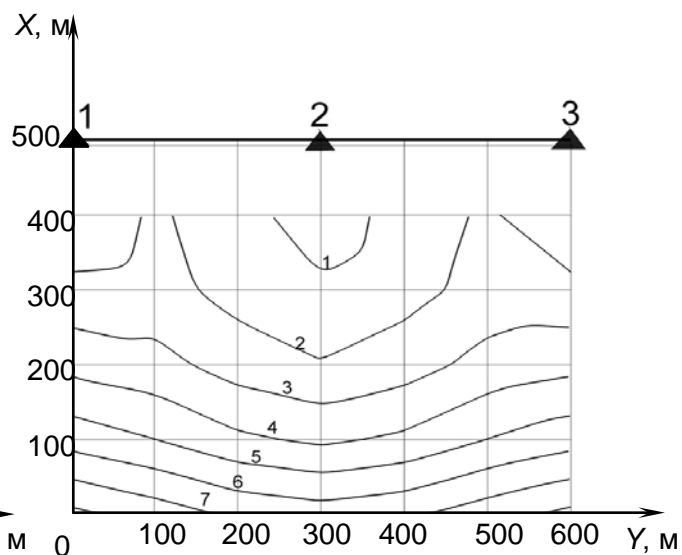


Рис. 6. График коэффициента K_y

При строительстве зданий повышенной этажности возникают трудности создания плановой разбивочной сети на монтажном горизонте. В работе рассмотрена методика создания плановой разбивочной сети на монтажном горизонте с использованием прямых и обратных угловых засечек. Как показывает анализ точности этого метода, такой прием оказывается достаточно простым и обеспечивает точность, необходимую для выполнения разбивочных работ.

Суть предлагаемого метода заключается в следующем. При строительстве здания на начальных этажах создание разбивочной основы на монтажном горизонте выполняются любым удобным и известным методом. На последующих этажах, когда использование опорной сети вблизи строящегося здания становится затруднительным, целесообразно выбрать несколько удаленных хорошо опознаваемых целей и произвести на них угловые измерения. На рис. 7 такими пунктами являются пункты A , B и C , на которые произведены измерения углов β_7 и β_8 с произвольно выбранного пункта P , координаты которого надежно определены. Таких пунктов должно быть минимум два с целью передачи дирекционного угла на монтажный горизонт (на рис. 7 показан лишь один пункт P). На последующих монтажных горизонтах, где предполагается создание плановой разбивочной сети, необходимо найти положение пункта P и таким образом передать координаты на более высокий монтажный горизонт.

На монтажном горизонте, на котором создается плановая сеть, разбивается базис b (пункты D и E), причем один из пунктов целесообразно расположить при-

