

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ,
НАУКИ И КАДРОВОЙ ПОЛИТИКИ

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ
ОРДЕНОВ ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ
И ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ»

ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЗЕМЕЛЬНО-КАДАСТРОВЫХ РАБОТ

*Допущено Министерством образования Республики Беларусь
в качестве учебного пособия для студентов учреждений высшего
образования по специальности «Землеустройство и кадастры»*

Горки
БГСХА
2024

УДК 528(075.8)

ББК 26.12я73

Г35

Авторы:

кандидат технических наук, доцент *О. Н. Писецкая*;

кандидат технических наук, доцент *П. В. Другаков*;

старший преподаватель *О. А. Куцаева*;

ассистент *А. А. Титюркина*

Рецензенты:

начальник отдела земельно-информационных систем

ГП «Проектный институт Могилевгипрозем» *Н. В. Латушкин*;

кандидат технических наук, доцент *О. В. Кравченко*

Геодезическое обеспечение земельно-кадастровых работ :

Г35 учебное пособие / *О. Н. Писецкая* [и др.]. – Горки: БГСХА, 2024. – 202 с. : ил.

ISBN 978-985-882-543-0.

Изложены вопросы картографо-геодезического обеспечения, используемые системы координат и планово-картографические материалы при выполнении земельно-кадастровых работ, виды выполняемых геодезических работ при установлении границ земельных участков землепользователей и административно-территориальных и территориальных единиц, геодезические работы при осуществлении проектов внутрихозяйственного землеустройства, при проведении технической инвентаризации зданий и сооружений, геоинформационные системы, используемые в землеустройстве и земельном кадастре.

Для студентов учреждений высшего образования по специальности «Землеустройство и кадастры».

УДК 528(075.8)

ББК 26.12я73

ISBN 978-985-882-543-0

© УО «Белорусская государственная
сельскохозяйственная академия», 2024

ВВЕДЕНИЕ

Геодезическое обеспечение земельно-кадастровых работ – сложный процесс, который представляет собой определенную последовательность отдельных видов работ, начиная от выбора системы координат, применяемой в землеустройстве и земельном кадастре, создания геодезических сетей различного назначения, изготовления планово-картографического материала до освоения методики работы с геоинформационными системами в землеустройстве и земельном кадастре.

Для изучения материала необходимо в определенной последовательности рассмотреть вопросы картографо-геодезического обеспечения землеустройства и земельного кадастра, применения глобальных навигационных спутниковых систем для создания сетей сгущения, сетей съемочного обоснования и координирования границ земельных участков, изучить способы и точность определения площадей, геодезические работы при технической инвентаризации зданий и сооружений, геодезические работы при установлении (восстановлении) границ земельных участков, использование функций «Геопортала ЗИС Республики Беларусь» и «Публичной кадастровой карты» для целей землеустройства и земельного кадастра. Эти вопросы являются важными при подготовке высококвалифицированных специалистов в области землеустройства и земельного кадастра.

По результатам освоения материала учебного пособия будет осуществлена подготовка специалистов, способных на практике выполнять геодезические работы по установлению (восстановлению) границ земельных участков с использованием современного геодезического оборудования, выполнять обработку результатов геодезических измерений, составлять графические документы, оформлять материалы (землеустроительное дело) по установлению (восстановлению) границы земельного участка; выполнять геодезические работы по технической инвентаризации зданий и сооружений, использовать «Геопортал ЗИС Республики Беларусь» и «Публичную кадастровую карту» для решения задач в области земельно-кадастровых работ.

1. ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ И КАРТОГРАФИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВА И КАДАСТРА

1.1. Геодезическое обеспечение земельно-кадастровых работ

Основой для выполнения земельно-кадастровых работ в землеустройстве и земельном кадастре являются топографические планы и карты, созданные на основе различного рода съемок. Точность, детальность и полнота создаваемого планово-картографического материала являются основополагающими при выборе масштаба съемки.

Качественно созданная геодезическая сеть страны является одним из основных этапов проведения работ при выполнении съемки местности для создания планово-картографического материала.

Следует отметить, что в настоящее время, при выполнении земельно-кадастровых работ, используются цифровые планово-картографические материалы, прикладные ГИС, методами для создания которых являются материалы наземных съемок и аэрофотосъемок, данные дистанционного зондирования Земли.

Для приобретения знаний и навыков по выполнению геодезических работ при создании планово-картографического материала, его использовании и выполнении отдельных видов земельно-кадастровых работ, работе с геоинформационными системами в области землеустройства и земельного кадастра необходимо освоить материал по системам координат, применяемым в землеустройстве и земельном кадастре; современным методам создания государственной геодезической сети и сетей сгущения; планово-картографическим материалам, используемым в землеустройстве и в земельном кадастре; способам и точности определения площадей; геодезическим работам при разработке и осуществлении проектов внутрихозяйственного землеустройства, при установлении (восстановлении) границ земельных участков землепользователей, административно-территориальных и территориальных единиц, при проведении технической инвентаризации зданий и сооружений; изучить геоинформационные системы, используемые в землеустройстве и земельном кадастре.

Комплексное изучение в логической последовательности данных вопросов позволит студентам в дальнейшем при прохождении учебной и производственной практик успешно освоить методику выполнения геодезических работ в землеустройстве и земельном кадастре.

1.2. Развитие системы геодезического обеспечения земельно-кадастровых работ в современных условиях

Геодезические работы по обеспечению землеустройства и земельного кадастра в Республике Беларусь выполняются в соответствии с действующим законодательством.

Законом Республики Беларусь от 14 июля 2008 г. № 396-З «О геодезической и картографической деятельности» определены правовые основы деятельности в области геодезии и картографии в Республике Беларусь, которые направлены на создание условий для удовлетворения потребностей государства, юридических и физических лиц в геодезической и картографической продукции, при веден перечень геодезических и картографических работ государственного и специального назначения. Установлено, что при производстве геодезических и картографических работ государственного назначения на территории Республики Беларусь применяется государственная система отсчета геодезических координат и высот и др. [19].

Отношения в области геодезической и картографической деятельности регулируются также Указом Президента «О навигационной деятельности» от 21 июня 2011 г. № 260.

Навигационная деятельность осуществляется в интересах государственных органов, потребителей услуг в сфере навигационной деятельности и включает следующие виды работ и услуг: создание и развитие инфраструктуры навигационных систем; получение навигационной информации, ее хранение, обработку и интеграцию с картографической информацией; формирование и доведение дифференциальных поправок требуемой точности; создание, обновление, хранение и предоставление в пользование государственных навигационных карт и др. [2].

Постановлением Государственного комитета по имуществу Республики Беларусь № 51 утверждена «Инструкция о порядке создания, функционирования и развития белорусской спутниковой системы точного позиционирования (ССТП)», которая является функциональным дополнением действующих ГНСС ГЛОНАСС и GPS и перспективных ГНСС и составной частью подсистемы формирования и контроля навигационных полей Единой системы навигационно-временного обеспечения Республики Беларусь.

ССТП предназначена для практической реализации, установленной к применению на территории Республики Беларусь общеземной системы отсчета координат, своевременного формирования, хранения и предоставления информации, полученной с использованием белорус-

ской ССТП, потребителям услуг в сфере навигационной деятельности [3].

В Республике Беларусь проводится деятельность по Государственному контролю за использованием и охраной земель в целях соблюдения всеми гражданами, индивидуальными предпринимателями и юридическими лицами установленного порядка пользования землями, земельными участками, а также иных правил и норм, предусмотренных законодательством об охране и использовании земель.

На постоянной основе проводятся и землеустроительные мероприятия в случае, если происходят изменения в границах объектов землеустройства, либо отсутствуют данные об этих границах; формируются земельные участки; происходит изъятие и предоставление земельных участков; изменяется целевое назначение земельного участка; осуществляется перевод земель из одной категории в другую, либо перевод земель из одного вида в другой; устанавливаются ограничения (обременения) прав на земельные участки, в том числе земельных сервитуты; выявляются нарушенные, неиспользуемые, неэффективно используемые, или используемые не по целевому назначению земли; формируется фонд перераспределения земель [4].

Геодезические работы являются неотъемлемой частью проведения землеустроительных работ по изъятию и предоставлению земельных участков. Данный вид работ регулируется постановлением Государственного комитета по имуществу Республики Беларусь от 23 декабря 2022 г., в соответствии с которым утверждена «Инструкция о порядке проведения работ по установлению (восстановлению), изменению границ земельных участков». Данная инструкция определяет виды и порядок работ по установлению (восстановлению) и изменению границ земельных участков [5].

Основные нормативные акты, которые приведены ранее используются при выполнении земельно-кадастровых работ. Геодезические работы регулируются также иными нормативными правовыми актами, в том числе локальными и нормативной технической литературой.

Контрольные вопросы и задания

1. Что служит основой при выполнении земельно-кадастровых работ?
2. Перечислите основные нормативные правовые акты, регламентирующие выполнение геодезических работ при землеустройстве и земельном кадастре.

2. СИСТЕМЫ КООРДИНАТ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВЕ И В ЗЕМЕЛЬНОМ КАДАСТРЕ

2.1. Основные понятия о форме и размерах Земли. Общеземной эллипсоид, референц-эллипсоид, геоид, квазигеоид

Основной задачей геодезии является определение взаимного положения точек земной поверхности и околоземного пространства в соответствующей системе координат. В качестве координатной поверхности в геодезии принимается поверхность земного эллипсоида.

Под земным эллипсоидом понимают поверхность эллипсоида вращения, форма и размеры которого определяются из совместной математической обработки астрономических, гравиметрических и геодезических измерений, выполненных на физической поверхности Земли.

Физическая модель Земли – геоид, который представляет собой поверхность океанов и морей, находящихся в спокойном состоянии, мысленно продолженная под материками.

В зависимости от ориентировки в теле Земли, различают общий земной эллипсоид, ось вращения и плоскость экватора которого совпадают с осью вращения и плоскостью экватора реальной Земли на некоторую эпоху. Поверхность общего земного эллипсоида наилучшим образом подходит ко всей поверхности геоида.

Если поверхность эллипсоида ориентируется в теле Земли так, чтобы наилучшим образом подходить к некоторой части поверхности геоида, например, к территории отдельного государства или группы государств, такой эллипсоид называют референц-эллипсоидом.

При решении задач сфероидической геодезии принимают основные параметры земного эллипсоида – большую полуось a и полярное сжатие α точными величинами и поэтому все вычисления, связанные с решением тех или иных задач на поверхности эллипсоида, выполняют с необходимой точностью.

Поверхность земного эллипсоида образуется вращением эллипса вокруг его малой оси и имеет те же параметры, что и образующий ее эллипс.

Эллипсом называют геометрическое место точек, сумма расстояний которых от двух фиксированных точек, называемых его фокусами, постоянна и равна большой оси эллипса (рис. 2.1).

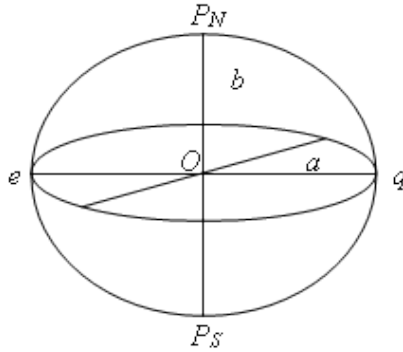


Рис. 2.1. Земной эллипсоид

Уравнение эллипса в системе плоских прямоугольных координат имеет вид

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1, \quad (2.1)$$

где a – большая и b – малая полуоси, являются линейными параметрами эллипса и определяют его форму и размеры.

Для решения задач сфероидической геодезии применяют также относительные параметры эллипсоида вращения, которые связаны с большой и малой полуосями и характеризуют его форму:

– полярное сжатие

$$\alpha = \frac{a-b}{a}; \quad (2.2)$$

– первый эксцентриситет

$$e = \sqrt{a^2 - b^2}; \quad (2.3)$$

– второй эксцентриситет

$$e' = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{b}. \quad (2.4)$$

Для однозначного определения поверхности эллипсоида вращения необходимо знать два параметра, один из которых обязательно должен быть линейным. Используя выражения (2.3) – (2.4), получим формулы связи различных параметров:

$$\begin{aligned}
 b &= a(1 - \alpha) = a\sqrt{1 - e^2} = \frac{a}{\sqrt{1 + e'^2}}; \\
 e^2 &= \frac{e'^2}{1 + e'^2} = 2\alpha - \alpha^2; e'^2 = \frac{e^2}{1 + e^2} = \frac{2\alpha - \alpha^2}{(1 - \alpha)^2}; \\
 \alpha &= 1 - \sqrt{1 - e^2} = 1 - \frac{1}{\sqrt{1 + e'^2}}; \frac{b}{a} = 1 - \alpha = \sqrt{1 - e^2} = \frac{1}{\sqrt{1 + e'^2}} = \frac{e}{e'}.
 \end{aligned}
 \tag{2.5}$$

Для эллипсоида Красовского, как известно, большая полуось $a = 6\,378\,245$ м и полярное сжатие $\alpha = 1:298,3$, по которым можно вычислить следующие значения параметров:

$$\begin{aligned}
 b &= 6\,356\,863,0188 \text{ м}; \alpha = 0,003\,352\,3299; \\
 e^2 &= 0,006\,693\,4216; e'^2 = 0,006\,738\,5254.
 \end{aligned}$$

На территории СССР до 1946 года использовался эллипсоид Ф. В. Бесселя, параметры которого наилучшим образом соответствовали территории Западной Европы, но оказались чрезмерно приближенными для европейско-азиатской части территории СССР. В связи с этим в 1940 году Ф. Н. Красовским и А. А. Изотовым по результатам астрономо-геодезических работ, выполненных на территории СССР, Западной Европы и США, были получены параметры нового эллипсоида, позднее принятые для установления единой системы геодезических координат на всей территории СССР и некоторых других стран. Начальным пунктом этой системы является центр Круглого зала Пулковской обсерватории; в качестве начального принят азимут от центра Круглого зала на пункт Бугры Саблинской базисной сети. Этот эллипсоид в 1946 году был принят для территории СССР в качестве референц-эллипсоида. Примерами общеземных эллипсоидов и соответствующих координатных систем являются WGS-84 (World Geodetic System, 1984 г.), ПЗ-90 и ПЗ-90.02 («Параметры Земли», 1990 г.) на соответствующих эллипсоидах.

Поддержка параметров общеземных и референчных эллипсоидов и установленных на их основе координатных систем осуществляется с

помощью пунктов опорных геодезических сетей, постоянными наблюдениями за спутниками, определением их эфемерид, службой времени и др. Так, общеземной эллипсоид WGS-84 поддерживается сетью ITRF (International Terrestrial Reference Frame), включающей около 500 пунктов [7].

При решении задач высшей геодезии под фигурой Земли в настоящее время понимают фигуру, ограниченную физической поверхностью морей и океанов.

Более 70 % земной поверхности покрыто морями и океанами. Поэтому за фигурой Земли в первом приближении можно принять фигуру, ограниченную невозмущенной поверхностью морей и океанов и продолженную под материками так, чтобы отвесные линии во всех ее точках были перпендикулярны к ней. Такую фигуру Земли, по предложению немецкого физика Листинга, называют геоидом. При теоретически строгом подходе под геоидом понимают фигуру Земли, ограниченную уроченной поверхностью потенциала силы тяжести, проходящей через начало отсчета высот, совпадающее с некоторым средним уровнем Мирового океана.

При изучении фигуры геоида на суше метод спутниковой альтиметрии не работает, а другие методы космической геодезии дают недостаточную точность определения его поверхности. Для того чтобы изучить фигуру геоида по наземным измерениям с высокой точностью, необходимо силу тяжести измерять непосредственно на его поверхности, что неосуществимо. Следовательно, как доказал известный советский ученый С. Молоденский, изучить фигуру геоида с высокой точностью по наземным измерениям невозможно.

По результатам комплекса наземных астрономо-геодезических и гравиметрических измерений теоретически безупречно может быть определена другая вспомогательная поверхность, получившая название поверхности квазигеоида, которая незначительно отклоняется от поверхности геоида: в равнинной местности на 2–4 см, а в горах – не более 2 м. На морях и океанах поверхности геоида и квазигеоида полностью совпадают.

Фигуру Земли, ограниченную поверхностью квазигеоида, называют квазигеоидом. Определив из обработки наземных измерений параметры квазигеоида и измерив относительно него высоты точек земной поверхности, можно теоретически строго изучить фигуру реальной Земли, ограниченную ее твердой оболочкой на суше и невозмущенной поверхностью морей и океанов.

2.2. Геодезическая система координат.

Прямоугольные пространственные координаты.

Связь двух систем координат.

Международная общеземная система отсчета ITRS.

Геоцентрическая система отсчета координат «Параметры Земли 1990 года». Мировая геодезическая система WGS-84

Для определения положения произвольной точки земной поверхности используют системы эллипсоидальных (географических или геодезических) и пространственных прямоугольных (геоцентрических) координат.

Система географических (астрономических) координат (рис. 2.2, а) связана с отвесными линиями и определяет положение точки на поверхности эллипсоида двумя величинами: широтой (φ) и долготой (λ).

Географической широтой φ называют угол, образованный отвесной линией с плоскостью экватора; *географической долготой* λ называют двугранный угол между плоскостью начального меридиана и меридиана, проходящего через данную точку [8].

Система геодезических координат (рис. 2.2, б) связана с нормалью к эллипсоиду и определяет положение точки пространства тремя величинами: геодезической широтой (B), геодезической долготой (L) и геодезической высотой (H). *Геодезической широтой* B называют угол между нормалью к поверхности эллипсоида в данной точке и плоскостью геодезического экватора. *Геодезической долготой* L называют двугранный угол между плоскостью начального геодезического меридиана и геодезического меридиана, проходящего через данную точку. *Геодезической высотой* H называют расстояние от поверхности эллипсоида по нормали до данной точки физической поверхности Земли.

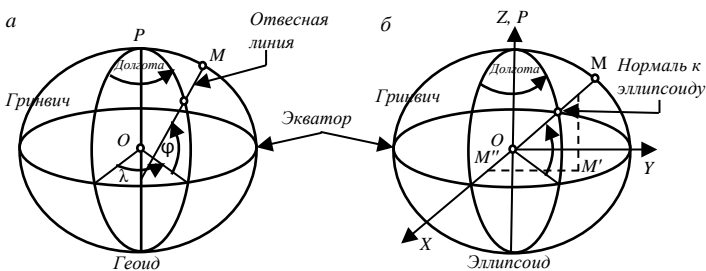


Рис. 2.2. Системы астрономических (а) и геодезических (б) координат

Все геодезические меридианы проходят через малую ось эллипсоида, совпадающую с осью его вращения.

Астрономические (географические) широты и долготы могут быть измерены с помощью соответствующих инструментов, в то время как геодезические могут быть найдены только по результатам вычислений.

Широты B и ϕ отсчитываются от экватора к полюсам, изменяются от 0 до 90° и считаются положительными для северного полушария и отрицательными для южного полушария [8].

Долготы L и λ изменяются от 0 до $\pm 180^\circ$ и отсчитываются от начального меридиана к востоку и западу. Восточные долготы считаются положительными, а западные – отрицательными.

Различия между геодезическими и астрономическими координатами объясняются несовпадением отвесных линий с нормальными к поверхностям эллипсоида. Среднее квадратическое значение этого различия для равнинных районов составляет около $5''$, для горных районов $-10-15''$ (где отдельные значения могут достигать $40''$). При мелкомасштабном картографировании указанными различиями пренебрегают.

Система геодезических координат используется при обработке обширных геодезических сетей, решения задач, связанных с передачей координат на значительные расстояния, изучении фигуры и размеров Земли, составлении топографических и географических карт. Эта система положена в основу разграфки листов топографических карт, рамками которых служат параллели и меридианы.

С системой геодезических координат, в качестве единой для всего эллипсоида широко используется система *прямоугольных пространственных координат* $OXYZ$ (рис. 2.2, б). Ее начало O совпадает с центром эллипсоида, ось OZ совпадает с его малой осью, ось OX совпадает с пересечением плоскостей геодезического меридиана и экватора, а ось OY дополняет систему до правой. В этой системе положение точки M характеризуется координатами

$$X = OM'', Y = M'M'', Z = M'M.$$

Систему координат $OXYZ$ называют *геоцентрической*, если ее начало совмещено с центром общего земного эллипсоида (центром масс Земли), а ось Z – с осью вращения Земли [8].

Формулы связи геодезических (B, L, H) и геоцентрических (X, Y, Z) координат имеют вид:

$$\left. \begin{aligned} X &= (N + H) \cos B \cos L, \\ Y &= (N + H) \cos B \sin L, \\ Z &= [N(1 - e^2) + H] \sin B \end{aligned} \right\}, \quad (2.6)$$

где N – радиус кривизны первого вертикала;
 e – первый эксцентриситет.

В геодезии широко используют нормальные сечения эллипсоида – кривые, полученные пересечением его поверхности плоскостью, проходящей через нормаль к поверхности в данной точке. Два из этих сечений, имеющих максимальную и минимальную кривизну, называются главными нормальными сечениями, а радиусы их кривизны – главными радиусами кривизны. Первое, называется меридианным сечением, имеет максимальную кривизну, а второе, перпендикулярное к нему, имеет минимальную кривизну – нормальным сечением первого вертикала. Радиусы их кривизны равны:

$$M = \frac{a(1 - e^2)}{W^3} = \frac{a(1 - e^2)}{\sqrt{(1 - e^2 \sin^2 B)^3}}, \quad N = \frac{a}{W} = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 B}}, \quad (2.7)$$

где M – радиус кривизны меридиана;
 N – радиус кривизны первого вертикала;
 B – широта точки;
 $W = (1 - e^2 \sin^2 B)^{1/2}$ – первая функция широты.
 Используют средний радиус кривизны R :

$$R = \sqrt{MN} = \frac{a\sqrt{1 - e^2}}{(1 - e^2 \sin^2 B)}. \quad (2.8)$$

Международная общеземная система отсчета ITRS. Международная служба вращения Земли IERS в соответствии с принятой IUGG в Вене в 1991 г. Резолюцией № 2 ответственна за установление, реализацию и продвижение международной общеземной системы отсчета ITRS.

Исходные даты ITRS удовлетворяют следующим условиям:
 – начало системы отсчета относится к центру масс всей Земли, включая океаны и атмосферу;
 – единицей измерения длины является метр;

– начальная ориентировка осей задана по данным Международного Бюро Времени на эпоху 1984.0;

– временная эволюция ориентировки такова, что отсчетная основа не имеет остаточного вращения по отношению к горизонтальному движению тектонических плит по всей Земле.

Для ITRS приняты следующие параметры Земли:

фундаментальные геодезические постоянные:

– геоцентрическая гравитационная постоянная, равная произведению массы Земли, включая массу ее атмосферы, на постоянную тяготения, $GM - 398\,600,5 \cdot 10^9 \text{ м}^3/\text{с}^2$;

– угловая скорость вращения Земли, $\omega - 7\,292\,115 \cdot 10^{-11} \text{ рад/с}$;

– гармонический коэффициент геопотенциала второй степени, определяющий сжатие общего земного эллипсоида, $J_2 - 108\,263 \cdot 10^{-8}$;

– нормальный потенциал силы тяжести на поверхности общеземного эллипсоида, $U_0 - 62\,636\,860,850 \text{ м}^2/\text{с}^2$;

за отсчетную поверхность принят общеземной эллипсоид GRS80 со следующими геометрическими параметрами:

– большая полуось, $a - 6\,378\,137 \text{ м}$;

– сжатие, $\alpha - 1:298,257\,222\,101$.

За начальный (нулевой) принят отсчетный меридиан IERS, который лежит на 5,31" восточнее начального Гринвичского меридиана, что соответствует 102,5 м на широте Королевской обсерватории.

ITRS реализуется Международной общеземной отсчетной основой ITRF. Современная процедура предполагает комбинированное решение, вычисленное Международной службой вращения Земли, с использованием технологий космической геодезии: наблюдения на радиоинтерферометрах со сверхдлинной базой, лазерная локация спутников и Луны, наблюдения за спутниками GPS и ГЛОНАСС. В настоящее время эти решения содержат трехмерные Декартовы координаты станций IGS вместе со скоростями их изменения и полной ковариационной матрицей.

В настоящее время известно 11 версий ITRF. Каждое последующее решение превосходило по своей точности предшествующее. Координаты спутниковой геодезической сети Республики Беларусь определены в ITRS в реализации ITRF2005. В апреле 2010 г. получено решение ITRF2008.

Геоцентрическая система отсчета координат «Параметры Земли 1990 года». Геоцентрическая система отсчета координат ПЗ – 90, принятая в 2000 году в качестве государственной геоцентрической систе-

мы координат Российской Федерации, является частью системы геодезических параметров «Параметры Земли 1990 года». В систему геодезических параметров входят:

- фундаментальные геодезические постоянные;
- характеристики гравитационного поля Земли;
- параметры общеземного эллипсоида;
- система координат.

Фундаментальные геодезические постоянные:

- геоцентрическая гравитационная постоянная, равная произведению массы Земли, включая массу ее атмосферы, на постоянную тяготения, $fM - 398\,600,44 \cdot 10^9 \text{ м}^3/\text{с}^2$;
- угловая скорость вращения Земли, $\omega - 7\,292\,115 \cdot 10^{-11} \text{ рад/с}$;
- гармонический коэффициент геопотенциала второй степени, определяющий сжатие общего земного эллипсоида, $J_2 - 108\,263 \cdot 10^{-8}$.

Геометрические параметры общеземного эллипсоида приняты равными соответствующим параметрам уровенного эллипсоида вращения. При этом за уровенный эллипсоид вращения принята внешняя поверхность нормальной Земли, масса и угловая скорость вращения которой задаются равными массе и угловой скорости вращения Земли.

За отсчетную поверхность в геоцентрической системе отсчета координат ПЗ-90 принят общеземной эллипсоид со следующими геометрическими параметрами:

- большая полуось, $a - 6\,378\,136 \text{ м}$;
- сжатие, $\alpha - 1:298,257\,839$.

Центр этого эллипсоида совмещен с началом трехмерной прямоугольной системы координат. Начало отнесено к центру масс Земли. Точность отнесения системы к центру масс Земли характеризуется средней квадратической погрешностью порядка 1 м. Гринвичский меридиан принят в качестве начального (нулевого). Ось X совпадает с линией пересечения начального меридиана и экваториальной плоскости.

Геоцентрическая система отсчета координат ПЗ-90 имеет две реализации:

- ПЗ-90 (реализация пунктами космической геодезической сети);
- ПЗ-90.02 (реализация координатами следящих станций ГЛО-НАСС).

Отметим, что оценить качество реализации геоцентрической системы отсчета координат ПЗ-90 стало возможно с развитием ГЛО-

НАСС и с созданием спутниковой геодезической аппаратуры, одновременно принимающей и обрабатывающей измерительную информацию от спутников системы ГЛОНАСС и GPS. В результате проведенного в 1998–1999 годах международного эксперимента (International GLONASS Experiment – IGEX-98) и исследований, последовавших после него, было установлено, что реализация ПЗ-90 пунктами космической геодезической сети (КГС) имеет недостаточно высокую точность. Положение начала системы, масштаб и ориентировка осей потребовали уточнения.

Распоряжением Правительства Российской Федерации от 20 июня 2007 г. № 797-р в целях повышения тактико-технических характеристик ГЛОНАСС, улучшения геодезического обеспечения орбитальных полетов и решения навигационных задач принята к использованию уточненная версия государственной геоцентрической системы отсчета координат «Параметры Земли 1990 года» ПЗ-90.02. Фундаментальные геодезические постоянные и исходные даты оставлены без изменения.

Мировая геодезическая система WGS-84. WGS-84, введенная в действие в 1984 году, является системой отсчета, принятой для Global Positioning System (GPS). Это геоцентрическая глобальная внутренне согласованная на уровне ± 1 м система отсчета. Погрешность отнесения к центру масс Земли на уровне 2 см.

Внутренняя согласованность ITRS, поддерживаемой IERS, на уровне нескольких сантиметров. WGS-84 включает в себя набор геодезических параметров: систему отсчета координат, реализуемую отсчетной основой, фундаментальные геодезические постоянные, характеристики гравитационного поля Земли.

Фундаментальные геодезические постоянные:

– геоцентрическая гравитационная постоянная, равная произведению массы Земли, включая массу ее атмосферы, на постоянную тяготения, $GM - 398\,600,5 \pm 0,06 \cdot 10^9 \text{ м}^3/\text{с}^2$;

– угловая скорость вращения Земли, $\omega - 7\,292\,115,8553 \cdot 10^{-11} \text{ рад/с} + 4,3 \cdot 10^{-15}$;

– гармонический коэффициент геопотенциала второй степени, определяющий сжатие общего земного эллипсоида, $J_2 - 108\,263 \cdot 10^{-8}$;

– нормальный потенциал, $U_0 - 62\,636\,860,850 \text{ м}^2/\text{с}^2$.

В последней реализации WGS-84 за отсчетную поверхность принят общеземной эллипсоид WGS-84 со следующими геометрическими параметрами:

- большая полуось, $a - 6\,378\,137$ м;
- сжатие, $\alpha - 1:298,257\,223\,563$.

За начальный (нулевой) меридиан принят отсчетный меридиан IERS, который лежит на $5,31''$ восточнее начального Гринвичского меридиана, что соответствует $102,5$ м на широте Королевской обсерватории.

Следует отметить, что WGS-84 имеет несколько реализаций. Первая реализация была введена 1 января 1984 г. С 2 января 1994 г. была введена вторая реализация – WGS-84 (G730). С 1 января 1997 г. введена третья версия – WGS-84 (G873). В настоящее время действует четвертая реализация – WGS-84 (G1150).

Буква G указывает номер GPS-недели, соответствующей дате, к которой отнесены эти версии реализации системы отсчета. Для того, чтобы корректно пользоваться опубликованными в различных источниках параметрами преобразования (или «встроенными» в программное обеспечение (программный продукт)) из системы отсчета координат WGS-84 в референционную систему отсчета координат, необходимо точно знать к какой реализации относятся:

- координаты геодезических пунктов в системе отсчета координат WGS-84;
- опубликованные (или «встроенные» в программное обеспечение) параметры преобразования [7].

2.3. Система высот: геодезические, ортометрические и нормальные высоты

Высота точек земной поверхности H – одна из координат, определяющих фигуру Земли и отдельные ее точки относительно исходной отсчетной поверхности.

Практическая значимость высот:

- 1) определяют рельеф;
- 2) высоты необходимы для вычисления редукций в измеренные на земной поверхности величины.

Превышения между точками земной поверхности, полученные геометрическим нивелированием, строго говоря, зависят от пути нивелирования. Причиной этого является не параллельность уровенных поверхностей между собой, что обусловлено распределением плотности внутри Земли, ее формой и др. В зависимости от способа учета

этой непараллельности различают высоты *геодезические, ортометрические и нормальные* (рис. 2.3).

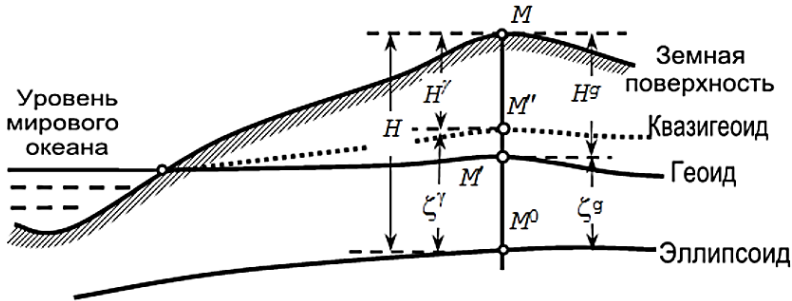


Рис. 2.3. Геодезические, ортометрические и нормальные высоты

Геодезическая эллипсоидальная высота – расстояние от эллипсоида до точки на физической поверхности Земли, отсчитываемое по нормали к его поверхности (M^0M).

Ортометрическая высота точки земной поверхности отсчитывается относительно поверхности геоида (отрезок $M'M$), а для ее определения требует наличия среднего значения силы тяжести на отрезке MM' , что практически недостижимо. Ортометрическая система высот используется в США, Канаде, Австралии, Бельгии, Дании, Финляндии, Ирландии, Италии, Нидерландах, Португалии, Испании, Швейцарии, Турции, Тайване, Японии и некоторых других странах.

Нормальная высота точки земной поверхности отсчитывается относительно поверхности квазигеоида (отрезок $M''M$), поверхность которого с помощью соответствующего математического аппарата определяется вполне однозначно относительно эллипсоида и геоида. Такая система принята в России, странах СНГ и некоторых европейских странах (Швеции, Германии, Франции и др.). Поверхность квазигеоида, строго говоря, не является уровенной поверхностью гравитационного потенциала, однако ее можно определить по результатам измерений на физической поверхности Земли.

Геодезическая высота (H) связана с нормальной (H^y) и ортометрической (H^o) высотами следующей зависимостью (рис. 2.3):

$$H = H^y + \zeta^y = H^o + \zeta^g, \quad (2.9)$$

где ζ^g , ζ^s – высоты квазигеоида и геоида над эллипсоидом (аномалии высот).

По современным данным, высоты геоида над общим земным эллипсоидом меняются в пределах от – 107 до 87 м; среднее квадратическое значение отклонения высоты геоида в целом по земному шару составляет около 30 м.

Поверхности геоида и квазигеоида на территории Мирового океана между собой совпадают; в равнинных районах расстояние между ними составляет несколько сантиметров, а в высокогорных районах может достигать 2,0–2,5 м.

Отсчет высот во всем мире выполняется относительно уровнемерных постов, в которых средний многолетний уровень моря отождествляется с поверхностью геоида. Несовпадение средних уровней морей вызывает различия в разных странах систем отсчета высот, что должно учитываться при уравнивании планетарных геодезических построений.

В России и странах СНГ высоты отсчитываются в Балтийской системе высот 1977 года, относительно нуля Кронштадтского футштока, фиксирующего средний многолетний уровень Финского залива Балтийского моря [8].

2.4. Проекция Гаусса – Крюгера. Системы координат СК-42, СК-63, СК-95

При использовании проекции Гаусса-Крюгера земной эллипсоид разделяется на зоны меридианами (рис. 2.4). Каждая зона – это сферодический двугольник, построенный от одного полюса до другого и ограниченный меридианами для всей изображаемой территории, имеющий постоянную разность долгот. Средний меридиан в каждой зоне – осевой меридиан. Его долгота обозначается через L_0 . На территории бывших союзных республик протяженность зон по долготе установлена в 6° . В районах, где предстоят съемки в крупном масштабе – в 3° . Граничные меридианы каждой шестиградусной зоны приняты совпадающими с меридианами, ограничивающими западную и восточную рамки карты масштаба 1:1000000.

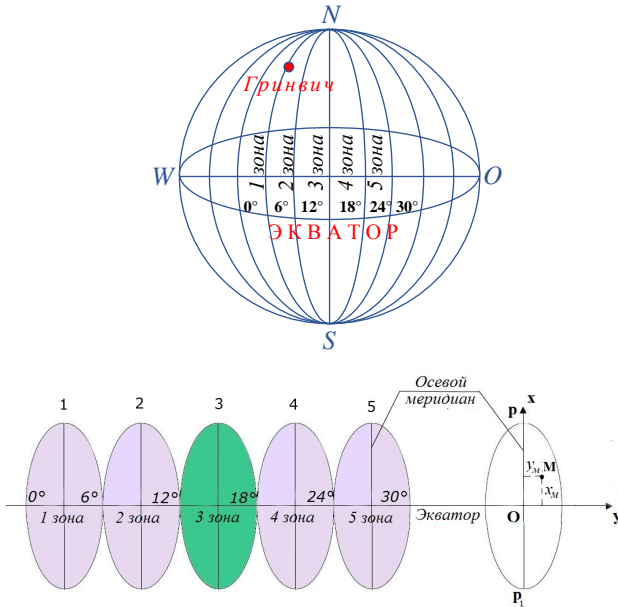


Рис. 2.4. Деление земного шара на зоны

Осевые меридианы каждой зоны совпадают со средними меридианами листов карты этого масштаба. В каждой зоне изображение осевого меридиана принимается за ось абсцисс. Изображение экватора – за ось ординат. На поверхности эллипсоида – это кривые. На плоскости – прямые линии. В каждой зоне есть свое начало координат – пересечение осевого меридиана с экватором. В проекции Гаусса-Крюгера осевой меридиан изображается без искажения.

На рис. 2.5, а показана зона с номером n . Кривые PEP_1 и PE_1P_1 – граничные меридианы.

PP_1 – осевой меридиан, долгота которого в системе шестиградусных зон определяется по формуле:

$$L_0 = 6^\circ N - 3^\circ. \quad (2.10)$$

Положение точки A определяется широтой B и долготой l , отсчитываемой от осевого меридиана [6].

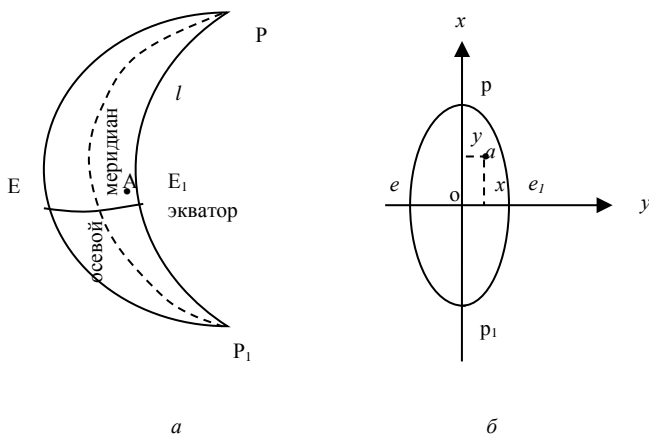


Рис. 2.5. Изображение зоны в проекции Гаусса-Крюгера и на плоскости

На рис. 2.5, б показано изображение данной зоны на плоскости в проекции. Кривые pep_1 и pe_1p_1 – изображения граничных меридианов, pp_1 – изображение осевого меридиана (ось абсцисс), ee_1 – изображение экватора (ось ординат), a – изображение точки A на плоскости, положение которой определяется прямоугольными плоскими координатами x и y .

Проекция Гаусса-Крюгера конформна, т. е. бесконечно малый контур на эллипсоиде изображается подобным ему на плоскости, угловые искажения отсутствуют, а масштаб изображения в каждой точке зависит только от координат данной точки и не зависит от направления.

В проекции Гаусса-Крюгера поверхность шести или трехградусной зоны изображается с заметными искажениями. Достоинство проекции – простота и высокая точность учета искажений.

Система координат 1942 года (СК-42). Система координат 1942 года (СК-42) была введена Постановлением Совета Министров СССР в 1946 г., одновременно с введением на территории страны единой системы геодезических координат. Она являлась основной системой отсчета координат, принятой на территории бывшего Советского Союза. В качестве математической поверхности относимости принят эллипсоид Красовского с параметрами:

- большая полуось, a – 6 378 245 м;
- сжатие, α – 1:298,3.

В качестве фундаментальной точки принят центр Круглого зала Пулковской обсерватории, не являющийся пунктом триангуляции. Координаты пункта Пулково были приняты равными:

- $B = 59^{\circ}46'18,55''$;
- $L = 30^{\circ}19'42,09''$;
- высота квазигеоида, ζ принята равной нулю [7].

Ее параметры были установлены в 1942 году по результатам совместного уравнивания звеньев триангуляции 1 класса, образующих 87 полигонов (4733 пункта), покрывающих территорию Европейской части и распространяющихся далее на восток и на юг в виде узкой цепочки полигонов по территории Средней Азии и Юга Сибири.

В дальнейшем, по мере развития сетей триангуляции и полигонометрии, государственная геодезическая сеть (ГГС) уравнивалась отдельными блоками. На границе блоков результаты предыдущего уравнивания принимались абсолютно точными. Таким образом, ГГС распространилась в виде системы «нанизанных» один на другой полигонов 1-го класса, что должно было неизбежно привести, к деформации геодезической сети на границе блоков, рядов 1-го класса и заполняющей сети 2-го класса.

К началу 80-х гг., когда были завершены работы по развитию геодезической сети на всей территории страны, стало возможным решение задачи уравнивания всей ГГС как единого геодезического построения. Эта задача была решена в 1991 году общим уравниванием Астрономо-геодезической сети (АГС) в количестве 164000 пунктов.

Результаты уравнивания подтвердили наличие значительных деформаций ГГС в системе координат 1942 года, которая оказалась неоднородной по точности. Выявлены существенные региональные деформации, достигающие 20–30 м, и локальные деформации на границах блоков, рядов 1-го класса и сплошных сетей 2-го класса, которые в отдельных случаях достигали 10 и более метров. Исследования подтвердили наличие существенных деформаций ГГС Республики Беларусь. Как показало сравнение координат 30 пунктов в СК-42 и СК-95, их расхождения достигали 2,0 м по оси абсцисс и 1,5 м по оси ординат. Наиболее существенные искажения, достигающие 2–4 м выявлены на территории Припятского нефтегазоносного региона и связаны с геодинамическими явлениями [8].

Система координат 1995 года (СК-95). Результаты уравнивания Государственной геодезической сети 1991 года показали, что дальнейшее использование СК-42 не могло обеспечивать возрастающие требования к точности решения геодезических задач. Необходима была новая геодезическая сеть с высокой и практически однородной точностью координат на всей территории страны. Решение этой задачи оказалось возможным только с использованием всего комплекса высокоточных геодезических данных, имеющихся на то время [8].

Для повышения достоверности результатов общего уравнивания АГС 1991 года и точности взаимного положения пунктов ГГС на больших расстояниях было принято решение о совместном уравнивании 164000 пунктов АГС и всех имеющихся на тот момент высокоточных спутниковых данных. Эти данные включали 26 пунктов Космической геодезической сети (КГС), 134 пункта Доплеровской геодезической сети (ДГС) и 35 пунктов гравиметрической сети (ГС). Результаты завершеного в 1995 году совместного уравнивания перечисленных построений положили основу системы геодезических координат 1995 года (СК-95).

При установлении СК-95 были сохранены параметры эллипсоида Красовского, и лишь несколько изменены параметры ориентирования эллипсоида в теле Земли. Это позволило минимизировать расхождения координат точек в СК-42 и СК-95 таким образом, что оказалось возможным полностью сохранить изданные ранее топографические карты масштаба 1:10000 на территорию европейской части страны, Средней Азии и Юга Сибири.

Переход к СК-95 связан только с подготовкой и переизданием каталогов координат и высот пунктов государственной геодезической сети страны.

Систему координат 1995 года поддерживают 72 пункта Фундаментальной астрономо-геодезической сети (ФАГС) и высокоточной геодезической сети (ВГС), в том числе на территории Республики Беларусь 1 пункт ФАГС и 9 пунктов ВГС. Система надежно связана с мировой геоцентрической системой ITRF, что обеспечивает возможность ее дальнейшей модернизации.

В Республике Беларусь переход к системе координат 1995 года осуществлен после завершения работ по модернизации государственной геодезической сети республики. Соответствующие подготови-

тельные работы выполнялись по плану, утвержденному правительством Республики Беларусь, который включал:

1. Обследование и восстановление пунктов ГГС 1–4 классов;
2. Создание в Республике Беларусь спутниковой геодезической сети (СГС-1);
3. Определение координат пунктов ФАГС и ВГС на эпоху введения СК-95 и перевычисление координат пунктов ГГС из действующей СК-42 в устанавливаемую СК-95;
4. Создание и тиражирование каталогов координат и высот ГГС в СК-95;
5. Разработку средств и методов установления связи СК-95 с европейскими и мировыми системами координат;
6. Перевычисление ключей связи местных координатных систем с СК-95.