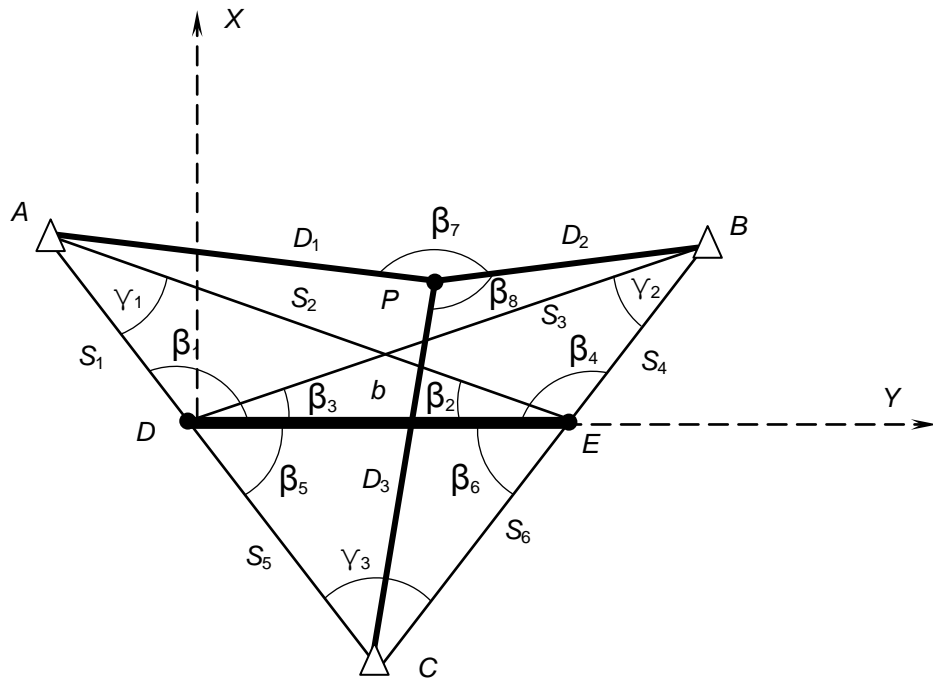


Рис. 7. Схема выноса пункта на монтажный горизонт методом засечек

близительно над ранее известным пунктом P . С пунктов D и E выполняются угловые измерения на ранее выбранные опорные пункты A , B , и C (углы $\beta_1 - \beta_6$). Для определения координат пунктов A , B и C целесообразно воспользоваться вспомогательной системой координат. С этой целью пункту D назначают произвольные координаты, и назначают дирекционный угол линии DE (α_0). Следовательно, координаты пункта D и дирекционный угол α_0 не имеют ошибок. В выбранной системе координат, используя результаты измерений, вычисляют координаты пунктов A , B , C и E . Затем, используя метод обратной угловой засечки, по ранее измеренным углам β_7 и β_8 вычисляют положение пункта P , вычисляют элементы редукции относительно пункта D и выносят его положение на монтажный горизонт. Аналогично определяют положение и выносят на монтажный горизонт остальные пункты P_i (на рис. 7 они не показаны). В результате этих операций создается опорная сеть на монтажном горизонте.

Для выбора оптимального расположения опорных пунктов A , B , C и длины базиса b выполним оценку точности описанного метода. При оценке точности будем учитывать лишь ошибки угловых измерений. Формулы оценки точности, полученные после преобразований, имеют вид:

$$m_{X_p} = \sqrt{\frac{m_{\beta''}^2}{\rho''^2} (K_{1X}^2 + K_{2X}^2 + K_{3X}^2 + K_{4X}^2 + K_{5X}^2 + K_{6X}^2 + K_{7X}^2 + K_{8X}^2) + K_X^2 m_b^2}.$$

$$m_{Y_p} = \sqrt{\frac{m_{\beta''}^2}{\rho''^2} (K_{1Y}^2 + K_{2Y}^2 + K_{3Y}^2 + K_{4Y}^2 + K_{5Y}^2 + K_{6Y}^2 + K_{7Y}^2 + K_{8Y}^2) + K_Y^2 m_b^2}.$$

$$\text{где } K_{1Y} = \frac{S_1 D_2 \cos(\alpha_{P_A} + \alpha_2)}{K_{0Y} \sin \gamma_1 (D_1 \sin \alpha_{P_B} - D_2 \sin \alpha_{P_A})};$$

$$K_{2Y} = -\frac{S_2 [\cos(\alpha_{P_B} - \alpha_3) - \cos(\alpha_{P_A} - \alpha_1)]}{K_{0Y} \sin \gamma_1 \sin \gamma_2 (D_1 \sin \alpha_{P_B} - D_2 \sin \alpha_{P_A})};$$

$$K_{3Y} = -\frac{S_3}{K_{0Y}} \left[\frac{D_1 \cos(\alpha_{P_B} + \alpha_4)}{\sin \gamma_2 (D_1 \sin \alpha_{P_B} - D_2 \sin \alpha_{P_A})} + \frac{D_3 \cos(\alpha_{P_B} + \alpha_4)}{\sin \gamma_1 (D_2 \sin \alpha_{P_C} - D_3 \sin \alpha_{P_B})} \right];$$