Данным планом предусматривалось выполнение гравиметрических работ, построение карты высот квазигеоида, определение меры по установлению на территории республики государственной системы высот.

Вводимая на территории республики Беларусь СК-95 основана на точных спутниковых GPS-измерениях, результатах уравнивания сети и отличается от СК-95 России [8].

Система координат СК-95 согласована с геоцентрической системой отсчета координат ПЗ-90. Направление осей системы отсчета координат СК-95 совпадает с направлением осей геоцентрической системы отсчета координат ПЗ-90, масштаб системы отсчета координат СК-95 равен масштабу геоцентрической системы отсчета координат ПЗ-90, положение начала системы выбрано так, чтобы координаты пункта Пулково были равны его координатам в системе отсчета координат СК-42. При таком определении системы отсчета координат СК-95 ее связь с геоцентрической системой отсчета координат ПЗ-90 определяется только линейными элементами смещения начала отсчета. За отсчетную поверхность в системе отсчета координат СК-95 принят референц-эллипсоид Красовского с параметрами, значительно отличающимися от размеров общеземного эллипсоида:

- большая полуось, $a - 6\,378\,245$ м;
- сжатие, $\alpha - 1:298,3$.

Счет долгот ведется от Гринвичского меридиана.

Положение геодезических пунктов в системе отсчета координат СК-95 задается в следующих системах координат:

– в трехмерной системе пространственных прямоугольных координат X, Y, Z (направление оси Z совпадает с осью вращения отсчетного эллипсоида, ось X лежит в плоскости нулевого меридиана, а ось Y дополняет систему до правой; началом системы координат является центр отсчетного эллипсоида);

– в системе геодезических эллипсоидальных координат широтой B , долготой L , высотой H ;

– в двумерной проективной системе прямоугольных координат в проекции Гаусса-Крюгера абсциссой x и ординатой y .

На территории Республики Беларусь с 1 января 2010 г. установлена к применению при выполнении геодезических и картографических работ государственная система геодезических координат 1995 года (СК-95), для вычисления геодезических координат применяется эллипсоид Красовского со следующими параметрами:

большая полуось, $a - 6\,378\,245$ м;

малая полуось, $b - 6\,356\,863,019$ м;

сжатие, $\alpha - 1:298,3$.

Система отсчета координат СК-95 Республики Беларусь реализована пунктами государственной геодезической сети, включающей пункты ФАГС, ВГС, СГС-1 и ГСС.

Пункты ФАГС, ВГС и СГС-1 распространяют на территории Республики Беларусь международную общеземную систему отсчета ITRS в реализации ITRF2005 на эпоху 23.04.2008.

Строгая связь ITRS и СК-95 Республики Беларусь обеспечена едиными параметрами связи, вычисленными по совмещенным пунктам СГС-1 и АГС с использованием глобальной модели геоида EGM2008 при условии сохранения единого координатного пространства с Российской Федерацией. Среднее квадратическое отклонение численных значений координат совмещенных пунктов СГС-1 и АГС в системе отсчета координат СК-95 Республики Беларусь, от значений, полученных по результатам уравнивания, результатом которого является система отсчета координат СК-95, по обоим плановым компонентам x и y составляет $\pm 0,05$ м, что соответствует заявленной точности СК-95.

Основное отличие системы отсчета координат СК-95 Республики Беларусь от СК-95 Российской Федерации – строгая связь с ITRS. Включение в сетевое решение по определению координат пунктов

ФАГС и ВГС девяти опорных пунктов IGS, закрепляющих ITRS, позволит интегрироваться в координатное пространство Европы и любую координатную основу, построенную на основе GNSS [7].

Система координат 1963 года (СК-63). Система координат 1963 года создана на основе общегосударственной системы (СК-42 или СК-95) и имеет следующие особенности:

- система является 3-градусной;
- осевые меридианы зон смещаются на определенную величину;
- в абсциссы точек вводятся поправки ΔX ;
- величины смещения осевых меридианов и поправок ΔX являются ключами системы и устанавливаются для региона, объединяющего обширную территорию с устойчивыми хозяйственными связями;
- ординаты точек в СК-63 увеличиваются на 250 км. В качестве их старшей цифры принимается номер зоны в регионе.

Установленная для Республики Беларусь СК-63 включает четыре трехградусные зоны с номерами 0, 1, 2 и 3.

Величины смещения осевых меридианов и поправок к абсциссам представляют собой установленные для региона ключи системы.

Установленная таким образом СК-63 развернута и смещена относительно государственной системы координат путем изменения долготы осевого меридиана и введения поправки в абсциссы, поэтому относится к местным и используется для обширных территорий.

Для преобразования координат точек из СК-42 (СК-95) в СК-63 последовательно вычисляются:

- координаты точки, отнесенные к осевому меридиану и экватору (т.е. из ординат вычитается 250 км или 500 км и исключается номер 6-градусной координатной зоны);
- геодезическая широта точки B , ее удаление l от осевого меридиана исходной системы;
- полные геодезические координаты B и L с учетом долготы осевого меридиана;
- удаление l_{63} относительно осевого меридиана L_{63} соответствующей координатной зоны СК-63 региона;
- прямоугольные координаты X и Y , отнесенные к экватору и осевому меридиану L_{63} ;
- искомые координаты в СК-63 путем введения в абсциссы смещения ΔX , увеличения ординат на 250 км и учета старшей цифрой номера зоны.

Абсциссы точек установленной таким образом местной системы координат отсчитываются относительно экватора, что неудобно. Поэтому координаты преобразуются путем смещения их начала, разворота осей и т. п.

Система координат 1963 года длительное время относилась к государственным системам и часто использовалась для установления местной системы координат [8].

Проекция, как и в проективной системе отсчета координат СК-42, – Гаусса-Крюгера, но изменено значение условной ординаты осевого меридиана. В СК-63 изменен порядок и размер зон, смещены осевые меридианы, территория условно поделена на районы, как показано на рис. 2.6.

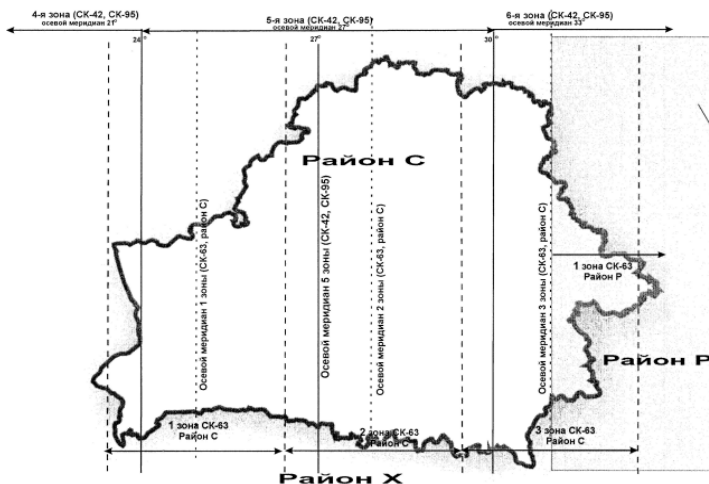


Рис. 2.6. Разделение территории Республики Беларусь на районы в СК-63

Для каждого района ось ординат, которая в проективной системе отсчета координат СК-42 есть изображение линии экватора ($B = 0$) на плоскости, смещена на условную величину, кратную длине дуги меридиана в $1'$.

Положение прямоугольной СК-63 по отношению к прямоугольной системе отсчета координат СК-42 в отдельной зоне показано на рис. 2.7. [7].

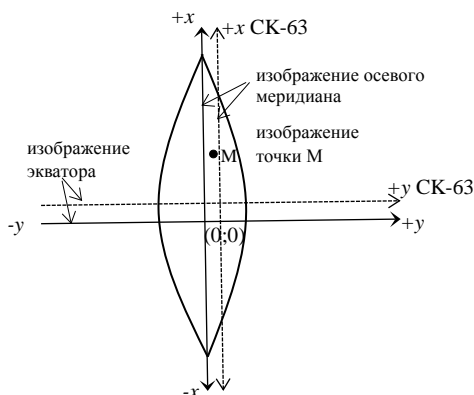


Рис. 2.7. Положение прямоугольной СК-63 по отношению к прямоугольной СК-42

2.5. Преобразование (трансформирование) координат

Если известны параметры связи между двумя системами координат, то есть возможность их преобразования (трансформирования) из одной системы отсчета в другую.

Различают несколько основных типов операций с координатами:

- преобразование координат из одной системы отсчета координат в другую;
- трансформирование координат из одной координатной системы в другую;
- ряд (цепочка) координатных операций как неповторяющаяся последовательность преобразований и (или) трансформирование координат;
- вторичная координатная операция, которая позволяет подвергать координатной операции подгруппу координатной последовательности [7].

Преобразования координат – это координатные операции, при которых используются точные, заранее определенные (до выполнения измерений и вычислений) свободные от ошибок значения параметров.

Пример преобразования координат – операции по перевычислению эллипсоидальных геодезических координат (B , L , H) в трехмерные

Декартовы (X, Y, Z) и плоские координаты (x, y) в картографической проекции Гаусса-Крюгера, относящиеся к одним и тем же исходным геодезическим датам, но в разных системах координат. Все преобразования выполняются по строгим математическим формулам, определяющим связь эллипсоидальных координат с трехмерными квазигеоцентрическими координатами и связь эллипсоидальных координат с плоскими координатами по формулам картографической проекции, с использованием одних и тех же параметров эллипсоида.

Трансформирование координат – математическая операция, при которой параметры определены эмпирическим путем без изменения исходных геодезических дат. Разнообразные параметры трансформирования могут существовать для заданной пары систем отсчета координат в зависимости от выбранного метода их определения, значений параметров и точностных характеристик отсчетных основ, реализующих заданные системы отсчета координат.

Например, для одноименных точек территории Республики Беларусь имеется два набора координат. Первый набор относится к системе отсчета координат СК-42, второй – к системе отсчета координат СК-95. Деформации СК-42 по отношению к СК-95 по оси x составляют от 1,5 м на северо-западе территории до 0,5 м на юго-востоке, по оси y деформация составляет от 3,5 м на западе до 5,8 м на юго-востоке. Следовательно, можно вычислить единые параметры для всей территории государства, но их достоверность не сможет удовлетворять по точности требованиям выполнения геодезических, картографических и землеустроительных работ. Если определить параметры на небольшой по площади территории, то интервал погрешностей вычисления параметров уменьшится до размеров локальных деформаций системы отсчета координат СК-42.

На небольших по площади участках допустимо вычислять параметры трансформирования без учета высот геоида, но при площади более 100 кв. км использование модели геоида обязательно.

Ряд (цепочка) координатных операций – неповторяющаяся последовательность преобразований координат, при условии, что целевая система отсчета координат каждого шага должна быть той же самой, что и исходная последующего шага. Исходная система отсчета первого шага и конечная последнего шага – исходная и конечная система отсчета координат всей цепочки.

Ряд (цепочка) координатных операций применяются тогда, когда в используемом программном обеспечении невозможно напрямую преобразовать координаты из исходной системы отсчета в конечную.

Вторичная координатная операция требует входную координатную последовательность определенной размерности и производит выходную координатную последовательность определенной размерности. Размерность исходной координатной системы отсчета координат не должна быть той же самой, что и размерность целевой системы отсчета координат.

Например, часто применяются составные системы отсчета координат, состоящие из двух или более различных систем координат, в которых плановое положение объекта задается геодезическими координатами широтой и долготой (в двухмерной системе координат) и нормальной высотой над уровнем моря. Для преобразования этих координат в трехмерные Декартовы координаты необходимо вначале перейти от нормальной высоты к геодезической, получив координатную последовательность, в которой координаты широты и долготы остались неизменными, перевычислено должно быть только значение третьей координаты – высоты.

Рассмотрим *преобразование эллипсоидальных координат в трехмерные прямоугольные координаты и обратно*. Данный вид преобразования эллипсоидальных координат в трехмерные прямоугольные координаты выполняется по стандартной схеме, показанной на рис. 2.8.

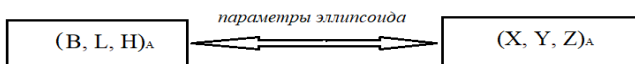


Рис. 2.8. Схема преобразования эллипсоидальных координат в трехмерные прямоугольные

Исходные и конечные координаты точек относятся к одной системе отсчета координат, но выражены в единицах координатных осей разных систем координат, связанных с Землей одними и теми же исходными геодезическими датами. Формулы преобразования эллипсоидальных (геодезических) координат в трехмерные прямоугольные координаты имеют вид

$$\left. \begin{aligned} X &= (N + H) \cos B \cos L \\ Y &= (N + H) \cos B \sin L \\ Z &= [N(1 - e^2) + H] \sin B \end{aligned} \right\}, \quad (2.11)$$

где X, Y, Z – прямоугольные Декартовы координаты точки;

B, L, H – эллипсоидальные широта, долгота и высота;

N – радиус кривизны первого вертикала;

e^2 – квадрат первого эксцентриситета эллипсоида.

Операция преобразования эллипсоидальных (геодезических) трехмерных координат в трехмерные прямоугольные координаты по строгим математическим формулам, в настоящее время реализована в сервисных программах по обработке результатов спутниковых определений и других специализированных программных продуктах, одним из которых является CREDO ТРАНСКОР (версия 2.0).

Для выполнения операции преобразования эллипсоидальных координат в трехмерные прямоугольные необходимо описать в среде программного обеспечения геодезическую прямоугольную и геодезическую эллипсоидальную систему координат, принадлежащие к одной системе отсчета координат. Описание эллипсоидальной системы координат предполагает описание параметров отсчетного эллипсоида: названия, значения большой полуоси и сжатия.

Обратная операция по преобразованию трехмерных прямоугольных координат в эллипсоидальные трехмерные координаты требует той же входной информации, что и при операции преобразования эллипсоидальных координат в трехмерные прямоугольные, но только исходная и конечная система отсчета координат меняются местами. Формулы преобразования трехмерных прямоугольных координат в трехмерные эллипсоидальные координаты будут иметь вид:

$$\left. \begin{aligned} L &= \operatorname{arctg} \frac{Y}{X} \\ B^{(i)} &= \operatorname{arctg} \frac{Z + N^{(i-1)} e^2 \sin B^{(i-1)}}{D} \\ H &= \frac{Z}{\sin B} - N(1 - e^2) \end{aligned} \right\}, \quad (2.12)$$

где X, Y, Z – прямоугольные трехмерные координаты;
 B, L, H – эллипсоидальные трехмерные координаты;
 N – радиус кривизны первого вертикала;
 e^2 – квадрат первого эксцентриситета эллипсоида;
 D – вспомогательная величина.

Преобразование двумерных эллипсоидальных координат в координаты на плоскости в заданной картографической проекции и обратно. Данный вид преобразования требует выполнения стандартной операции, схема выполнения которой показана на рис. 2.9.

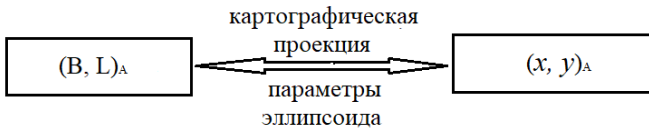


Рис. 2.9. Схема преобразования эллипсоидальных координат в координаты на плоскости

Формулы преобразования двумерных эллипсоидальных координат в координаты на плоскости в проекции Гаусса-Крюгера, по которым следует выполнять операцию преобразования двумерных эллипсоидальных координат в координаты на плоскости имеют вид:

$$\left. \begin{aligned}
 x - X_B &= \frac{N}{2\rho''} l^{n2} \sin B \cos B + \frac{N}{24\rho^{n4}} l^{n4} \sin B \cos^3 B (5 - t^2 + 9\eta^2 + 4\eta^4) + \\
 &+ \frac{N}{720\rho^{n6}} l^{n6} \sin B \cos^5 B (61 - 58t^2 + t^4) \\
 y &= \frac{N}{\rho''} l^n \cos B + \frac{N}{6\rho^{n3}} l^{n3} \cos^3 B (1 - t^3 + \eta^2) + \\
 &+ \frac{N}{120\rho^{n5}} l^{n5} \cos^5 B (5 - 18t^2 + t^4 + 14\eta^2 - 58\eta^2 t^3) \\
 x &= (x - X_B) + X_B t = \operatorname{tg} B \eta^2 = e^{t^2} \cos^2 B l = L - L_0
 \end{aligned} \right\} (2.13)$$

где N – средний радиус кривизны первого вертикала.

Обратная задача преобразования прямоугольных координат в картографической проекции в двумерные эллипсоидальные координаты широту и долготу выполняется по следующим формулам:

$$\left. \begin{aligned}
 l'' &= \frac{y}{N_1 \cos B_1} \rho'' \left[1 - \frac{y^2}{6N_1^2} (1 + 2t_1^2 + \eta_1^2) + \frac{y^4}{120N_1^4} (5 + 28t_1^2 + 24t_1^4 + 6\eta_1^2 + 8\eta_1^2 t_1^2) \right] \\
 B &= B_1 - \frac{y^2}{2M_1 N_1} t_1 \rho'' \left[1 - \frac{y^2}{12N_1^2} (5 + 3t_1^2 + \eta_1^2 - 9\eta_1^2 t_1^2) + \frac{y^4}{360N_1^4} (61 + 90t_1^2 + 45t_1^4) \right] \\
 L &= L_0 + l''
 \end{aligned} \right\} (2.14)$$

$$\left. \begin{aligned}
 t &= \operatorname{tg} B \quad \eta^2 = e'^2 \cos B \quad N = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 B}} \\
 M &= \frac{a(1 - e^2)}{(1 - e^2 \sin^2 B)^{3/2}} \quad e'^2 = \frac{a^2 - b^2}{b^2} \quad n = \frac{a - b}{a + b}
 \end{aligned} \right\} (2.15)$$

где M – радиус кривизны меридиана;

e'^2 – квадрат второго эксцентриситета меридианного эллипса;

a – большая полуось эллипсоида;

b – малая полуось эллипсоида;

B – геодезическая широта;

B_1 – условная широта.

Операция преобразования двумерных эллипсоидальных координат в двумерные прямоугольные координаты в картографической проекции по строгим математическим формулам реализуется в сервисных программах по обработке результатов спутниковых определений и других специализированных программных продуктах, одной из них является CREDO ТРАНСКОР (версия 2.0).

В соответствии с руководством пользователя CREDO ТРАНСКОР (версия 2.0) необходимо указать в соответствующих полях:

- систему отсчета координат;
- параметры математической поверхности относимости (название эллипсоида, значение большой полуоси и сжатия);
- тип и название картографической проекции (на территории Республики Беларусь для решения прикладных задач геодезии и картографии используется конформная проекция Гаусса-Крюгера).

Для каждой зоны указать:

- ширину зоны;
- значение осевого меридиана;
- масштабный коэффициент по осевому меридиану;
- численное значение условной ординаты осевого меридиана;

– смещение по осевому меридиану вдоль оси x , если таковое имеется.

Преобразование прямоугольных координат в картографической проекции из одной зоны в другую. Преобразование прямоугольных координат в картографической проекции из одной зоны в другую выполняется по схеме, показанной на рис. 2.10.

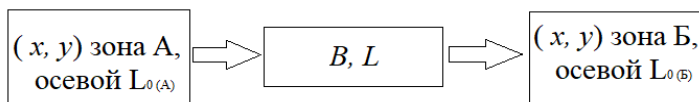


Рис. 2.10. Схема преобразования координат из одной зоны в другую

2.6. Местные системы координат. Методы установления местных систем координат. Связь местных систем координат с государственной. Создание местных систем координат в Республике Беларусь

Местная система координат – условная система координат, устанавливаемая в отношении ограниченной части территории государства, начало отсчета координат и ориентировка осей координат которой смещены по отношению к началу отсчета координат и ориентировке осей координат государственной системы геодезических координат [9].

Местные системы координат устанавливаются при создании на территориях населенных пунктов или промышленных объектов геодезических сетей сгущения или специальных геодезических сетей, которые являются геодезической основой для производства геодезических и картографических работ при инженерных изысканиях, строительстве и эксплуатации зданий и сооружений, землеустройстве, создании и ведении кадастров и выполнении других специальных работ.

Инициировать установление местных систем координат могут государственные органы, являющиеся заказчиками геодезических и картографических работ.

При установлении местной системы координат обязательным требованием является обеспечение взаимосвязи этой местной системы координат с государственной системой координат с использованием параметров перехода (ключа).

При установлении местной системы координат исполнитель в соответствии с требованиями технических нормативных правовых актов в области геодезической и картографической деятельности осуществляет: расчет параметров перехода (ключа); составление каталогов (списков) координат исходных геодезических пунктов в местной системе координат; составление справки о местной системе координат.

При установлении местной системы координат должны быть соблюдены следующие условия:

- исходными геодезическими пунктами для установления местной системы координат должны быть пункты государственной геодезической сети в количестве не менее двух;

- при установлении местной системы координат применяют проекцию Гаусса – Крюгера с произвольным осевым меридианом, проходящим по центральной части территории, для которой устанавливается местная система координат, или вблизи от нее, с таким расчетом, чтобы поправки за редуцирование геодезических измерений на поверхность относимости были пренебрегаемо малы;

- за высоту поверхности относимости принимают среднюю высоту территории, для которой устанавливается местная система координат, или уровень моря (высота точки начала отсчета государственной системы высот);

- преобразования координат из государственной системы геодезических координат в местную систему координат и наоборот производятся с обязательным контролем.