$$K_{4Y} = \frac{S_4}{K_{0Y}} \left[\frac{\cos(\alpha_{P_B} - \alpha_3) - \cos(\alpha_{P_A} - \alpha_1)}{\sin \gamma_1 \sin \gamma_2 (D_1 \sin \alpha_{P_B} - D_2 \sin \alpha_{P_A})} + \frac{\cos(\alpha_{P_C} - \alpha_5) - \cos(\alpha_{P_B} - \alpha_3)}{\sin \gamma_2 \sin \gamma_3 (D_2 \sin \alpha_{P_C} - D_3 \sin \alpha_{P_B})} \right];$$

$$K_{5Y} = \frac{S_4 D_2 \cos(\alpha_{P_C} + \alpha_6)}{K_{0Y} \sin \gamma_3 (D_2 \sin \alpha_{P_C} - D_3 \sin \alpha_{P_B})};$$

$$K_{6Y} = \frac{S_6 [\cos(\alpha_{P_C} - \alpha_5) - \cos(\alpha_{P_B} - \alpha_3)]}{K_{0X} \sin \gamma_2 \sin \gamma_3 (D_2 \sin \alpha_{P_C} - D_3 \sin \alpha_{P_B})};$$

$$K_{7Y} = \frac{D_1 D_2}{K_{0Y} (D_1 \sin \alpha_{P_B} - D_2 \sin \alpha_{P_A})};$$

$$K_{8Y} = -\frac{D_2 D_3}{K_{0Y} (D_2 \sin \alpha_{P_C} - D_3 \sin \alpha_{P_B})};$$

$$K_Y = \frac{1}{b K_{0Y}} \left\{ \frac{(\sin \gamma_2 - \sin \gamma_1) [\cos(\alpha_{P_B} - \alpha_3) - \cos(\alpha_{P_A} - \alpha_1)]}{\sin \gamma_1 \sin \gamma_2 (D_1 \sin \alpha_{P_B} - D_2 \sin \alpha_{P_A})} - \frac{(\sin \gamma_3 - \sin \gamma_2) [\cos(\alpha_{P_C} - \alpha_5) - \cos(\alpha_{P_B} - \alpha_3)]}{\sin \gamma_2 \sin \gamma_3 (D_2 \sin \alpha_{P_C} - D_3 \sin \alpha_{P_B})} \right\};$$

$$K_{0Y} = \frac{D_1 \cos \alpha_{P_B} - D_2 \cos \alpha_{P_A}}{D_1 \sin \alpha_{P_B} - D_2 \sin \alpha_{P_A}} - \frac{D_2 \cos \alpha_{P_C} - D_3 \cos \alpha_{P_B}}{D_2 \sin \alpha_{P_C} - D_3 \sin \alpha_{P_B}}.$$

В качестве примеров рассчитаны два варианта.

Первый вариант: $b = 50$ м; $S_1 = D_1 = 111,8$ м; $S_2 = 141,4$ м; $S_3 = D_3 = 141,4$ м; $S_4 = 111,8$ м; $S_5 = D_5 = 103,1$ м; $S_6 = 103,1$ м; $\gamma_1 = \gamma_2 = 18^\circ 26', 1$; $\gamma_3 = 28^\circ 04', 3$.

При расстояниях $S_1 = D_1$, $S_3 = D_3$, $S_5 = D_5$ ошибка базиса b практически не влияет на точность выноса пункта P и $m_{x_p} = 1,74m''_b$ (мм); $m_{y_p} = 0,76m''_b$ (мм).

Второй вариант: $b = 50$ м; $S_1 = D_1 = 206,2$ м; $S_2 = 223,6$ м; $S_3 = D_3 = 223,6$ м; $S_4 = 204,2$ м; $S_5 = D_5 = 201,6$ м; $S_6 = 201,6$ м; $\gamma_1 = \gamma_2 = 12^\circ 31'', 8$; $\gamma_3 = 14^\circ 15', 0$; $m_{x_p} = 7m''_b$ (мм); $m_{y_p} = 1,66m''_b$ (мм).

Как показал анализ точности, данная методика передачи координат на монтажный горизонт обеспечивает высокую точность и обладает высокой оперативностью. В случае если совместно с угловыми измерениями выполняются и линейные, появляются избыточные данные, которые обеспечат контроль в работе и приведут к дальнейшему повышению точности передачи координат на монтажный горизонт.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследования, выполненные в диссертационной работе, основаны на анализе современного высотного строительства за рубежом, которое сформировалось в США на рубеже XIX–XX веков, и тенденциях, которые намечены в области высотного строительства в г. Москве. Анализ технологии возведения высотных зданий многофункционального назначения указывает на большое разнообразие конструктивных систем, что вызывает необходимость в процессе геодезического обеспечения на разных стадиях строительства использовать различные технологические схемы, методы и приборы.

Геодезические измерения необходимо выполнять с точностью, обеспечивающей соблюдение допусков, предусмотренных соответствующими нормами и правилами, а также проектной документацией. В случаях строительства по проектной документации, содержащей допуски на возведение конструкций здания, не предусмотренных стандартами, нормами и правилами, необходимую точ-

ность разбивочных работ следует определять специальными расчетами по условиям, заложенным в проектной документации. Все это вызвало необходимость разработки новых унифицированных методов производства геодезических работ, основанных на использовании современных технических средств, которые обеспечивали бы необходимую точность при всем многообразии конструктивных систем и технологических схем, присущих высотному строительству.

В состав геодезических работ на строительной площадке при строительстве высотных сооружений входят многочисленные процессы, которые должны обеспечивать необходимую точность при создании планово-высотной исходной, внешней и внутренней разбивочной основы, точность создания которой должна соответствовать требованиям СНиП 3.01.03-84 «Геодезические работы в строительстве». В отдельных случаях точность построения разбивочной основы может быть получена расчетным путем с соответствующим обоснованием в проекте производства геодезических работ.

Учитывая уникальность и сложность строительства высотных зданий, для построения внешней и внутренней разбивочной основы, производства детальных разбивочных работ в диссертационной работе рекомендуется использовать координатный метод, а для расчета разбивочных элементов при выносе конструкций в натуру рекомендуется применение метода полярных координат. На всех этапах технологии геодезического обеспечения строительства могут быть применены спутниковые приемники, за исключением определения местоположения строительных конструкций.

Важным этапом при возведении здания ввиду его значительной высоты является передача отметок на монтажные горизонты, которые целесообразно передавать шаговым методом через 30 м (10 этажей) высоты здания. Для этого в работе выполнен расчет ошибок передачи отметки на монтажные горизонты по отношению к исходному.

Следует также отметить, что при строительстве и эксплуатации высотных сооружений имеется необходимость периодического, а в некоторых случаях и непрерывного мониторинга. В работе рассмотрен один из возможных методов

проведения геодезического мониторинга высотных зданий и сооружений, основанный на использовании технологии спутниковых измерений. Анализ исследований позволяет заключить, что измерительно-вычислительный комплекс может стать эффективным и недорогим средством проведения геодезических работ при мониторинге высотных зданий и сооружений.

Использование современных электронных тахеометров в инженерно-геодезических работах и особенно в строительстве в корне изменило технологию геодезических работ. В современных инженерно-геодезических работах большое распространение получили угловые, линейные и линейно-угловые засечки, которые существенно упростили процесс выполнения полевых работ. В связи с этим становится актуальной разработка надежных и простых алгоритмов решения хорошо известных геодезических задач, которые в данной работе показаны на примере обратной угловой засечки.

Основным недостатком известных методов решения обратной угловой засечки является неоднозначность решения поставленной задачи.

Одним из серьезных недостатков использования обратной угловой засечки является опасность установки прибора вблизи «опасного круга», когда определение координат определяемого пункта становится невозможным либо сопровождается резким снижением точности вычисляемых координат. В связи с этим целесообразно определить признаки, по которым можно заранее предусмотреть и избежать опасной ситуации.

Анализ формулы вычисления радиуса «опасного круга» показывает: если $\varphi \rightarrow 180^\circ$, $R \rightarrow \infty$, то вероятность попадания в зону неустойчивого решения задачи резко снижается; если $\varphi \approx 90^\circ$, а величина R приблизительно равна значениям расстояний до опорных пунктов, то в этом случае необходимо быть предельно осмотрительными при выборе исходных пунктов. Приведенный в работе алгоритм решения обратной угловой засечки позволяет избежать неоднозначности решения и установки инструмента вблизи опасного круга.