Материалы и данные, полученные в результате выполненных работ по установлению местной системы координат, подлежат экспертизе и передаче в уполномоченную организацию в установленном законодательством порядке.

На территории административно-территориальной или территориальной единицы Республики Беларусь может быть установлена только одна местная система координат [9].

Рассмотрим один из методов – *установление МСК методом ортогональных преобразований*. В основе метода ортогональных преобразований лежат общие формулы связи двух плоских прямоугольных координатных систем с учетом смещения начала исходной координатной системы (как правило, государственной) и создаваемой местной системы, разворота координатных осей исходной системы на некоторый угол и изменения масштаба проецирования. Перечисленные операции описываются формулами:

$$\left. \begin{aligned} \begin{matrix} x \\ y \end{matrix} &= \begin{matrix} x_0 \\ y_0 \end{matrix} + t \times \begin{matrix} \cos \varphi & \sin \varphi \\ -\sin \varphi & \cos \varphi \end{matrix} \times \begin{matrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \end{matrix} \\ \begin{matrix} X \\ Y \end{matrix} &= \begin{matrix} X_0 \\ Y_0 \end{matrix} + \frac{1}{t} \times \begin{matrix} \cos \varphi & -\sin \varphi \\ \sin \varphi & \cos \varphi \end{matrix} \times \begin{matrix} x - x_0 \\ y - y_0 \end{matrix} \end{aligned} \right\} \quad (2.16)$$

где x, y, X, Y – координаты произвольной точки в местной и исходной (государственной) системах координат;

x_0, y_0, X_0, Y_0 – координаты начальной точки в местной и исходной системах координат;

φ – угол между координатными осями местной и исходной (государственной) систем координат;

t – масштабный коэффициент местной системы координат.

Исходная система, называемая образующей, всегда является одной из государственных и может быть представлена координатами в 6-градусной, 3-градусной зоне СК-42, СК-95 или СК-63.

Чаще всего в качестве такой используется система, осевой меридиан которой ближе к центру территории, для которой устанавливается местная система координат. Рассмотрим, как осуществляется учет высоты проецирования при использовании МСК (рис. 2.11).

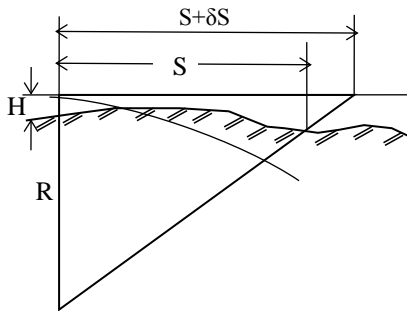


Рис. 2.11. Учет высоты проецирования

Начало МСК обычно выбирается в центре территории. Значение масштабного коэффициента t связывается с выбором поверхности относимости. Из рис. 2.11 следует, что при построении изображения на

плоскости, отстоящей от касательной к поверхности эллипсоида на величину H , длины отрезков изменяются на величину:

$$\delta S_H = S \frac{H}{R}, \quad (2.17)$$

а масштаб изображения становится равным

$$t = \left(1 + \frac{H}{R}\right), \quad (2.18)$$

где R – средний радиус кривизны;

H – средняя геодезическая высота территории.

Иные методы установления МСК. В практике применяется еще один метод установления МСК – создание новой координатной зоны со своим осевым меридианом.

Создание координатной зоны с новым осевым меридианом включает:

– определение территории предстоящих работ с учетом перспективы ее расширения и выбор для нее центрального (осевого) меридиана;

– вычисление геодезических координат B, L по формулам связи геодезических и плоских прямоугольных координат точек в проекции Гаусса-Крюгера в исходной системе с установленным для нее осевым меридианом;

– вычисление плоских прямоугольных координат x, y в местной системе с установленным для нее осевым меридианом.

На последнем этапе возможно применение метода ортогонального преобразования на основе формулы (2.16) с установлением смещений, разворота координатных осей, редуцирование координат на среднюю высоту местности и (или) их разворот на некоторый угол в плоскости X, Y . Необходимый для этого масштабный коэффициент определяется по формуле (2.18) в качестве множителя.

Примером использования рассмотренного подхода является местная система координат г. Минска, ключами которой являются: установленный для нее осевой меридиан; смещения плановых координат; разворот полученной системы на некоторый угол и высота поверхности относимости (масштабный коэффициент).

Создание местных систем координат в Республике Беларусь. Работы по созданию местных координатных систем в Республике Беларусь начаты еще в довоенный период и выполнялись, в основном, спе-

циалистами РУП Белгеодезия (предприятия № 5, Западного АПП) и Треста инженерно-строительных изысканий (ТИСИЗа, БелТИСИЗа).

Согласно хранящемуся в Госкартгеоцентре Каталогу МСК, содержащему первоначально установленные ключи, местные системы координат созданы в 265 населенных пунктах; данные об их числе и образующих системах представлены в табл. 2.1, где цифры в скобках после наименования системы обозначают «3-градусная» или «6-градусная».

Таблица 2.1. .

Контрольные вопросы и задания

1. Дайте определение следующим терминам: общеземной эллипсоид, референц-эллипсоид, геоид, квазигеоид.
2. Назовите основные параметры земного эллипсоида, запишите формулы связи между ними.
3. Дайте определение системе геодезических координат и ее составляющих.
4. Запишите формулы связи геодезических и геоцентрических координат.
5. Дайте определения терминам: геодезическая высота, ортометрическая высота, нормальная высота.
6. Охарактеризуйте проекцию Гаусса-Крюгера.
7. Приведите основные сведения о системах координат СК-42, СК-63, СК-95.
8. Перечислите основные типы операций с координатами. Приведите основные сведения о них.
9. Дайте определение местной системы координат. Перечислите методы установления местных систем координат.
10. Какая проекция и какие системы координат используются на территории Республики Беларусь при выполнении геодезических и картографических работ в землеустройстве и при ведении земельного кадастра?

3. СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ СОЗДАНИЯ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ СЕТИ И СЕТЕЙ СГУЩЕНИЯ

3.1. Состояние государственной геодезической сети Республики Беларусь

Геодезические сети в населенных пунктах, подразделяющиеся на геодезические (плановые) и нивелирные (высотные), являются плано-высотной основой для производства топографических съемок, геодезических и инженерно-изыскательских работ, выполняемых для решения различных инженерно-технических задач.

Особенностью развития современных геодезических сетей в населенных пунктах является использование спутниковых методов координатных определений, обеспечивающих определение положения геодезических пунктов с более высокой точностью.

Геодезические сети в населенных пунктах представляют собой совокупность геодезических пунктов, закрепленных на местности специальными центрами, обеспечивающими их сохранность и устойчивость в плане и по высоте в течение длительного времени.

Геодезические сети предназначены для:

- топографической съемки и обновления топографических планов населенных пунктов масштабов 1:5 000, 1:2 000, 1:1 000 и 1:500;
- землеустройства и городского земельного кадастра;
- инженерно-геодезических изысканий для строительства и дальнейшей эксплуатации зданий и сооружений, коммуникаций и т. д.;
- инженерно-геодезических исследований и изысканий локальных геодинамических природных и техногенных явлений;
- навигации наземного, воздушного (частично) и водного транспорта;
- других инженерных работ.

Плановое положение пунктов геодезических сетей в населенных пунктах определяется в государственной системе координат и местной системе координат, созданной конкретно для данного населенного пункта, высотное – в государственной системе высот.

Местные системы координат могут устанавливаться:

- на плоскости в проекции Гаусса-Крюгера, касательной к референц-эллипсоиду;
- на плоскости, касательной к поверхности относимости на высоте H_0 над уровнем моря.

Установление и использование МСК осуществляется в установленном Государственным комитетом по имуществу Республики Беларусь порядке. Учет и хранение ключей перехода из ГСК в МСК и обратно осуществляется учреждением «Государственный центр картографо-геодезических материалов и данных Республики Беларусь».

Главной особенностью работ по реконструкции геодезической сети в населенных пунктах является необходимость сохранения МСК, в которой ранее были выполнены крупномасштабные съемки территорий населенных пунктов, уточнение ключа перехода из государственной системы координат (ГСК) в МСК и обратно, и одновременно с этим обеспечение высокой точности геодезической сети для решения других инженерно-геодезических задач.

Точность определения планового положения, плотность и условия закрепления пунктов геодезических сетей в населенных пунктах должны обеспечивать графическую точность топографического плана масштаба 1:500.

Основным принципом создания и реконструкции геодезических сетей в населенных пунктах на современном этапе является совместное использование спутниковых и наземных линейно-угловых геодезических измерений.

Реконструкция геодезической сети в населенном пункте производится, как правило, перед обновлением топографического плана данного населенного пункта, осуществляемого в соответствии с установленной периодичностью обновления.

В случае утраты большого количества пунктов геодезической сети, связанной с интенсивным развитием инфраструктуры населенного пункта или увеличением его территории, допускается осуществлять реконструкцию геодезической сети независимо от срока обновления [10].

3.2. Структура геодезических сетей и основные требования к ним в населенных пунктах

Основными условиями при создании и реконструкции геодезических сетей в населенных пунктах являются:

- минимальная ее многоступенчатость по классам и разрядам типов сетей;

- необходимая плотность геодезических пунктов;

- надежная и жесткая связь с пунктами ГГС.

Геодезические сети в населенных пунктах структурно формируются от общего к частному и подразделяются на:

- плановую (геодезическую) сеть;

- высотную (нивелирную) сеть.

Плановая геодезическая сеть включает:

- спутниковые геодезические сети;

- сети полигонометрии 4 класса, 1 и 2 разрядов.

Спутниковая геодезическая сеть включает:

- каркасную спутниковую сеть;

- спутниковую городскую геодезическую сеть.

Пункты государственной геодезической сети, представленной фундаментальной астрономо-геодезической сетью (ФАГС), высокоточной геодезической сетью (ВГС) и спутниковой геодезической сетью-1 (СГС-1), являются исходными для развития спутниковых геодезических сетей в населенных пунктах, которые сгущаются методом поли-

гонометрии до необходимого уровня плотности геодезического обоснования на территории населенных пунктов.

Высотная сеть в населенных пунктах включает нивелирные сети II, III и IV классов.

Пункты государственной нивелирной сети Республики Беларусь являются исходными для развития нивелирных сетей на территории населенных пунктов.

Схема геодезической сети в населенном пункте в процессе ее создания или реконструкции определяется:

- площадью и планировкой населенного пункта;
- расположением пунктов государственной геодезической сети;
- генеральным планом градостроительного развития населенного пункта в перспективе;
- количественными и качественными характеристиками существующей на территории населенного пункта геодезической сети, подлежащей реконструкции.

Высшим звеном всей структуры координатного обеспечения территории населенных пунктов является каркасная спутниковая сеть (КСС).

Каркасная спутниковая сеть практически реализует геоцентрическую систему координат и государственную систему координат в рамках решения задач геодезического обеспечения населенного пункта.

Привязка каркасной спутниковой сети к пунктам государственной геодезической сети, координаты которых определены спутниковыми методами, осуществляется путем включения в сеть не менее трех пунктов СГС-1.

Пункты каркасной спутниковой сети должны быть максимально совмещены с пунктами государственной геодезической сети 1–4 классов.

Каркасная спутниковая сеть представляет собой единое пространственное геодезическое построение из нескольких пунктов, но не менее трех, в границах которого развивается геодезическая сеть населенного пункта.

Средняя квадратическая погрешность взаимного положения смежных пунктов каркасной спутниковой сети не должна превышать 0,5–1,0 см в плановом отношении и 1,0–2,0 см по высоте.

Спутниковая государственная геодезическая сеть развивается в границах каркасной спутниковой сети. Основной функцией спутнико-

вой государственной геодезической сети является сгущение каркасной спутниковой сети до необходимой плотности и дальнейшее распространение на территории населенного пункта геоцентрической системы координат и государственной системы координат и уточнение ключа перехода из государственной системы координат в местную систему координат и обратно.

Спутниковая государственная геодезическая сеть (СГГС) представляет собой однородное по точности пространственное геодезическое построение, состоящее из геодезических пунктов, покрывающих равномерно территорию населенного пункта.

Расстояние между смежными геодезическими пунктами должно составлять 2–10 км.

Треугольники в СГГС должны быть по возможности равноугольными, минимальное значение угла в треугольнике должно быть не менее 20° , максимальное – не более 140° .

Пункты СГГС должны быть максимально совмещены с сохранившимися на территории населенного пункта пунктами городской триангуляции, основными узловыми пунктами полигонометрической сети и пунктами высокоточных геодезических сетей специального назначения, закрепленными на местности центрами глубокого заложения. При необходимости увеличения плотности геодезической сети производится закладка новых пунктов СГГС с использованием центров глубокого заложения.

Средняя квадратическая погрешность взаимного положения смежных пунктов СГГС не должна превышать 1,0–1,5 см в плановом отношении и 1,5–2,5 см по высоте.

Значения средних погрешностей взаимного положения пунктов спутниковых геодезических сетей не должны превышать 3,0 см.

Пункты спутниковой геодезической сети являются исходными для сетей полигонометрии 4 класса, 1 и 2 разрядов.

С целью обеспечения жесткости сети следует стремиться к сокращению многоступенчатости сети, ограничиваясь развитием полигонометрии 1 разряда.

Сеть полигонометрии 2 разряда развивается в исключительных случаях при необходимости создания геодезического обоснования на отдельных участках территории населенного пункта.

Основное назначение сети полигонометрии – доведение плотности планового геодезического обоснования до плотности, удовлетворяю-

щей требованиям производимых топографических и инженерно-изыскательских работ на территории населенного пункта.

Плотность пунктов геодезической сети на застроенной территории населенного пункта должна быть доведена до не менее 8 пунктов на 1 кв. км. На незастроенной части территории населенного пункта плотность пунктов устанавливается при техническом проектировании геодезической сети в каждом отдельном случае, но не менее 1 пункта на 1 кв. км.

Сеть полигонометрии в населенных пунктах развивается в виде одиночных ходов или систем ходов, опирающихся на пункты КСС и СГГС.

На все пункты геодезической сети в населенном пункте должны быть переданы высоты нивелированием II, III, IV классов.

Основными этапами создания и реконструкции геодезических сетей в населенных пунктах являются:

- проектирование геодезических работ;
- обследование и восстановление пунктов;
- рекогносцировка и закладка пунктов;
- спутниковые наблюдения на пунктах КСС;
- спутниковые наблюдения на пунктах СГГС;
- обработка спутниковых наблюдений и уравнивание спутниковых геодезических сетей;
- полигонометрия, уравнивание сети полигонометрии;
- нивелирование, уравнивание сети нивелирования;
- составление технического отчета о выполненных работах [10].

3.3. Общие требования к построению сетей сгущения для целей землеустройства и земельного кадастра. Плотность пунктов на городских, застроенных территориях и землях сельскохозяйственных организаций

В качестве геодезической основы земельно-кадастровых планов и при выполнении работ по установлению (восстановлению) границ земельных участков служат:

- государственная геодезическая сеть (ГГС) в виде пунктов триангуляции, полигонометрии, трилатерации 1, 2, 3 и 4 классов;
- геодезические сети сгущения (ГСС) в виде пунктов триангуляции, полигонометрии и трилатерации 1 и 2 разрядов;

– пункты сгущения плано-высотного обоснования в сельских населенных пунктах, созданные для целей землеустройства;

– закрепленные на местности межевые знаки, пункты плановой привязки аэроснимков и съёмочной основы, в том числе точки поворота границ земельных участков, совмещенные с капитальными заборами, ограждениями и колодцами.

Государственная геодезическая сеть (ГГС) включает:

– Астрономо-геодезические пункты космической геодезической сети (АГП КГС) на территории бывшего СССР;

– Доплеровскую геодезическую сеть (ДГС);

– Астрономо-геодезическую сеть (АГС) 1 и 2 классов;

– Геодезические сети сгущения (ГСС) 3 и 4 классов.

По состоянию на конец 80-х годов государственная плановая геодезическая сеть Беларуси включала 6793 пункта, в том числе 2509 пунктов триангуляции 1 и 2 классов и 4284 пункта триангуляции 3 и 4 классов [16].

Средняя плотность пунктов ГГС в то время составляла один пункт на 30,3 км², что при условии её сохранности и небольшого сгущения удовлетворяло требованиям, предъявляемым к топографическим съёмкам в масштабе 1:5000 и мельче.

Точность сети позволяла использовать её для обоснования топографических съёмок до масштаба 1:2000 включительно.

Государственная высотная геодезическая сеть включала 2500 км линий нивелирования I класса, 2000 км линий нивелирования II класса и более 10000 км нивелирования III и IV классов. Общее число нивелирных знаков, заложенных на территории страны, составляло более 40000.

Однако плано-высотная ГГС Республики Беларусь неравномерно охватывала всю страну. Высокая плотность сгущения пунктов ГГС, созданная для стратегических целей ещё во времена СССР, наблюдалась в западной части республики, а на остальной части территории страны было недостаточное количество пунктов. Также большие утраты пунктов, произошедшие с конца 80-х годов и повсеместное внедрение новых технологий (спутниковых методов автономных координатных определений) привели к необходимости модернизации государственной геодезической сети.

В период с 1999 г. по 2001 г. было предложено несколько концепций модернизации ГГС [10, 11, 12]. Была разработана программа перехода топографо-геодезического производства Республики Беларусь на автономные методы спутниковых координатных определений, в осно-

ву которых положен принцип сохранения единства геодезических сетей Беларуси и России (рис. 3.1).

В настоящее время ГГС Республики Беларусь подразделяется на:

- фундаментальную астрономо-геодезическую сеть (ФАГС);
- высокоточную геодезическую сеть (ВГС);
- спутниковую геодезическую сеть 1-го класса (СГС-1);
- астрономо-геодезическую сеть (АГС);
- геодезические сети сгущения (ГСС).

На первом этапе создан пункт фундаментальной астрономо-геодезической сети «Минск», являющийся составной частью созданной ФАГС на территории Союзного государства России и Беларуси.

Следующим этапом модернизации стало создание высокоточной геодезической сети (ВГС), представленной пунктами Поставы, Полоцк, Витебск, Могилев, Гомель, Калинковичи, Микашевичи, Кобрин и Скидель (рис. 3.1).

ФАГС урavnена в системе координат WGS-84, полученная точность взаимного положения пунктов не более 0,5 см по каждой из плановых координат и 1–2 см по геодезической высоте. Средние квадратические погрешности взаимного положения ВГС по каждой из плановых координат не превышают величин 1,5 см и по геодезической высоте 2–3 см.

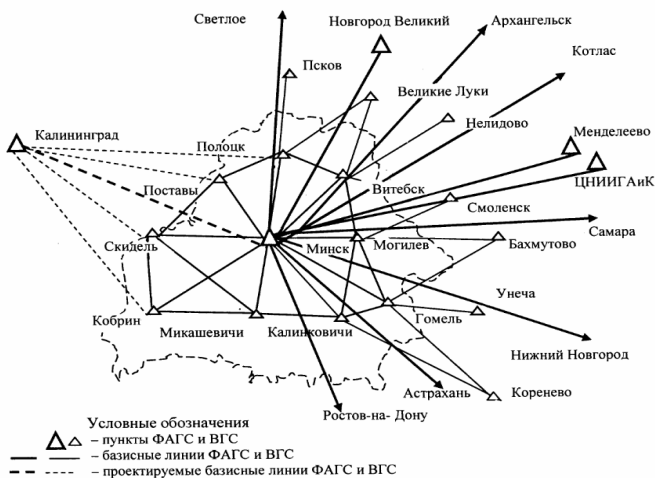


Рис. 3.1. Схема связи государственной геодезической сети Беларуси и России

В 2001 г. на пункте ФАГС «Минск» установлена совмещенная GPS/ГЛОНАСС базовая станция Legasi E GGD, и с этого времени она работает в режиме постоянно действующей (перманентной) станции. Дальнейшее развитие ГГС на всю территорию Республики Беларусь выполнялось специалистами РУП «Белазэрокозмогеодезия» [12].

Плотность пунктов ГГС для обеспечения землеустроительных работ и работ по созданию кадастровых планов и карт, цифровых моделей, зависит от масштабов создаваемых планов и карт и должна соответствовать следующим требованиям:

1:10000 – один пункт плановой основы на 50–60 км² и один репер при сечении рельефа через 2 метра;

1:5000 – один пункт на 20–30 км² и один репер на 10–15 км²;

1:2000 и крупнее – один пункт на 5–15 км² и один репер на 5–7 км².

На застроенных территориях городов и участках, подлежащих застройке в ближайшие годы, а также на площадках крупных предприятий и объединений плотность пунктов государственной геодезической сети должна быть не менее одного пункта на 5 км².

При недостаточной плотности пунктов ГГС развивают сети сгущения. Плотность геодезических сетей вне населенных пунктов должна быть доведена до 1 пункта на 7–10 км² для съемки в масштабе 1:5000, а для масштаба 1:2000 – 1 пункт на 2 км². В городах и населенных пунктах общая плотность пунктов (ГГС и сети сгущения) должна быть не менее:

– на застроенных территориях – 4 пункта на 1 км², но не менее 3 на один сельский населённый пункт;

– на незастроенных территориях – один пункт на 1 км².

Геодезическая сеть сгущения развивается на основе пунктов геодезической сети более высокой ступени. На территориях сельскохозяйственных предприятий, населенных пунктов, строительных объектов и т.д. создается геодезическая сеть сгущения специального назначения. Плановые сети сгущения подразделяют на 1 и 2 разряды и создают методами триангуляции, полигонометрии, трилатерации и их сочетаниями [13, 14]. Высотные (нивелирные) сети развиваются методом геометрического нивелирования III и IV классов.

Пункты сетей сгущения, как и пункты государственных геодезических сетей, закрепляют на местности постоянными знаками.