В диссертации получена формула, удобная для вычисления координат пунктов. Расчеты выполнены при различных значениях углов φ . Результаты

представлены в виде графиков, которые показывают, что обратная угловая засечка обладает достаточно высокой точностью определения координат определяемого пункта. При этом точность координат определяемого пункта слабо зависит от величин углов засечки и тем выше, чем ближе определяемый пункт расположен к опорным пунктам, а ошибка резко возрастает при приближении определяемого пункта к опасному кругу.

Отмечается, что при строительстве зданий повышенной этажности возникают трудности создания плановой разбивочной сети на монтажном горизонте. В таких случаях основным методом передачи координат на монтажный горизонт, как правило, остается метод вертикального проектирования. В работе рассмотрена методика создания плановой разбивочной сети на монтажном горизонте с использованием прямых и обратных угловых засечек. Такая методика оказывается достаточно простой и обеспечивает точность, необходимую для выполнения разбивочных работ без применения метода вертикального проектирования.

Суть предлагаемого метода заключается в следующем: на начальных этажах создание разбивочной основы на монтажном горизонте выполняется любым удобным и известным методом. На последующих этажах, когда использование опорной сети вблизи строящегося здания становится затруднительным, целесообразно выбрать несколько удаленных хорошо опознаваемых целей и произвести на них угловые измерения. Для выбора оптимального расположения опорных пунктов и длины базиса сделан вывод формул оценки точности, по которым в качестве примеров рассчитаны два варианта для различных значений расстояний.

Как показал анализ точности, данная методика передачи координат на монтажный горизонт обеспечивает высокую точность и обладает высокой оперативностью. В случае если совместно с угловыми измерениями выполняются и линейные измерения, появляются избыточные измерения, которые обеспечат контроль в работе и приведут к дальнейшему повышению точности передачи координат на монтажный горизонт.

Публикации по теме диссертации:

1. Авхадеев В.Г., Власенко Е.П. и др. Исследования, разработка и подготовка к коммерческой реализации лазерной прецизионной измерительной системы // Сб. статей по итогам научн.-техн. конференции профессорско-преподавательского состава, посвященной 229-летию МИИГАиК. Приложение к журналу «Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка», М.: МИИГАиК, Вып. 1, 2008.
2. Авхадеев В.Г., Жилкин А.М., Власенко Е.П. и др. Современная лазерная система измерений непрямолинейности поверхностей различных объектов. Доклад: 2-я Межд. научн.-практ. конференция «Оптика XXI век», М.: ВВЦ, 12-15 декабря 2006.
3. Авхадеев В.Г., Жилкин А.М., Чугреев И.Г., Власенко Е.П. и др. Развитие методов и средств измерений отклонений от прямолинейности объектов. Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – № 1, 2008.
4. Власенко Е.П. Разработка программы преобразования координат по результатам спутниковых измерений. Доклад на 61-й научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых МИИГАиК. М, апрель 2006.
5. Ключин Е.Б., Заки Мохамед Зейдан Эль-Шейха, Власенко Е.П. Новое решение «старой» задачи. Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – № 1, 2008.
6. Ключин Е.Б., Заки Мохамед Зейдан Эль-Шейха, Власенко Е.П. Оценка точности обратной угловой засечки. Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – № 6, 2008.
7. Ключин Е.Б., Заки Мохамед Зейдан Эль-Шейха, Власенко Е.П. Создание плановой разбивочной основы на монтажном горизонте при строительстве зданий повышенной этажности. Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – № 6, 2009.
8. Ключин Е.Б., Шлапак В.В., Власенко Е.П., Хамид Фармарз Пур. О некоторых особенностях обработки результатов измерений при решении современных геодезических задач. Материалы международной научно-технической конференции, посвященной 225-летию МИИГАиК. М., 2004.