Следующей ступенью сети сгущения является съемочная сеть, отличающаяся меньшей точностью (в 2–3 раза) и большим количеством геодезических пунктов (точек) на единицу площади (в 3–10 раз). Съёмочная сеть используется не только для топографических съемок, но и для других работ, например для перенесения на местность проектов

землеустройства, мелиоративных систем, отводов земельных участков и др.

На территории сельскохозяйственных организаций и других землепользователей в качестве пунктов съёмочной сети могут служить межевые знаки по границам землепользования с известными координатами. Определение положения пунктов съёмочных сетей выполняют проложением тахеометрических ходов, построением микротриангуляции, прямыми, обратными и комбинированными засечками, либо иными способами с использованием спутникового оборудования. Высоты этих пунктов определяют геометрическим или тригонометрическим нивелированием.

Выбор метода создания съёмочных сетей зависит от топографических, технико-экономических условий местности и др.

Средние погрешности положения точек плановой съёмочной сети, в том числе межевых знаков, закрепленных на местности точек поворота границ земельных участков, а также плановых опознаков относительно ближайших пунктов опорной геодезической сети не должны быть больше 0,10 мм в масштабе создаваемого плана и плана границ землевладения на застроенной территории и в открытой местности и 0,15 мм – в закрытой местности, а их средние квадратические значения могут быть на 25 % больше [14].

3.4. Построение сетей сгущения методом полигонометрии.

Основные требования к полигонометрии.

Особенности городской полигонометрии

Создание и реконструкция геодезической сети в населенных пунктах методом полигонометрии осуществляются в случае:

- необходимости доведения плотности геодезического обоснования в населенных пунктах до необходимого уровня;
- отсутствия условий для производства спутниковых наблюдений.

На территории населенных пунктов развиваются сети полигонометрии 4 класса, 1 и 2 разрядов [15].

С целью обеспечения большей жесткости геодезической сети в населенных пунктах следует стремиться к сокращению многоступенчатости сети, ограничиваясь развитием полигонометрии 1 разряда.

Полигонометрические сети создаются в виде отдельных ходов или систем ходов с узловыми точками, опирающихся на исходные пункты, – пункты спутниковой геодезической сети.

Отдельные ходы полигонометрии должны опираться на два исходных пункта.

На исходных пунктах полигонометрической сети должны быть измерены примычные углы.

Для контроля угловых измерений на исходных пунктах измеряют примычный угол на ориентирные пункты или пункты-спутники.

При отсутствии между исходными пунктами видимости с земли допускается:

- проложение отдельного хода полигонометрии, опирающегося на два исходных пункта, без угловой привязки на одном из них;
- отсутствие примычных углов на отдельных исходных пунктах в системе полигонометрических ходов.

Проложение висячих ходов не допускается.

При построении сетей полигонометрии 4 класса, 1 и 2 разрядов должны соблюдаться требования, приведенные в табл. 3.1 [15].

Таблица 3.1. Технические характеристики ходов полигонометрии

Показатели	4 класс	1 разряд	2 разряд
Предельная длина хода, км:			
– отдельного	15	5	3
– между исходной и узловой точкой	10	3	2
– между узловыми точками	7	2	1,5
Предельный периметр полигона, км	30	15	9
Наименьшая длина сторон хода, км	0,25	0,12	0,08
Число сторон в ходе, не более	15	15	15
Относительная погрешность хода, не более	1:25 000	1:10 000	1:5 000
Угловая невязка хода, не более, где n – число углов в ходе	$5''\sqrt{n}$	$10''\sqrt{n}$	$20''\sqrt{n}$
Средняя квадратическая погрешность измерения угла (по невязкам в ходах), не более	2"	5"	10"

Наибольшие длины сторон в ходах полигонометрии не регламентируются, но не допускается переход от наименьших сторон к наибольшим.

В порядке исключения в ходах полигонометрии 1 разряда длиной до 1 км и в ходах полигонометрии 2 разряда длиной до 0,5 км допускается абсолютная линейная невязка до 10 см.

Число угловых и линейных невязок, близких к предельным значениям, не должно превышать 10 %.

Расстояния между пунктами параллельных полигонометрических ходов одного и того же класса (разряда), по длине близких к предельным, должны быть не менее:

- в полигонометрии 4 класса – 2,5 км;
- в полигонометрии 1 разряда – 1,5 км.

При меньших расстояниях между пунктами параллельных полигонометрических ходов одного и того же класса (разряда) ближайшие пункты должны быть связаны ходом полигонометрии данного класса (разряда).

Если пункты хода полигонометрии 1 разряда отстоят менее, чем на 1,5 км от пунктов параллельного хода полигонометрии 4 класса, то между ближайшими пунктами этих ходов должна быть осуществлена связь проложением хода 1 разряда.

При измерении углов и сторон полигонометрии применяются аттестованные в установленном порядке средства измерений: теодолиты, электронные тахеометры, светодальномеры и др. Технические характеристики инструментов должны соответствовать требованиям, приведенным в табл. 3.2.

Применяемые средства измерений должны быть поверены и исследованы в установленном порядке.

Измерение углов на пунктах полигонометрии производится способом круговых приемов по трехштативной системе.

Таблица 3.2. Технические характеристики инструментов, применяемых в полигонометрии

Показатели	4 класс	1 разряд	2 разряд
Средняя квадратическая погрешность угломерной части, не более	2"	5"	5"
Средняя квадратическая погрешность измерения расстояния, не более	$5 \text{ мм} + 3 \times 10^{-6}D$	$10 \text{ мм} + 5 \times 10^{-6}D$	$10 \text{ мм} + 5 \times 10^{-6}D$

Число угловых приемов в зависимости от класса (разряда) и типа применяемого прибора приведено в табл. 3.3.

Таблица 3.3. Число приемов угловых измерений в полигонометрии

Средняя квадратическая погрешность измерения угла (по угловой точности прибора)	Число приемов в полигонометрии		
	4 класс	1 разряд	2 разряд
1"	4	2	–
2"	6	2	2
3"	8	2	2
5"	–	3	2

Результаты измерений отдельных углов или направлений на пунктах полигонометрии должны находиться в пределах допусков, указанных в табл. 3.4.

Таблица 3.4. Допуски измерений отдельных углов или направлений

Элементы измерений, к которым относятся допуски	Средняя квадратическая погрешность измерения угла применяемого прибора			
	1"	2"	3"	5"
Расхождение между значениями одного и того же угла, полученного из двух полуприемов	6"	8"	10"	12"
Колебание значений угла, полученных из разных приемов	5"	8"	10"	12"
Расхождение между результатами наблюдений на начальное направление в начале и в конце полуприема	6"	8"	10"	12"
Колебание значений направлений, приведенных к общему нулю, в отдельных приемах	5"	8"	10"	12"

При наличии угловых измерений, результаты которых не удовлетворяют установленным допускам, измерения повторяют.

Расхождения между значениями измеренного и исходного углов на примычные пункты не должны превышать:

- в полигонометрии 4 класса – 6";
- в полигонометрии 1 разряда – 10";
- в полигонометрии 2 разряда – 20".

Если расхождения превышают указанный допуск, то производят измерения дополнительных приемов (два приема – для полигонометрии 4 класса и один прием – для 1 и 2 разрядов). В окончательную обработку включают все приемы, результаты измерений которых удовлетворяют допускам, приведенным в табл. 3.4.

При измерении линий светодальномерами и электронными тахеометрами количество приемов должно составлять:

- полигонометрии 4 класса – 3 приема;
- полигонометрии 1 и 2 разряда – 2 приема.

Колебания в отдельных приемах измерения направлений, приведенных к общему нулю, не должны превышать значений, приведенных в табл. 3.5.

Таблица 3.5. Допустимые колебания направлений в отдельных приемах

Расстояние до стенного знака, м	2	4	6	8	10	15	20	30
Колебание направлений	3'20"	2'30"	1'20"	1'00"	0'40"	0'30"	0'20"	0'10"

Измерения для передачи координат с рабочих центров на центры стенных знаков выполняют с суммарной средней квадратической погрешностью ± 2 мм во всех разрядах полигонометрии.

Угловые и линейные измерения рекомендуется производить одновременно. Полевая обработка материалов измерений и контрольные вычисления должны производиться исполнителем.

Все измерения записываются в журнал угловых и линейных измерений полигонометрии.

В период полевых измерений до выезда с объекта работ исполнителем работ осуществляются следующие виды предварительной обработки материалов наблюдений полигонометрической сети:

- проверка и обработка журналов угловых и линейных измерений в полигонометрии;
- проверка материалов измерений на стенные знаки полигонометрии и вычисление контрольных расстояний между стенными знаками.

В процессе выполнения полевых работ исполнителем работ ведется рабочая схема измеренных горизонтальных углов (направлений) и длин линий, на схеме указывается вся информация для предварительной оценки качества выполненных измерений.

Для предварительной оценки качества измерений выполняются вычисления:

- угловых невязок по отдельным ходам, опирающимся на исходные геодезические пункты, и замкнутым полигонам полигонометрической сети;
- невязок приращений координат по замкнутым полигонам полигонометрии.

По окончании полевых работ должны быть представлены следующие материалы и данные, относящиеся к предварительной обработке полигонометрической сети:

- материалы поверок и исследований инструментов;
- журналы угловых и линейных измерений;
- материалы предварительной обработки полигонометрии;
- схема угловых и линейных измерений;
- пояснительная записка [15].

После завершения обработки спутниковых геодезических сетей выполняется обработка результатов измерений, уравнивание полигонометрии по способу наименьших квадратов и оценка точности. В качестве исходных используются координаты пунктов КСС и СГГС.

Для обработки полигонометрии должны быть получены высоты пунктов из уравнивания нивелирной сети.

Уравнивание выполняется с применением сертифицированных программных продуктов.

Обработка результатов измерений в полигонометрии 4 класса, 1 и 2 разрядов заключается в оценке качества выполненных измерений, при этом выполняются:

– вычисление угловых невязок полигонов, образованных линиями одного класса (разряда). Допустимые угловые невязки не должны превышать:

$$\begin{aligned} \text{для полигонометрии 4 класса } f_{\beta\text{доп.}} &= 5'' \sqrt{n} ; \\ \text{для полигонометрии 1 разряда } f_{\beta\text{доп.}} &= 10'' \sqrt{n} ; \\ \text{для полигонометрии 2 разряда } f_{\beta\text{доп.}} &= 20'' \sqrt{n} , \end{aligned} \quad (3.1)$$

где n – число углов в ходе;

– вычисление угловых невязок комбинированных полигонов. Допустимые угловые невязки не должны превышать:

$$\left. \begin{aligned} f_{\beta(\text{доп})1\text{разр.}} &= \sqrt{25n_{4\text{кл.}} + 100n_{1\text{разр.}}} , \\ f_{\beta(\text{доп})2\text{разр.}} &= \sqrt{100n_{1\text{разр.}} + 400n_{2\text{разр.}}} \quad \text{или} \\ f_{\beta(\text{доп})2\text{разр.}} &= \sqrt{25n_{4\text{кл.}} + 100n_{2\text{разр.}}} ; \end{aligned} \right\} \quad (3.2)$$

– вычисление средней квадратической погрешности измеренного угла в полигонах и замкнутых ходах полигонометрии:

$$m_{\beta} = \sqrt{\frac{\left[\frac{f_{\beta}^2}{n} \right]}{N}} , \quad (3.3)$$

где f_{β} – угловая невязка в полигоне или ходе;

n – число измеренных углов;

N – число полигонов или ходов.

Выполняется сравнение координат сохранившегося пункта геодезической сети и координат этого пункта, полученных из уравнивания при реконструкции геодезической сети. В этом случае расхождение значений координат не должно превышать точность топографического

плана наиболее крупного масштаба, созданного на территорию данного населенного пункта.

По окончании работ по уравниванию сети полигонометрии должны быть представлены следующие материалы и данные, необходимые для составления технического отчета:

- таблица измеренных углов и длин линий;
- схема сети полигонометрии;
- ведомости обработки и уравнивания полигонометрии в ГСК и в МСК;
- характеристика качества ходов полигонометрии по материалам уравнивания;
- ведомости сравнения координат пунктов геодезической сети и координат этих пунктов, полученных из уравнивания при очередной реконструкции геодезической сети;
- список координат и высот пунктов полигонометрии в ГСК;
- список координат и высот пунктов полигонометрии в МСК [15].

В процессе проектирования полигонометрической сети намечается целесообразный вариант проложения ходов, закрепления центров, производство наблюдений и обработки результатов. На карте, прежде всего, наносят имеющиеся в районе работ пункты триангуляции и полигонометрии. Проектируемые ходы намечают сначала для высших, а затем для низших классов и разрядов с учетом следующих условий:

- линии ходов располагают вдоль улиц, дорог, рек, по просекам и вообще на участках удобных для угловых и линейных измерений; пункты намечают вблизи объектов съемки и строительства в местах, удобных для разбивочных работ и обеспечивающих их сохранность;
- предусматривается возможность привязки ходов к пунктам высшего класса; если к исходному пункту нельзя примкнуть непосредственно, составляют проект передачи координат с него на пункт полигонометрии с учетом указаний;
- полигонометрические ходы должны быть по возможности вытянутыми и равнобедренными; короткие стороны не следует располагать рядом с длинными; практически ход считается вытянутым, если пункты его расположены вправо или влево от замыкающей не более чем на $1/10$ ее длины, а стороны составляют с замыкающей углы не более 20° ;
- для ходов с большим числом подсчитывают ожидаемую линейную невязку.

Полигонометрические сети 4 класса создают в виде системы или отдельных ходов. Проложение замкнутых ходов, опирающихся на один исходный пункт, и висящих ходов не допускается [15].

3.5. Привязка съемочных сетей к стенным знакам

Привязка на местности сводится к измерению углов и линий, необходимых для вычисления с надлежащей точностью и контролем координат примычного пункта Р и дирекционного угла α направления с примычного пункта на соответствующий стенной знак.

При наличии сохранившихся наземных рабочих центров привязка ходов осуществляется к последним также, как и к обычным грунтовым знакам.

Привязка к стенным знакам, образующим одинарные, двойные и тройные ориентирные системы, при утрате наземных рабочих центров осуществляется одним из следующих способов.

Привязка к одинарным стенным знакам.

Тахеометр устанавливают напротив стенного знака на расстоянии не более 20 м с таким расчетом, чтобы был виден и соседний знак (рис. 3.2), и измеряют расстояние l_1 , до ближайшего стенного знака, угол β между направлениями на знаки.

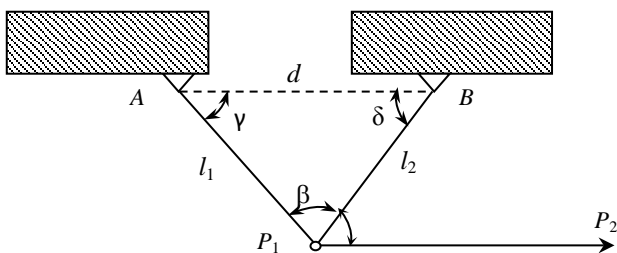


Рис. 3.2. Привязка к одинарным стенным знакам

Если позволяют условия местности, измеряют расстояние и до дальнего стенного знака l_2 .

Выполнив эти измерения, вычисляют координаты точки стояния инструмента по известным формулам:

$$\sin \delta = (l_1 \sin \beta) / d; \quad \gamma = 180^\circ - (\beta + \delta); \quad \alpha_{AP_1} = \alpha_{AB} + \gamma; \quad (3.4)$$

$$x_{P_1} = x_A + l_1 \cos \alpha_{AP_1}; \quad y_{P_1} = y_A + l_1 \sin \alpha_{AP_1}. \quad (3.5)$$

По координатам точек P_1 и B , решая обратную задачу, вычисляют дирекционный угол и расстояние P_1B , которое сопоставляют с непосредственно измеренным l_2 . Расхождение между ними не должно превышать 8 мм.

Дирекционный угол линии α_{P_1B} принимают в качестве исходного для привязываемого хода. Ориентирование по более короткому расстоянию P_1A будет менее точным и поэтому не допускается.

Привязка к двойным системам ственных знаков. При такой привязке электронный тахеометр устанавливают в удобном для работы месте напротив ственного знака на расстоянии, примерно равном расстоянию между ственными знаками d , но не далее 20 м (рис. 3.3).

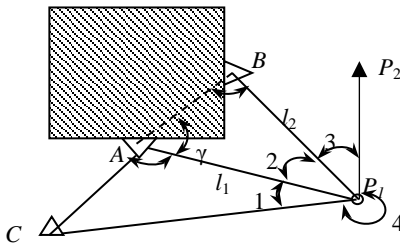


Рис. 3.3. Привязка к двойным системам ственных знаков

Измеряют расстояния l_1 и l_2 до ственных знаков, а также углы 1, 2, 3, 4 между направлениями на ственные знаки и временной точкой P_2 .

Координаты временной точки P_1 и дирекционный угол линии P_1C , которая будет служить исходной для привязываемого хода, вычисляют по формулам:

$$\sin \gamma = (l_2 \sin 2) / d; \quad \sin \delta = (l_1 \sin 2) / d; \quad \gamma + \delta + 2 = 180^\circ; \quad (3.6)$$

$$d = \sqrt{(l_1^2 + l_2^2 - 2l_1l_2 \cos 2)}; \quad a_{AP_1} = a_{AB} + \gamma; \quad (3.7)$$

$$x_{P_1} = x_A + l_1 \cos \alpha_{AP_1} = x_B + l_2 \cos \alpha_{BP_1}; \quad (3.8)$$

$$y_{P_1} = y_A + l_1 \sin \alpha_{AP_1} = y_B + l_2 \sin \alpha_{BP_1}; \quad (3.9)$$

$$\operatorname{tg} \alpha_{P_1 C} = (y_C - y_{P_1}) / (x_C - x_{P_1}). \quad (3.10)$$

Привязка к тройным системам ственных знаков. Тахеометр устанавливают на конечной точке хода P_1 , которую выбирают напротив осевого ственного знака, и измеряют направления на соседний пункт привязываемого хода, а также на центры ственных знаков A, B, C ориентирного пункта. Кроме этого, измеряют полярное расстояние l_0 от точки стояния теодолита до осевого ственного знака A (рис. 3.4).

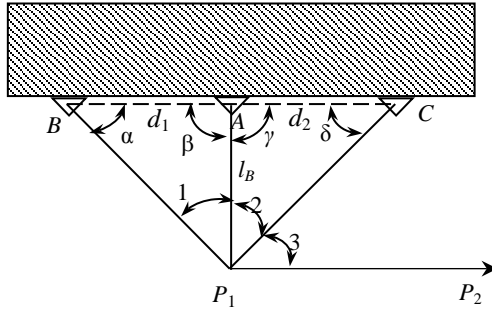


Рис. 3.4. Привязка к тройным системам ственных знаков

Из решения треугольников CAP_1 и ABP_1 находим углы α и δ по формулам:

$$\sin \alpha = (l_0 \sin 1) / d_1; \quad \sin \delta = (l_0 \sin 2) / d_2; \quad (3.11)$$

затем углы β и γ :

$$\beta = 180^\circ - (\alpha + 1); \quad \gamma = 180^\circ - (\delta + 2). \quad (3.12)$$

Далее вычисляем расстояние CP_1 и BP_1 :

$$CP_1 = (d_1 \sin \beta) / \sin 1; \quad BP_1 = (d_2 \sin \gamma) / \sin 2. \quad (3.13)$$

По полученным данным трижды вычисляют координаты точки P_I по формулам:

$$\alpha_{AP1} = \alpha_{AB} + \gamma; \quad \alpha_{BP1} = \alpha_{BA} - \delta; \quad \alpha_{CP1} = \alpha_{CA} + \alpha \quad (3.14)$$

$$x_{P1} = x_A + l \cos \alpha_{AP1}; \quad y_{P1} = y_A + l \sin \alpha_{AP1}; \quad (3.15)$$

$$x_{P1} = x_B + BP_1 \cos \alpha_{BP1}; \quad y_{P1} = y_B + BP_1 \sin \alpha_{BP1}; \quad (3.16)$$

$$x_{P1} = x_C + CP_1 \cos \alpha_{CP1}; \quad y_{P1} = y_C + CP_1 \sin \alpha_{CP1}. \quad (3.17)$$

3.6. Общие сведения о глобальных навигационных спутниковых системах. Структура глобальных навигационных спутниковых систем

Впервые концепция использования глобальной спутниковой системы позиционирования была разработана в начале 70-х годов.

Функционируют три глобальные навигационные спутниковые системы: Российская ГЛОНАС, система GPS, разработанная в США и европейская глобальная спутниковая навигационная система Galileo.

■ NAVSTAR GPS (NAVigation System with Time And Ranging Global Positioning System) – навигационная система определения расстояний и времени, глобальная система позиционирования (США).

■ ГЛОНАСС – ГЛОбальная НАвигационная Спутниковая Система определения местоположения (Россия).

Вскоре после создания, система ГЛОНАСС по ряду причин практически прекратила свое существование, но в 2006–2007 гг. принято ряд принципиальных решений, реализация которых позволила обеспечить ее использование с 2007 году – на территории России, а с 2009 года – на остальной территории планеты. В 1999 году было принято решение о создании космической системы Европейского космического агентства Galileo, что увеличит общую космическую группировку до 80 спутников, повысит точность и надежность определений координат объектов.

Европейский Союз (EU) и Европейское космическое агентство (ESA) ввели в эксплуатацию новую европейскую глобальную спутниковую навигационную систему Galileo («Галилео»). Существование

второй полностью рабочей спутниковой системы GNSS обещает значительную выгоду для гражданских потребителей по всему миру. Запуск проекта Galileo позволит увеличить более, чем в два раза количество рабочих навигационных спутников, доступных пользователям. Подобное увеличение количества спутников принесёт пользу не только при работе в автономном режиме, но и улучшит качество определения координат и способность GPS-аппаратуры разрешать неоднозначность по фазе, несущей для отслеживаемого спутникового сигнала.

Спутниковая радионавигационная система (СРНС) Galileo представляет собой уникальный глобальный проект системы массового обслуживания XXI века. В перспективе комбинированный приёмник пользователя, принимающий и дешифрирующий сигналы трёх независимых СРНС Galileo, GPS и ГЛОНАСС, получает техническую возможность одновременно наблюдать и использовать для место определения и навигации более 30 навигационных космических аппаратов разных систем без потери реальной способности вычисления координат в любых условиях затенения горизонта в городах, горных и лесных массивах.

Принцип определения месторасположения с помощью глобальной навигационной спутниковой системы предусматривает измерение расстояний (дальностей) между искусственными спутниками Земли и фазовым центром антенны приемника спутниковых сигналов, установленного на определяемой точке местности.

Сущность спутникового позиционирования заключается в следующем. Навигационные искусственные спутники Земли непрерывно излучают радиосигналы и перемещаются по орбитам так, чтобы в любой точке планеты и околоземного пространства можно было принимать сигналы одновременно от нескольких из них. Поскольку параметры орбит спутников непрерывно определяются наземными станциями слежения и считаются известными, то для определения положения какой-либо точки необходимо:

- 1) установить на точке спутниковый приемник и с его помощью принять радиосигналы от нескольких спутников одновременно;

- 2) обработать радиосигналы и вычислить расстояния (дальности) до спутников;

- 3) вычислить геоцентрические (X, Y, Z) или эллипсоидальные геодезические (B, L, H) координаты точки, решив пространственную линейную засечку.

Поскольку при обработке наблюдений спутников приходится учитывать параметр «время», то для однозначного решения засечки требуется наблюдать не менее четырех спутников, расположенных примерно через 90° по азимуту и под углом наклона $40\text{--}60^\circ$ к горизонту.

Использование при определении местоположения глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) имеет существенные преимущества по сравнению с традиционными геодезическими методами.

1. Исключается необходимость располагать определяемые пункты геодезических сетей при условии взаимной видимости между ними.

2. Расстояния между определяемыми пунктами могут составлять десятки километров.

3. Возможны наблюдения в любую погоду, как в дневное, так и в ночное время.

4. Измерения и обработка результатов почти полностью автоматизированы.

5. Возможно получение координат геодезических пунктов, поворотных точек границ земельных участков, съемочных станций, характерных точек объектов недвижимости в реальном масштабе времени и др.

Рассмотрим общие принципы организации ГНСС на примере систем GPS и ГЛОНАСС.

Обе системы имеют сходные параметры: близкие несущие частоты, общность конструкций кодовых сигналов, близость высот и наклонений орбит и периодов обращения, а также схожее общее построение.

Выделяют три основных сегмента ГНСС:

1. Сегмент контроля и управления – это комплекс наземных средств, обеспечивающих непрерывные наблюдения и контроль над работой всей системы: центр управления системой, контрольные станции (КС); командная станция слежения (КСС) и др. Одна из составляющих этого сегмента – равномерно расположенная на поверхности Земли, космическая геодезическая сеть.

2. Космический сегмент включает в себя созвездие навигационных искусственных спутников Земли (НИСЗ), оснащенных солнечными батареями и вращающихся вокруг Земли на определенных орбитах. Аппараты сохраняют стабильным заданное положение на орбите, принимают и хранят информацию с наземных станций и непрерывно передают измерительные радиосигналы. На каждом спутнике имеется несколько эталонов частот и аппаратура для приема и передачи радиосигналов, бортовой компьютер и др. Одновременно с измерительными

сигналами с искусственного спутника земли передается хранящаяся на нем, так называемая, оперативная и неоперативная информация, сформированная в виде кадра навигационного сообщения. Оперативная информация содержит: эфемериды НИСЗ (три пространственные прямоугольные координаты X, Y, Z , три составляющих скорости НИСЗ и три составляющих ускорения); метку времени; сдвиг шкалы времени НИСЗ относительно шкалы времени всей системы и другие сведения. Неоперативную информацию образует альманах системы, содержащий параметры орбит всех спутников системы и другие сведения.

3. Сегмент потребителей включает всю совокупность спутниковой аппаратуры потребителей, основная задача которой прием и первичная обработка сигналов НИСЗ [16].

3.7. Структура передаваемого сигнала со спутника. Кодовые измерения. Фазовые измерения

При работе с рассматриваемыми системами позиционирования, наряду с информационными сигналами, непосредственно участвующими в процессе дальномерных измерений, возникает необходимость в передаче со спутника в наземную аппаратуру целого набора разнообразной информации. Эта информация используется потребителем как при выполнении всего комплекса вычислений, связанных с определением местоположений интересующих точек стояния, так и с получением сигналов точного времени. К такой, получившей название навигационной, информации относятся эфемериды спутника, поправки за показания часов конкретного спутника, время, характерное для рассматриваемой системы, поправки за влияние ионосферы, состояние работоспособности спутника, а также некоторая другая вспомогательная и служебная информация. Весь этот комплекс информации формируется в виде строго предписанной последовательности, составляющей содержание навигационного сообщения.

Формат данного сообщения (рис. 3.5) применительно к системе GPS представляет собой кадр, разделенный на пять субкадров, которые часто называют строками. Каждая строка содержит 10 стандартизированных слов, состоящих из 30 бит. Длительность одного бита – 0,02 с, одного слова – 0,6 с, одной строки – 6 с, а всего кадра – 30 с.

Содержание первого, второго и третьего субкадра повторяется каждые 30 с. Четвертый и пятый субкадры, содержащие достаточно большой объем информации об альманахе, включающем в себя крат-

кую информацию о всем «созвездии» спутников, состоит из 25 страниц, на передачу которых затрачивается 12,5 мин.

Каждый субкадр начинается с телеметрического слова (TLM), содержащего сигнал синхронизации и некоторую диагностическую информацию. Второе слово в каждом субкадре представляет собой ключ, который в зарубежной литературе часто условно называют словом передачи (HOW), которое используется для распознавания спутника и идентификации поступающей информации, а также для формирования показаний счета времени (Z-счет).

В первом субкадре передаются признаки отождествления и работоспособности спутника, коэффициенты полинома второй степени, моделирующего поправки к показаниям часов наблюдаемого спутника, информацию о календарном отсчете времени и некоторые другие признаки [16].

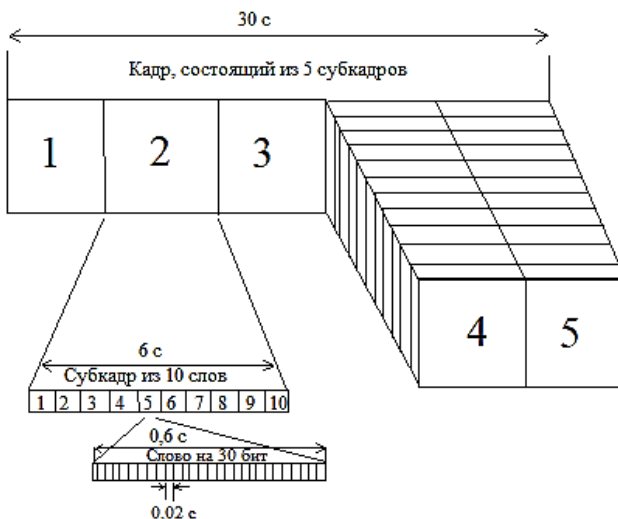


Рис. 3.5. Структура навигационного сообщения системы GPS

Во втором и третьем субкадрах содержится эфемеридный ряд данных с поправками к кеплеровым орбитам, позволяющий потребителю вычислять текущие координаты спутника, относящиеся к тому моменту времени, когда производится измерение расстояния до спутника. Содержание четвертого и пятого субкадров изменяется в каждом последующем кадре, причем информация начинает повторяться через каж-

дые 25 кадров. Таким образом, суммарная информация этих субкадров состоит из 25 страниц, на передачу которых затрачивается 750 с, т. е. 12,5 мин.

Значительное количество страниц в четвертом субкадре резервируется для военного использования. В остальной части содержится информация о поправках за влияние ионосферы, о показаниях времени UTC, а также данные альманаха, т.е. приближенная информация о всех спутниках с номерами, превышающими номинальное «созвездие».

Страницы пятого субкадра посвящены данным альманаха и статусу работоспособности первых 24 спутников, находящихся на орбитах.

Следует заметить, что идентичное содержание страниц четвертого и пятого субкадров передается по радиоканалу каждым спутником. Поэтому при отслеживании только одного спутника можно получить всю входящую в состав альманаха краткую информацию о всех находящихся на орбитах спутниках. Рассмотренное выше навигационное сообщение передается с каждого спутника в цифровой форме на обеих несущих частотах (рис. 3.6).

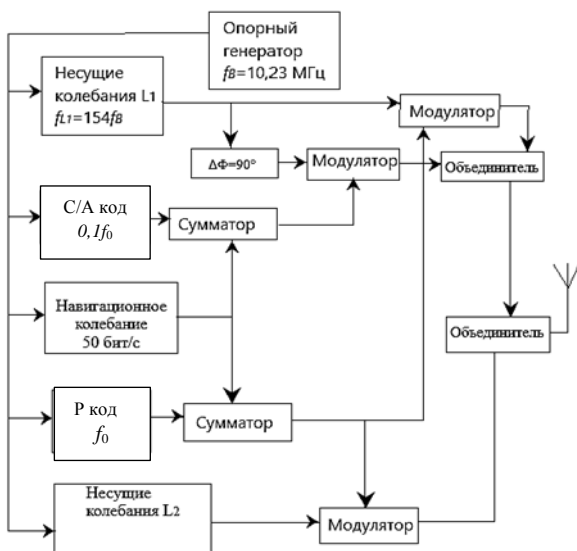


Рис. 3.6. Упрощенная функциональная схема установленной на спутнике аппаратуры для системы GPS

При выполнении спутниковых измерений используются в основном кодовые и фазовые методы. Из-за наличия в значениях измеряемых расстояний до спутников существенных по величине систематических ошибок определяемые длины линий получили название псевдодальностей. Исходя из основополагающих принципов кодовых и фазовых методов, отмеченные значения псевдодальностей, регистрируемые непосредственно на точке стояния приемника, могут быть зафиксированы только в режиме кодовых измерений.

Так как фазовые измерения, относятся к несущим колебаниям, то полное значение определяемого до спутника расстояния реализуется только после разрешения неоднозначности (т. е. нахождения целого числа длин волн, укладываемых в измеряемом расстоянии), которое удастся произвести только после того, как в результаты измерений внесут практически все значительные по величине поправки.

При работе геодезических спутниковых приемников применяются как псевдодальномерные, так и фазовые методы [16].

3.8. Методы измерений и вычислений, используемые в спутниковых системах определения местоположения

3.8.1. Абсолютные и относительные методы спутниковых измерений. Первые, вторые и третьи разности, основанные на фазовых измерениях несущих колебаний

При выполнении спутниковых координатных измерений основным определяемым параметром является расстояние между спутником и приемником. Одновременное определение значений расстояний до нескольких спутников позволяет при условии знания координат спутников методом пространственной линейной засечки вычислить координаты пункта наблюдений, которые могут быть использованы для определения разности координат между пунктами, на которых были установлены одновременно работающие спутниковые приемники, длин базисных линий, азимутальных направлений, а также целого ряда других вспомогательных параметров [16].

В зависимости от цели решаемых задач различают абсолютные и относительные (дифференциальные) методы координатных определений. В первом случае поставленная задача может быть решена на основе использования одного, отдельно работающего спутникового приемника. Во втором случае, характерном для дифференциальных изме-

рений, предполагается использование двух или более одновременно работающих приемников, расположенных на определяемых, разнесенных на местности пунктах. Основная отличительная особенность этих двух методов состоит в получении существенно отличающихся по точности координат, что объясняется трудностью учета ошибок систематического характера, свойственных абсолютным методам.

Если обозначить в геоцентрической (декартовой) системе координат известные на момент измерений координаты спутника через X_c , Y_c и Z_c , а неизвестные координаты пункта наблюдений через $X_{пр}$, $Y_{пр}$ и $Z_{пр}$, то геометрическое расстояние между этими двумя точками может быть определено соотношением:

$$\rho = \sqrt{(X_c - X_{пр})^2 + (Y_c - Y_{пр})^2 + (Z_c - Z_{пр})^2}. \quad (3.18)$$

Формула для измеряемого расстояния между спутником и приемником имеет вид:

$$R_{изм} = \sqrt{(X_c - X_{пр})^2 + (Y_c - Y_{пр})^2 + (Z_c - Z_{пр})^2} + c(\delta t_{пр} - \delta t_c) + c\delta t_{атм}. \quad (3.19)$$

где δt_c и $\delta t_{пр}$ – уклонение показаний часов приемника и спутника относительно эталонного времени;

$\delta t_{атм}$ – временные задержки, обусловленные влиянием атмосферы (ионосферы и тропосферы) [1].

Формула (3.19) содержит 4 неизвестные величины: три координаты стояния приемника ($X_{пр}$, $Y_{пр}$ и $Z_{пр}$) и поправку за уход часов приемника $\delta t_{пр}$.

Величина δt_c определяется с помощью станций слежения.

Поправку $\delta t_{атм}$ вычисляют на основе моделирования задержек, возникающих при прохождении радиосигнала через ионосферу и тропосферу.

Следовательно, для нахождения неизвестных необходимо выполнить наблюдение не менее четырех спутников, составить и решить систему уравнений, соответствующих различным значениям расстояний $R_{изм}$ до различных спутников.

Наличие по своей величине источников ошибок не позволяет выполнить определение расстояний до спутников на основе измерения фазы несущих колебаний, так как применительно к GPS для разрешения неоднозначности необходимо обеспечить потенциальную точность на уровне не ниже 0,1 м.

Для системы ГЛОНАСС уровень суммарных погрешностей для абсолютного метода, базирующегося на использовании кодовых измерений, лежит в пределах от 6,2 до 6,6 м для околозенитных спутников и от 7,7 до 9,6 м для пригоризонтных спутников.

Следует отметить, что наиболее эффективно проблема повышения точности решается за счет применения дифференциальных методов спутниковых измерений. К настоящему времени разработано значительное количество различных вариантов дифференциальных измерений, обобщающей характерной особенностью которых является использование на завершающей стадии обработки результатов измерений не абсолютных значений регистрируемых с помощью приемника величин, а тех или иных разностей, при образовании которых исключаются общие члены свойственные сравниваемым величинам. Уровень точности, характерный для наиболее отработанных дифференциальных методов, удается повысить более, чем в 100 раз в сравнении с абсолютным методом.

При решении большинства геодезических задач основная роль отводится дифференциальным методам, а абсолютные определения тех или иных искомым величин выполняют вспомогательные функции.

При выполнении одновременных спутниковых измерений, в которых участвуют несколько спутников и несколько приемников, возможна организация различных вариантов разностных отсчетов. К таким вариантам могут быть отнесены:

1) разности результатов, получаемых на различных точках стояния спутниковых приемников при одновременных наблюдениях одного и того же спутника;

2) разности результатов, получаемые с помощью одного приемника при одновременных наблюдениях двух или более спутников;

3) разности результатов, получаемых при использовании одного приемника и при наблюдениях одного спутника, относящихся к различным моментам времени (эпохам);

4) комбинирование результатов, получаемых при использовании различных видов измерений (например, измерений, выполняемых на основе кодовых методов и определений фазы несущих колебаний).

Рассмотрим целесообразность использования различного рода разностей [16].

Первые разности. Рассмотрим вначале метод одновременных наблюдений одного спутника с использованием двух приемников, установленных на разнесенных пунктах наблюдения A и B (рис. 3.7)

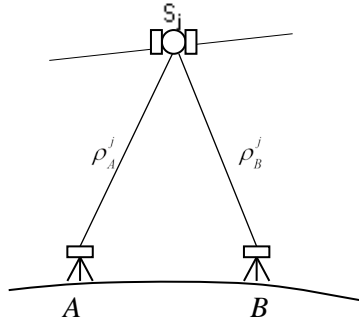


Рис. 3.7. Образование первых разностей между станциями

Такой вид наблюдений получил название метода образования разности фазовых измерений между станциями, который относится к так называемым первым разностям. Основная характерная особенность данного метода состоит в том, что обработка результатов измерений производится на основе использования фазовых сдвигов, получаемых одновременно на двух разнесенных станциях. Разность фаз описывается соотношением:

$$\delta\Phi_{AB}^j = \Delta\Phi_A^j - \Delta\Phi_B^j, \quad (3.20)$$

где индекс j относится к спутнику S_j , а индексы A и B – к двум пунктам наблюдения A и B .

Используя уравнения разности фаз:

$$\Delta\Phi = -f \frac{\rho}{c} + N + f(\delta t_p - \delta t_c) + f\delta t_{\text{атм}}, \quad (3.21)$$

получим

$$\rho = \lambda(N - \Delta\Phi) + c(\delta t_p - \delta t_c) + c\delta t_{\text{атм}}, \quad (3.22)$$

где $\lambda = c/f$ – длина волны несущих колебаний.

$$\delta\Phi_{AB}^j = \frac{1}{\lambda}(\rho_A^j - \rho_B^j) + (N_A^j - N_B^j) + f(\delta t_A - \delta t_B) + f(\delta t_{\text{атм}}^j - \delta t_{\text{атм}}^j), \quad (3.23)$$

где ρ_A^j и ρ_B^j – геометрические расстояния между спутником и приемниками, установленными соответственно в точках A и B ;

N_A^j и N_B^j – целые числа фазовых циклов, укладываемые в измеряемых расстояниях от спутника S_j до точек A и B ;

f и λ – частота и длина волны несущих колебаний, используемых при фазовых измерениях;

δt_A и δt_B – отклонение показаний часов приемников, установленных в точках A и B , относительно времени системы;

$\delta t_{A\text{атм}}$ и $\delta t_{B\text{атм}}$ – атмосферные временные задержки при прохождении радиосигналов от спутника S_j соответственно до приемников, установленных в точках A и B .

Анализ соотношения свидетельствует о том, что при образовании первой разности удастся целиком исключить погрешность, связанную с уходом показаний часов на спутнике, существенно ослабляется влияние атмосферы, так как в данном случае возникает необходимость учета не абсолютных значений задержек радиосигналов в атмосфере, а их разностей.

Проанализируем другой принцип организации первой разности, который получил название разности фазовых измерений между спутниками (рис. 3.8). При реализации данного принципа с помощью приемника, установленного в точке A , одновременно наблюдается не менее двух спутников S_j и S_k .

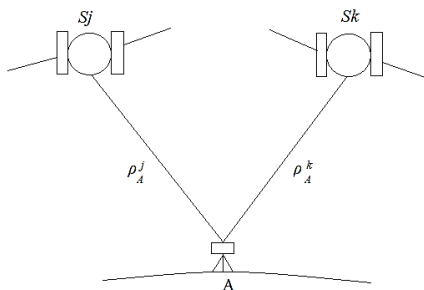


Рис. 3.8. Образование первых разностей между спутниками

Характерная особенность этого метода заключается в образовании разности результатов фазовых измерений при одновременных наблюдениях одним приемником двух спутников. При этом образующаяся разность фаз может быть описана следующим соотношением:

$$\delta\Phi_{AB}^j = \frac{1}{\lambda}(\rho_A^j - \rho_B^j) + (N_A^j - N_B^j) + f(\delta t_A - \delta t_B) + f(\delta t_{A_{\text{ПТМ}}}^j - \delta t_{B_{\text{ПТМ}}}^j), \quad (3.24)$$

$$\delta\Phi_A^{jk} = \Delta\Phi_A^k - \Delta\Phi_A^j = \frac{1}{\lambda}(\rho_A^j - \rho_A^k) + (N_A^k - N_A^j) + f(\delta t_k - \delta t_j) + f(\delta t_{A_{\text{ПТМ}}}^k - \delta t_{A_{\text{ПТМ}}}^j). \quad (3.25)$$

Используемые в данной формуле величины имеют тот же физический смысл, что и в формуле (3.23), с тем отличием, что вместо расстояний от одного спутника до двух приемников использованы расстояния от двух спутников до одного приемника.

Отличительная особенность этого метода состоит в том, что удается исключить поправки, обусловленные неточностью показаний часов приемника, но не исключёнными при этом оказываются погрешности показаний часов на спутнике.

На основе совместного рассмотрения этих двух разновидностей первых разностей был предложен вариант дифференциальных измерений, получивший название метода вторых разностей.

Вторые разности. Этот метод нашел наиболее широкое практическое распространение при выполнении высокоточных геодезических измерений.

Сущность данного метода состоит в том, что измерения производятся не менее, чем двумя приемниками, с помощью которых наблюдаются не менее двух спутников (рис. 3.9).

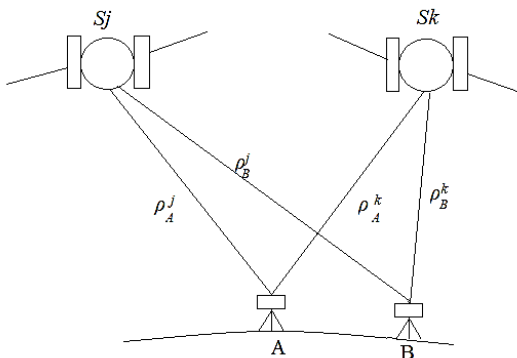


Рис. 3.9. Образование вторых разностей между спутниками

Получаемые при этом результаты измерений образуются на основе использования так называемых вторых разностей, описываемых соотношением:

$$\delta\Phi_{AB}^{jk} = \delta\Phi_{AB}^j - \delta\Phi_{AB}^k = \frac{1}{\lambda} \delta\rho_{AB}^{jk} + N_{AB}^{jk} + f\delta t_{AB_{\text{атм}}}^{jk}, \quad (3.26)$$

где

$$\begin{aligned} \delta\rho_{AB}^{jk} &= \rho_A^j - \rho_B^j - \rho_A^k + \rho_B^k; \\ \delta t_{AB_{\text{атм}}}^{jk} &= \delta t_{B_{\text{атм}}}^j - \delta t_{A_{\text{атм}}}^j - \delta t_{B_{\text{атм}}}^k + \delta t_{A_{\text{атм}}}^k; \\ N_{AB}^{jk} &= N_B^j - N_A^j - N_B^k + N_A^k. \end{aligned} \quad (3.27)$$

Анализ формулы (3.27) свидетельствует о том, что при образовании вторых разностей из результатов измерений исключаются нестабильности хода часов как на спутниках, так и в приемниках. При этом дополнительно ослабляется влияние атмосферы. Но нерешенной остается проблема раскрытия неоднозначностей измеряемых расстояний, т. е. нахождение числа целых циклов N . Однако при определении разности координат между пунктами, на которых установлены одновременно работающие приемники, приходится учитывать неточность знания текущих координат спутников, что является следствием соотношения (3.18), связывающего между собой измеряемые расстояния и искомые координаты интересующих точек. Возможность устранения с помощью вторых разностей основного недостатка одностороннего принципа дальномерных измерений, заключающегося в необходимости учета несинхронности работы опорных генераторов на передающем и приемном концах измеряемой линии, обусловила тот факт, что данный метод стал основным вариантом дифференциальных измерений при высокоточных спутниковых определениях.

Дальнейший поиск путей разрешения, свойственных фазовым измерениям неоднозначностей, привел к целесообразности использования не только вторых, но и третьих разностей.

Третьи разности. При выполнении спутниковых измерений под третьими разностями принято понимать формируемые разности вторых разностей, относящихся к одним и тем же сочетаниям участвующих в измерениях приемников и наблюдаемых спутников, но к различным эпохам, т. е. моментам измерений, при движении спутников по своим орбитам. На рис. 3.10 приведена схема, поясняющая последовательное расположение спутников и участвующих в наблюдениях приемников, которые позволяют получить необходимую информацию для реализации метода третьих разностей.

В соответствии с формулой (3.26) характерные для моментов времени t_1 и t_2 вторые разности описываются соотношениями:

$$\left. \begin{aligned} \delta\Phi_{AB}^{jk}(t_1) &= \frac{1}{\lambda} \delta\rho_{AB}^{jk}(t_1) + N_{AB}^{jk}(t_1) + f\delta t_{AB_{\text{aTM}}}^{jk}(t_1) \\ \delta\Phi_{AB}^{jk}(t_2) &= \frac{1}{\lambda} \delta\rho_{AB}^{jk}(t_2) + N_{AB}^{jk}(t_2) + f\delta t_{AB_{\text{aTM}}}^{jk}(t_2) \end{aligned} \right\} \quad (3.28)$$

Третьи разности представляют собой разность этих соотношений:

$$\delta\Phi_{AB}^{jk}(t_{2-1}) = \frac{1}{\lambda} \delta\rho_{AB}^{jk}(t_{2-1}) + N_{AB}^{jk}(t_{2-1}) + f\delta t_{AB_{\text{aTM}}}^{jk}(t_{2-1}) \quad (3.29)$$

где

$$\begin{aligned} \delta\rho_{AB}^{jk}(t_{2-1}) &= [\rho_A^j(t_2) - \rho_B^j(t_2) - \rho_A^k(t_2) + \rho_B^k(t_2)] - [\rho_A^j(t_1) - \rho_B^j(t_1) - \rho_A^k(t_1) + \rho_B^k(t_1)]; \\ N_{AB}^{jk}(t_{2-1}) &= [N_B^j(t_2) - N_A^j(t_2) - N_B^k(t_2) + N_A^k(t_2)] - \\ &- [N_B^j(t_1) - N_A^j(t_1) - N_B^k(t_1) + N_A^k(t_1)] = \\ &= \Delta N_A^j(t_{2-1}) - \Delta N_B^j(t_{2-1}) - \Delta N_A^k(t_{2-1}) - \Delta N_B^k(t_{2-1}); \\ \delta t_{AB_{\text{aTM}}}^{jk}(t_{2-1}) &= \delta t_{AB_{\text{aTM}}}^{jk}(t_2) - \delta t_{AB_{\text{aTM}}}^{jk}(t_1). \end{aligned}$$

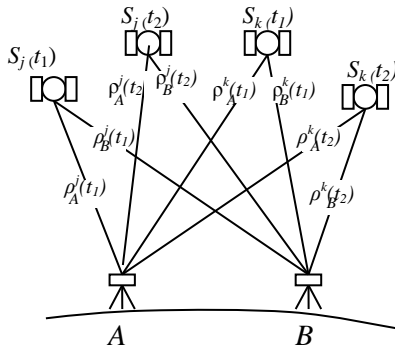


Рис. 3.10. Образование третьих разностей

Формула (3.29) свидетельствует о том, что при образовании третьих разностей фиксируются не абсолютные значения расстояний от приемников до спутников, а их приращения при перемещении спутников по своей орбите за время $\Delta t = t_2 - t_1$. При этом вместо полных значений фазовых циклов N , которые соответствуют прохождению радиосигналов расстояния от спутника до приемника и представляют собой неизвестные величины, регистрируются их приращения, обусловленные изменениями расстояний до спутников за время Δt . Такие приращения ΔN могут быть определены по показаниям фазоизмерительного устройства при условии непрерывного отслеживания принимаемых от спутника радиосигналов, в результате чего они становятся известными величинами.

На основе вышеизложенного может быть сделан вывод о том, что третьи разности открывают перспективу разрешения неоднозначностей, свойственных фазовым измерениям, за счет нахождения полных значений N по их приращениям ΔN [16].

3.8.2. Разрешение неоднозначности фазовых измерений

При определении расстояний до спутников фазовыми методами возникает достаточно сложная проблема разрешения неоднозначности, т. е. нахождения целого числа длин волн N , укладывающихся в измеряемом расстоянии от спутника до приемника. Это обусловлено тем, что определяемые дальности составляют около 20 000 км, а длина волны несущих колебаний в системе GPS составляет всего 0,2 м. При таких исходных предпосылках параметр N характеризуется числами порядка 10^8 . Следовательно, для того чтобы не вносить грубых ошибок в результаты измерений, т. е. уверенно определять величину N с точностью до одной целой единицы, необходимо обеспечить надежное нахождение этой величины с относительной погрешностью менее, чем $1 \cdot 10^{-8}$. Необходимо учитывать и такие факторы, как непрерывное изменение величины N из-за орбитального движения спутника, а также необходимость определения серии таких величин для нескольких одновременно наблюдаемых спутников, поскольку для каждого конкретного спутника величина N имеет свое индивидуальное значение.

При выборе эффективных методов разрешения неоднозначности необходимо выполнить следующие основные предпосылки:

- 1) перед процедурой, связанной с определением параметра N , необходимо исключить все основные источники систематических ошибок,

которые обуславливают смещение результатов измерений и искажают истинное значение N , не позволяя рассматривать ее как целочисленную величину;

2) для исключения необходимости многократного определения величины N для каждого спутника по мере его орбитального движения целесообразно ограничиться нахождением этой величины только в начальной точке наблюдения конкретного спутника, а затем отслеживать ее изменения по показаниям фазоизмерительного устройства;

3) выбираемые методы должны обеспечивать точность предварительных определений значений измеряемых расстояний, связанных с процедурой разрешения неоднозначности, не хуже половинного значения длины волны несущих колебаний, т. е. применительно к GPS на уровне около 10 см;

4) желательно, чтобы предлагаемые методы были достаточно универсальными с тем, чтобы можно было их использовать при работе как с двухчастотными, так и с одночастотными приемниками, в которых исключается возможность использования двух несущих частот с целью разрешения неоднозначности.

При выполнении перечисленных требований есть возможность ограничиться нахождением величины N только в начальной точке отслеживаемой траектории наблюдаемого спутника, т. е. осуществить разрешение «начальной неоднозначности».

Рассмотрим несколько наиболее распространенных методов разрешения неоднозначностей, характерных для спутниковых GPS измерений. К ним относятся:

- ✓ геометрический метод;
- ✓ метод, базирующийся на комбинации кодовых и фазовых измерений;
- ✓ метод поиска наиболее вероятных значений величины N ;
- ✓ нетривиальные методы разрешения неоднозначности.

Сущность *геометрического метода* состоит в том, что после захвата радиосигнала и начала фазовых измерений непрерывно отслеживаются целочисленные изменения фазы, т. е. циклы. Незвестная начальная величина N считается при этом неизменной при выполнении измерений во всех последующих точках траектории движения наблюдаемого спутника.

Надежность нахождения величины N зависит от длительности наблюдения спутника (чем больше эта длительность, тем надежнее определяется величина N). При этом не допускается пропуск отсчиты-

ваемых фазовых циклов, который может возникать в случае временных пропаданий радиосигналов от наблюдаемого спутника.

Реализация *метода, базирующийся на комбинации кодовых и фазовых измерений* основан, на совместном применении двухчастотных фазовых и кодовых измерений.

Основная идея этого метода поиска наиболее вероятных значений величины N базируется на тех предпосылках, что при выполнении спутниковых наблюдений с двух расположенных на земной поверхности неподвижных пунктов расстояние между этими пунктами в процессе проведения сеанса наблюдений остается неизменным, а следовательно, и число длин волн, укладывающихся на этом расстоянии, также является постоянным. Поскольку при проведении сеанса наблюдений накапливается достаточно большой объем информации, то имеется возможность многократного нахождения дальностей до наблюдаемых спутников, которые, могут быть использованы для многократных определений длин базисной линии, соединяющей пункты, на которых установлены спутниковые приемники [16].

Так как разрешение неоднозначности является основной проблемой при выполнении фазовых измерений спутниковыми приемниками, то иногда для повышения надежности нахождения целого числа фазовых циклов, укладывающихся в измеряемых расстояниях, прибегают к применениям *нетривиальных методов разрешения неоднозначности*.

К нетривиальным методам разрешения неоднозначности может быть отнесен так называемый «метод реокупации», при котором наблюдения на выбранных пунктах производится дважды с некоторым разномом во времени (как правило, не менее 1–2 часов). При обработке такие данные объединяются, что позволяет не просто получить повышенный объем информации, но и использовать суммарное количество спутников с отличающейся геометрией их расположения.

Когда продолжительность наблюдений оказывается достаточно большой (например, несколько часов или даже несколько суток), появляется возможность выбора наиболее благоприятных интервалов времени, для которых неоднозначность разрешается наиболее надежно [16].

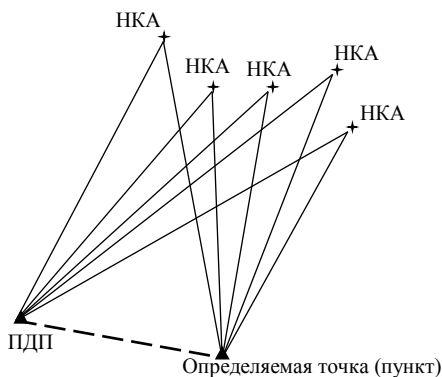
3.9. Принцип определения местоположения пунктов. Относительное позиционирование. Дифференциальное позиционирование

В основе всех методов определения координат пунктов геодезических сетей, точек и других объектов на земной поверхности с исполь-

зованием ГНСС лежит метод засечки положения геодезического спутникового приемника потребителя ГНСС от известных положений спутника ГНСС.

Геометрия определения координат точки относительно постоянно действующего пункта (ПДП) показана на рис. 3.11.

Определение координат точек с использованием ПДП спутниковой сети точного позиционирования (ССТП) по измерениям псевдодальностей выполняется относительным или дифференциальным позиционированием.



НКА – навигационный космический аппарат (спутник ГНСС);
ПДП – постоянно действующий пункт.

Рис. 3.11. Определение координат точки земной поверхности относительно ПДП

Точностные возможности определения координат по измерениям псевдодальностей зависят от:

- ✓ метода обработки измеренных псевдодальностей;
- ✓ погрешности шкалы времени аппаратуры спутника и потребителя;
- ✓ погрешности бортовых эфемерид спутников;
- ✓ инструментальной погрешности аппаратуры спутника и потребителя;
- ✓ ионосферной и тропосферной задержки спутникового сигнала;
- ✓ удаленности определяемой точки от ПДП;
- ✓ числа спутников, наблюдаемых на ПДП и определяемых точках;
- ✓ геометрии расположения наблюдаемых спутников [17].

Относительное позиционирование. Относительное позиционирование применяют для определения взаимного положения ПДП и определяемой точки, при этом приращения координат точки относительно ПДП определяются на сантиметровом и более высоком уровне точности в зависимости от используемого метода позиционирования. Спутниковые наблюдения, выполненные одновременно на ПДП и определяемом объекте, обрабатываются совместно.

Относительное позиционирование выполняется статистическим или кинематическим методом в зависимости от:

- ✓ вида используемой измерительной информации (кодовые измерения, фазовые измерения);

- ✓ режима получения и обработки измерительной информации.

Статический метод обеспечивает получение по фазовым измерениям приращений координат одной или нескольких определяемых точек с использованием приемника, стационарно размещаемого на них.

При статическом методе позиционирования наблюдения выполняются в следующих режимах:

- ✓ статики, используемом для определения координат с высокой точностью (длительность наблюдений до 1 ч и более, вызванная необходимостью определения целочисленной неоднозначности фаз в начале сеанса наблюдений);

- ✓ быстрой статики (от 5 до 20 мин), благодаря возможности применения на линиях длиной до 10–15 км алгоритмов разрешения неоднозначности, когда продолжительность наблюдений согласована с количеством наблюдаемых спутников;

- ✓ реокупации (псевдостатики), используемом в условиях, когда нет одновременной видимости на необходимое количество спутников, и наблюдения выполняют в несколько сеансов, накапливая нужный объем данных, объединяемых на этапе компьютерной обработки для выработки одного решения.

Ориентировочные величины средней квадратической погрешности определения взаимного положения ПДП и определяемой точки в режиме статики при использовании двухчастотной геодезической спутниковой аппаратуры:

- ✓ $\text{мм} + D \cdot 10^{-6} \text{ мм}$ – в плане;

- ✓ $10 \text{ мм} + D \cdot 10^{-6} \text{ мм}$ – по высоте;

для одночастотной геодезической спутниковой аппаратуры:

- ✓ $\text{мм} + D \cdot 10^{-6} \text{ мм}$ при $D < 10 \text{ км}$, $5 \text{ мм} + 2D \cdot 10^{-6} \text{ мм}$ при $D > 10 \text{ км}$ – в плане;

- ✓ $10 \text{ мм} + 2D \cdot 10^{-6} \text{ мм}$ – по высоте,

где D – расстояние между ПДП и определяемой точкой в километрах.

При кинематическом методе позиционирования, как правило, по фазовым измерениям, приращения координат определяемых точек получают за короткие промежутки времени, при этом наблюдения ведутся непрерывно, без выключения перемещаемого с точки на точку приемника. Для выполнения метода необходимо на первой точке выполнить процедуру инициализации, а измерения выполнять с обязательной поддержкой постоянного наблюдения 4–5 одних и тех же спутников. При потере постоянного наблюдения 4–5 спутников процедура инициализации повторяется. Для контроля измерений наблюдения завершают на первой точке или на геодезическом пункте с известными координатами. Точность кинематического метода позиционирования составляет 2–3 см в плане и 6–8 см по высоте.

Процедура инициализации выполняется в соответствии с предписаниями, указанными в эксплуатационной документации применяемой геодезической спутниковой аппаратуры, с целью предварительного разрешения неоднозначности фазовых измерений при включении приемника.

Признаком завершения инициализации является прием сигналов от достаточного числа спутников, появления допустимого значения PDOP на дисплее контроллера приемника.

При кинематическом методе позиционирования наблюдения выполняются в следующих режимах:

- ✓ «стой-иди», при котором приемник перемещают с точки на точку, делая на каждой точке остановку и выполняя наблюдения в несколько сессий в течение около 1 мин. для повышения точности позиционирования;

- ✓ непрерывной кинематики, при котором, не останавливаясь, перемещаются с приемником по контуру и через заданные интервалы времени фиксируют его координаты, при этом обработка выполняется после измерений;

- ✓ кинематики реального времени (RTK), предусматривающем оперативную передачу с ПДП на приемник поправок к измеренным псевдодальностям по каналу связи, например с использованием радиомодема. Приемник вводит принимаемые поправки в измеряемые им псевдодальности и исправленные значения дальностей использует для вычисления своего положения в режиме, близком к реальному времени.

Применение методов и их режимов относительного позиционирования планируют исходя из допустимых затрат времени на выполнение работ и требуемой точности определения координат, которая ха-

рактируется величиной средней квадратической погрешности приращений координат между определяемым объектом и ПДП.

При оценке точности позиционирования принимают во внимание особенности используемого режима позиционирования, тип используемой геодезической спутниковой аппаратуры, удаленность определяемой точки от ПДП, интервал времени синхронных наблюдений и условия видимости спутников. Стандартные показатели точности позиционирования приведены в табл. 3.6.

Таблица 3.6. Показатель точности позиционирования

Режим спутниковых наблюдений	Среднее расстояние между ПДП и определяемой точкой, м	Продолжительность сеанса наблюдений	Абсолютные и относительные погрешности измерения расстояния	Примечания
статика	до 20	около 1 часа и более	5 мм + D·10 ⁻⁶ мм 1:100 000 – 1:5 000 000	для двухчастотного приемника
быстрой статика	до 10–15	5–20 мин	5–10 мм + D·10 ⁻⁶ мм 1:100 000 – 1:1 000 000	для двухчастотного приемника
реокупации (псевдостатика)	до 10	20 мин (2 сеанса по 10 мин)	10 мм + D·10 ⁻⁶ мм 1:50 000 –1:500 000	
«стой-иди»	до 5	до 2 мин около 1 мин	10–20 мм + D·10 ⁻⁶ мм 1:100 000 – 1:1 000 000	
RTK	5–10 (в зависимости от GSM/радиомодема)	до 1 мин	10–20 мм	при наличии устройства связи (GSM/радиомодема)

Точность позиционирования обеспечивается при условиях наблюдений, которые должны соответствовать следующим требованиям:

- ✓ минимальное количество наблюдаемых спутников – 4–5;
- ✓ значение DOP – не более 4 (или другое значение, указанное в эксплуатационной документации геодезической спутниковой аппаратуры) на всем протяжении наблюдений;
- ✓ отсутствие невозвращаемых сбоев при приеме спутниковых сигналов на всем протяжении наблюдений;
- ✓ минимальный угол возвышения наблюдаемых спутников над горизонтом – не менее 15°;

✓ отсутствие помех, препятствующих приему сигнала или искажающих сигнал (многопутность, влияющая на фазовые и кодовые измерения и снижающая точность определения векторов);

✓ нормальное атмосферное влияние [17].

Дифференциальное позиционирование. При дифференциальном позиционировании фазовые (кодовые) псевдодальности измеряются одновременно с ПДП и определяемой точки. В вычислительном центре ССТП по результатам наблюдений на ПДП формируются поправки для фазовых (кодовых) псевдодальностей. Используя эти дифференциальные поправки, передаваемые с вычислительного центра ССТП по каналу связи на приемник, корректируются измерения соответствующих навигационных параметров в приемнике. Результаты наблюдений на ПДП и определяемой точке обрабатываются отдельно.

Дифференциальное позиционирование различают по режиму учета дифференциальных поправок:

✓ в режиме постобработки;

✓ в режиме реального времени с использованием радиомодема или других средств беспроводной связи, что дает возможность оперативно получать координаты определяемых объектов в процессе выполнения полевых измерений.

Применение режимов дифференциального позиционирования проектируется:

- с учетом максимально допустимого удаления определяемой точки от ПДП (как правило 35 км), в пределах которого изменений дифференциальных поправок можно считать несущественным;

- исходя из определения абсолютных координат с возможной средней квадратической погрешностью 1–2 м.

При дифференциальном позиционировании должен использоваться тот же подход к ослаблению влияния тропосферы и ионосферы, как и при относительном [17].

3.10. Сеть постоянно действующих пунктов спутниковой сети точного позиционирования Республики Беларусь

Вычислительный центр БелССТП – структурное подразделение оператора БелССТП, оснащенное программно-аппаратным комплексом и осуществляющее функции контроля и управления работой постоянно действующих пунктов, выполняющий сбор, обработку, архивирование измерительной информации, поступающей с постоянно действующих пунктов.

Постоянно действующий пункт – геодезический пункт с установленной на нем геодезической спутниковой аппаратурой, непрерывно и круглосуточно принимающей сигналы (измерительную информацию) спутников глобальных навигационных спутниковых систем и передающей их с помощью каналов связи в вычислительный центр БелССТП.

Центр по предоставлению информации, полученной с использованием БелССТП – структурное подразделение оператора БелССТП, осуществляющее хранение и предоставление в пользование информации, полученной с использованием БелССТП, а также услуг с использованием этой информации.

БелССТП является функциональным дополнением действующих ГНСС ГЛОНАСС и GPS и перспективных ГНСС и составной частью подсистемы формирования и контроля навигационных полей Единой системы навигационно-временного обеспечения Республики Беларусь.

БелССТП предназначается для практической реализации установленной к применению на территории Республики Беларусь общеземной системы отсчета координат, своевременного формирования, хранения и предоставления информации, полученной с использованием БелССТП, потребителям услуг в сфере навигационной деятельности (потребители).

Функциональными составляющими БелССТП определяются:

сеть постоянно действующих пунктов, расположенных на территории Республики Беларусь;

вычислительный центр;

центр по предоставлению информации;

каналы связи передачи информации между постоянно действующими пунктами, вычислительным центром, центром по предоставлению информации и потребителями (каналы электросвязи).

Порядок создания БелССТП должен включать выполнение следующих основных видов работ:

1) создание сети постоянно действующих пунктов:

рекогносцировку, определение и тестирование мест размещения постоянно действующих пунктов;

закладку постоянно действующих пунктов и установку геодезической спутниковой аппаратуры;

выполнение спутниковых измерений на постоянно действующих пунктах и определение их исходных координат;

определение высот постоянно действующих пунктов;

2) создание вычислительного центра и центра по предоставлению информации:

установку и наладку оборудования, программных средств, в том числе хранения и защиты информации от несанкционированного доступа в соответствии с законодательными актами в области защиты информации;

определение и подготовка кадрового состава;

организацию управления работой и эксплуатации постоянно действующих пунктов;

3) организация каналов электросвязи;

4) проведение комплексных испытаний (предварительных, опытной эксплуатации, приемочных) и приемки БелССТП в постоянную эксплуатацию;

5) метрологическую аттестацию БелССТП (метрологический контроль средств измерений, входящих в состав БелССТП) [3].

Координаты ПДП ССТП Республики Беларусь (ССТП РБ) представлены в Международной земной системе координат ITRS (реализация ITRF 2005, эпоха 23.04.2008 г.).

Точностные и временные характеристики ССТП РБ для позиционирования в режиме постобработки:

выполнение наблюдений статическим методом относительно ближайшего ПДП при расстояниях до 20–30 км;

время наблюдений – 1 ч;

определение координат точек в ITRS (реализация ITRF 2005, эпоха 23.04.2008 г.) со средней квадратической погрешностью 1,5 см в плане и 2 см по высоте.

Точностные и временные характеристики ССТП РБ для позиционирования в режиме реального времени:

возможность работы пользователя с приемником в любой точке территории Республики Беларусь;

время вхождения в связь со спутниками и вычислительным центром ССТП РБ для первой определяемой точки от 1 до 1,5 мин, для каждой последующей определяемой точки при непрерывно работающем приемнике – несколько секунд;

определение координат объектов в ITRS (реализация ITRF 2005, эпоха 23.04.2008 г.) со средней квадратической погрешностью 2 см в плане и 3 см по высоте.

В режиме реального времени программное обеспечение вычислительного центра ССТП РБ формирует корректирующие дифференциальные поправки двух уровней точности:

в режиме RTK – с точностью от 1 до 5 см;

в режиме реального времени DGPS – с точностью от 0,25 до 1 м.

Значения корректирующих поправок передаются пользователю в режиме реального времени (RTK-поправки) в стандартном формате обмена данными по специализированным GSM-модемам [3].

3.11. Источники погрешностей при спутниковых измерениях

При обработке методов высокоточных спутниковых измерений возникает необходимость тщательного исследования влияний всех возможных источников ошибок выполняемых измерений, особенностей их проявления и обоснования методов их учета. В зависимости от характера воздействия отмеченных источников возникающие при этом ошибки подразделяются на две основные группы: систематические погрешности, которые применительно к спутниковым измерениям получили название смещений, и погрешности случайного характера, которые часто отождествляют с понятием «шум».

Для погрешностей первой группы разрабатываются специальные методы их учета. Влияние второй группы удаётся, в большинстве случаев, минимизировать за счет использования большого массива отдельных измерений.

Исходя из анализа измерительного процесса, характерного для систем GPS и ГЛОНАСС, все основные источники ошибок можно условно разбить на три основные группы:

1) ошибки, связанные с неточностью знания исходных данных, из которых определяющая роль принадлежит погрешностям знания эфемерид спутников, значения которых должны быть известны на момент измерений;

2) ошибки, обусловленные влиянием внешней среды, среди которых выделяют такие источники, как воздействие атмосферы (ионосферы и тропосферы) на результаты спутниковых измерений, а также отраженных от окружающих объектов радиосигналов (многопутность);

3) инструментальные источники ошибок, к которым, как правило, относят неточность знания положения фазового центра антенны приемника, неучтенные временные задержки при прохождении информационных сигналов через аппаратуру, а также погрешности, связанные с работой регистрирующих устройств спутниковых приемников.

Наряду с перечисленными выше группами ошибок приходится учитывать и отдельные факторы, обуславливающие появление ошибок, которые нехарактерны ни для одной из перечисленных выше групп. В частности, к таким ошибкам могут быть отнесены погрешности, возникающие вследствие неоптимального взаимного расположения наблюдаемых спутников (геометрический фактор). Кроме того,

целый ряд ошибок может возникать в процессе перехода от одной координатной системы к другой. Например, от свойственной системе GPS глобальной координатной системы WGS-84 к местной, интересующей потребителя координатной системе [16].

3.12. Состав пользовательской аппаратуры при работе со спутниковыми навигационными системами

Рассмотрим геодезическую аппаратуру потребителей спутниковых навигационных систем ГЛОНАСС и GPS Trimble R6 и Trimble R7 GNSS, предназначенную для измерений координат и определения относительного местоположения объектов.

Принцип действия указанной аппаратуры геодезической потребителей основан на параллельном приеме и обработке 72 измерительными каналами псевдодальности и фазы несущих сигналов космических навигационных систем GPS и ГЛОНАСС на частотах L1 (1575,42МГц) и L2 (1227,60МГц) для GPS и в частотных диапазонах от 1602,56 до 1615,5МГц (L1), от 1246,44 до 1256,5МГц (L2) для ГЛОНАСС. Аппаратура имеет возможность использовать дифференциальные поправки в режиме коррекции по фазе (режим RTK), а также дифференциальные поправки в режиме коррекции по коду (режим DGPS), передаваемые по линии коммуникационной связи.

Конструктивно аппаратура геодезическая потребителей спутниковых навигационных систем ГЛОНАСС и GPS Trimble R7 GNSS состоит из приемного устройства, УКВ-радиомодема, зарядного устройства, порта связи Bluetooth и аккумуляторных батарей, интегрированных в одном корпусе. Для приема радионавигационных сигналов используется внешнее антенное устройство (в базовой комплектации – антенна Trimble Zephyr GeodeticModel 2). На верхней панели корпуса аппаратуры геодезической потребителей спутниковых навигационных систем ГЛОНАСС и GPS Trimble R7 GNSS расположены кнопки: включения/выключения питания приемника и регистрации данных, три световых индикатора, отображающие состояние приема сигналов космических навигационных систем ГЛОНАСС/GPS, функционирование встроенного УКВ-радиомодема, состояние аккумуляторных батарей. На верхней панели корпуса аппаратуры расположены TNC-порты для подключения УКВ-антенны радиомодема и внешнего антенного устройства, а также 3 коммуникационных COM-порта (типа Lemo 7-pin) для обмена информацией с внешними устройствами. На нижней панели корпуса геодезической аппаратуры потребителей спутниковых навигационных систем ГЛОНАСС и GPS Trimble R7 GNSS расположены:

USB-порт для выгрузки накопленной информации и аккумуляторные отсеки (рис. 3.12).



Рис. 3.12. Общий вид геодезической аппаратуры потребителей спутниковых навигационных систем ГЛОНАСС и GPS Trimble R6, Trimble R7 GNSS

Накопление результатов измерений осуществляется во внутреннюю флэш-память, либо на внешний контроллер. Для полноценного использования аппаратуры применяется программа постобработки спутниковых измерений «Trimble Business Center».

В комплект данного средства измерения входят:

- геодезическая аппаратура потребителей спутниковых навигационных систем ГЛОНАСС и GPS Trimble R6 или Trimble R7 GNSS – 1 шт.;
- аккумуляторные батареи – 2 шт.;
- зарядное устройство – 1 шт.;
- адаптер питания – 1 шт.;
- интерфейсный кабель – 1 шт.;
- руководство по эксплуатации – 1 шт. [18].

Основные технические характеристики приведены в табл. 3.7.

Таблица 3.7. Метрологические и технические характеристики

Наименование характеристик	Значение	
1	2	
Модель	Trimble R6	Trimble R7 GNSS
Тип приемника	Многочастотный, многосистемный	
Режимы измерений:	«Статика», «Быстрая статика», «Кинематика», «Кинематика в реальном времени RTK»	

1	2	
Тип антенны:	Встроенный	
Допускаемая СКП измерений в режиме «Статика» и «Быстрая статика», мм*: - в плане - по высоте *- базовая линия менее 30 км	$5+0,5\times 10^{-6}\times D$ $5+1\times 10^{-6}\times D$ D – значение длины базиса, мм	
Допускаемая СКП измерений в режиме «Кинематика» и «Кинематика в реальном времени RTK», мм: - в плане - по высоте	$10+1\times 10^{-6}\times D$ $20+1\times 10^{-6}\times D$ D – значение длины базиса, мм	
СКП измерений приращений координат в кодовом дифференциальном режиме по сигналам GPS, не более, м: - в плане - по высоте	$0,25+0,001\times 10^{-6}\times D$ $0,5+0,001\times 10^{-6}\times D$ D – значение длины базиса, мм	
Источник электропитания (внешний): - напряжение, В	11-28	10,5-28
Источник электропитания (встроенный внутренний аккумулятор): - напряжение, В	7,4	
Диапазон рабочих температур, °С	-40...+65	
Габаритные размеры, (Ш×В×Д), не более, мм	190×115	135×85×24
Масса приемника с внутренней батареей, встроенным радиомодемом и стандартной УВК антенной не более, кг	1,35	–
Масса приемника с внутренней батареей, встроенным радиомодемом, внутренним зарядным устройством и стандартной УВК антенной не более, кг	–	1,5

3.13. Выполнение съемки земельных участков с использованием постоянно действующих пунктов

Технология определения координат точек с использованием ПДП при выполнении топографо-геодезических, землеустроительных и иных работ позволяет обеспечить следующие требования:

- достижение необходимой точности определения геодезических данных, характеризующих пространственное положение определяемых точек, в соответствии с действующими техническими нормативными правовыми актами;

- обеспечение высокой производительности работ, характеризующейся количеством определяемых точек в единицу времени.

Работы по определению координат точек с использованием ПДП проектируют в тех случаях, когда использование данной технологии экономически обосновано с учетом того, что спутниковые технологии координатных определений полностью не заменяют, а только дополняют традиционные методы выполнения указанных работ с применением оптических приборов.

Технология определения координат точек с использованием ПДП предусматривает [17]:

- проведение рекогносцировки участка, на котором планируется выполнение работ;
- планирование сеансов наблюдений;
- сбор, накопление и хранение полученной измерительной информации;
- конвертирование массивов измерительной информации и данных ее обработки в различные форматы передачи данных;
- разрешение неоднозначностей фазовых измерений и определение приращений координат между ПДП и определяемыми объектами методами относительного позиционирования;
- уравнивание фазовых измерений по методу наименьших квадратов с оценкой точности результатов измерений;
- прием от вычислительного центра ССТП дифференциальных поправок и их обработку для повышения точности получения координат определяемых объектов;
- преобразование или трансформирование пространственных геоцентрических координат точек в систему координат пользователя;
- оценку точности спутниковых координатных определений;
- формирование списка (каталога) координат определяемых точек в заданной системе координат.

Работы с использованием ПДП, как правило, должны выполняться с использованием геодезической спутниковой аппаратуры потребителя, работающей на двух частотах по сигналам ГНСС, и обеспечивающей проведение фазовых и кодовых измерений. Для относительного позиционирования на относительно коротких расстояниях (до 15–20 км) возможно применение одночастотных приемников.

Работы по определению координат точек с использованием ПДП включают:

- получение задания, подбор материалов;

- составление рабочего проекта (при необходимости);
- оперативное планирование наблюдений на дату исполнения работ;
- проверку и подготовку геодезической спутниковой аппаратуры к работе;
- рекогносцировку определяемых точек;
- установку приемников на определяемых точках, включение, измерение высоты антенны, инициализацию;
- проведение наблюдений в заданном режиме и контроль качества наблюдений (количество наблюдаемых спутников, показатели PDOP и др.):
- переезды и переходы на участке работ;
- завершение наблюдений на участке работ;
- копирование результатов наблюдений в персональный компьютер и их сохранение;
- предварительную обработку результатов наблюдений, анализ результатов обработки в соответствии с критериями качества;
- оформление материалов, сдачу работ.

Наблюдения на определяемых точках выполняются:

- в режиме реального времени с применением лучевого метода, при котором координаты определяемой точки получают путем измерения вектора, соединяющего ее с ПДП. Для контроля координаты определяют дважды, то есть по результатам измерений, связывающих определяемую точку с двумя ПДП;
- в режиме статики – лучевым методом или сетевым, когда определяемые точки связывают измерениями не только с опорными пунктами, но и между собой.

Сетевой метод рекомендован к применению для получения наиболее точных плановых координат и высот точек при развитии съемочного обоснования для топографических съемок крупных масштабов.

При производстве работ по развитию съемочного обоснования для выполнения наблюдений рекомендуются к применению режим RTK и режим быстрой статики, являющиеся основными и позволяющими обеспечить определение плановых координат и высот точек с высокой оперативностью и достаточной точностью [17].

3.14. Обработка результатов спутниковых измерений. Трансформирование координат в спутниковых технологиях

Процесс обработки результатов наблюдений состоит из двух основных взаимосвязанных частей – предварительной и камеральной обработок [17].

Предварительная обработка результатов спутниковых наблюдений. Основной задачей предварительной обработки результатов наблюдений является оперативный контроль их качества и оценка их соответствия требованиям точности, установленных техническими нормативными правовыми актами. По результатам предварительной обработки делается вывод о пригодности результатов наблюдений для их окончательной обработки и получения координат точек, либо о необходимости повторных или дополнительных наблюдений.

Предварительная обработка результатов наблюдений выполняется с использованием стандартного программного обеспечения фирмы-изготовителя геодезической спутниковой аппаратуры, которое позволяет получать уверенные результаты высокой точности при расстояниях между точками до 30 км при использовании двухчастотных приемников.

Предварительная обработка результатов наблюдений включает следующее:

- создание рабочего проекта на персональном компьютере;
- импорт результатов наблюдений из приемника в базу данных рабочего проекта;
- импорт результатов наблюдений в формате RINEX с ближайшего ПДП в базу данных рабочего проекта;
- проверку и редактирование параметров наблюдений, введенных пользователем в контроллер приемника непосредственно на определяемых точках (название (номер) точки, высота антенны, тип антенны, приемника и т. п.);
- установку условий обработки и вычисление базовых линий;
- анализ результатов обработки и их сохранение в базе данных рабочего проекта.

При обработке допускается исключение результатов наблюдений некоторых спутников или результатов отдельных интервалов наблюдений всех или некоторых спутников с недопустимыми условиями наблюдений (многочисленные перерывы в наблюдениях из-за многопутности сигнала или других помех).

При корректировке угла возвышения спутников над горизонтом устанавливается величина угла, не превышающая 20° .

При выполнении предварительной обработки следует учитывать элементы приведения фазовых центров антенн приемников.

Как правило, количество исключенных из обработки одновременно выполненных наблюдений, в том числе за счет угла возвышения, не должно превышать 10 % от их общего количества.

Метод обработки отдельных базовых линий обеспечивает контроль и исключение некачественных базовых линий и координат точек, вычисление которых выполнялось с использованием результатов наблюдений с недопустимыми условиями. Точки с некачественными координатами могут быть локализованы по оценке точности базовых линий, сходящихся в этой точке.

Другим методом контроля, позволяющим исключить некачественные базовые линии, является контроль по замкнутым геометрическим построениям – сумма приращений координат по замкнутому векторному ходу должна соответствовать требуемой точности, тогда линии, входящие в это геометрическое построение, являются качественными.

Основными критериями контроля качества на стадии предварительной обработки результатов наблюдений являются:

- разрешение неоднозначности по всем базовым линиям;
- оценка качества результатов наблюдений по величине средней квадратической погрешности определения приращений координат;
- оценка точности определения базовых линий по внутренней сходимости результатов обработки.

При условии успешного разрешения неоднозначности результаты вычислений базовых линий сохраняются в базе данных проекта.

Результаты каждого сеанса наблюдений переписываются на жесткие диски персональных компьютеров и при необходимости копируются на автономные магнитные носители информации с целью их последующей совместной математической обработки.

Предварительная обработка результатов наблюдений выполняется до выезда из района полевых работ [17].

Камеральная обработка результатов спутниковых наблюдений. Камеральная обработка (постобработка) результатов наблюдений пользователя совместно с накопленной на ПДП информацией, в том числе уравнивание и определение координат точек выполняются с помощью специализированного программного обеспечения. Как правило, специализированное программное обеспечение для постобработки

результатов геодезических спутниковых наблюдений поставляется изготовителями геодезической спутниковой аппаратуры в качестве обязательных приложений к аппаратуре.

Уравнивание является важнейшей частью процесса создания сети пунктов (точек) и выполняется с целью получения однозначных результатов из имеющегося количества координатных определений путем их исправления поправками так, чтобы точность всех определенных величин стала выше.

Постобработка результатов наблюдений выполняется в несколько этапов:

1) разрешение фазовых неоднозначностей и получение приращений координат между ПДП и определяемыми точками, анализ качества и надежности результатов;

2) уравнивание результатов наблюдений в геоцентрической системе координат ITRS от ближайшего ПДП с оценкой точности;

3) перевычисление координат точек из ITRS в систему координат пользователя.

Преобразование или трансформирование координат из одной системы отсчета координат в другую. Преобразование или трансформирование координат точек, определяемых с использованием ПДП ССТП РБ в ITRS, в систему координат пользователя может выполняться:

- по официально опубликованным параметрам связи между системами отсчета координат;

- по матрице пересчета координат;

- по параметрам преобразования (трансформирования) координат, определенным пользователем самостоятельно.

При выполнении топографо-геодезических, землеустроительных и иных работ в населенных пунктах, имеющих местную систему координат, применяются установленные параметры преобразования координат в местную систему (ключи перехода).

Учет, хранение и предоставление в пользование в установленном порядке параметров трансформирования координат пунктов ГГС из ITRS в СК-95 и обратно, параметров преобразования (ключей перехода) координат пунктов ГГС из государственной системы координат в местную систему координат и обратно, а также матрицы пересчета координат осуществляется государственной специализированной организацией, уполномоченной на формирование, ведение и хранение

государственного картографо-геодезического фонда Республики Беларусь [17].

В процессе преобразования или трансформирования координат решаются следующие задачи:

- нахождение максимально точных оценок для параметров перехода (масштаба, сдвига, вращения);
- достижение комбинации координатных систем, уменьшающей поправки к результатам наблюдений.

Преобразование или трансформирование координат точек из ITRS в систему координат пользователя с оценкой точности выполняется в несколько этапов.

Для определения параметров преобразования или трансформирования координат и пересчета всех результатов наблюдений на объекте работ в систему координат пользователя необходимо использование пунктов СГС-1, равномерно находящихся вокруг территории объекта работ на удалении не более 20–30 км, как показано на рис. 3.13.



Рис. 3.13. Расположение пунктов СГС-1 на территории объекта работ

Задача перехода к системе координат пользователя от системы координат результатов наблюдений решается с использованием специализированного программного обеспечения для полевой и камеральной обработки результатов наблюдений, приобретаемого в качестве обязательного приложения к геодезической спутниковой аппаратуре.

Программное обеспечение вычислительного центра ССТП РБ выполняет преобразования (трансформирования) координат следующих четырех типов:

- трехмерные декартовы координаты: X, Y, Z ;
- геодезические эллипсоидальные координаты: B, L, H ;
- координаты в картографической проекции: плоские N, E и ортометрическая высота H (при использовании модели квазигеоида – нормальная высота);
- локальные координаты: x, y, H .

Протоколы преобразования (трансформирования) с координатами точек, приращениями координат и длин линий, с оценкой точности вычисленных величин рекомендуется сохранять на персональном компьютере до сдачи результатов выполненных работ заказчику.

Данные значения координат точек, полученных при выполнении топографических съемок, импортируются в специализированное программное обеспечение для создания топографических планов.

Окончательные значения координат точек, полученных при выполнении работ по определению (восстановлению) границ земельного участка, оформляются в список (каталог) координат точек, который является составной частью формируемого по окончании работ землеустроительного дела [17].

Контрольные вопросы и задания

1. Дайте определение геодезических сетей.
2. Укажите назначение геодезических сетей.
3. Каким образом определяется плановое и высотное положение пунктов геодезических сетей в населенных пунктах?
4. Укажите структуру геодезических сетей в населенных пунктах.
5. Назовите структуру государственной геодезической сети Республики Беларусь.
6. В каких случаях осуществляется развитие сетей полигонометрии?
7. Каким образом осуществляется привязка съёмочных сетей к стенным знакам?
8. Приведите общие сведения о глобальных навигационных спутниковых системах (ГНСС).
9. Назовите структуру ГНСС.
10. Опишите структуру передаваемого сигнала со спутника.

11. Дайте определения кодовых и фазовых измерений.
12. Укажите различия между абсолютными и относительными методами спутниковых измерений.
13. Запишите формулу для измеряемого расстояния между спутником и приемником.
14. Что такое неоднозначность фазовых измерений?
15. Назовите методы разрешения неоднозначностей.
16. В чем заключается принцип определения местоположения пунктов с использованием ГНСС?
17. Опишите принципы относительного и дифференциального позиционирования.
18. Дайте характеристику сети постояннодействующих пунктов спутниковой сети точного позиционирования Республики Беларусь.
19. Перечислите источники погрешностей, возникающих при спутниковых измерениях.
20. Что входит в состав пользовательской аппаратуры при работе со спутниковыми навигационными системами?
21. Перечислите этапы выполнения съемки земельных участков с использованием ПДП.
22. Укажите этапы обработки результатов спутниковых измерений.

4. ПЛАНОВО-КАРТОГРАФИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВЕ И В ЗЕМЕЛЬНОМ КАДАСТРЕ

4.1. Виды планово-картографических материалов, используемых в землеустройстве и в земельном кадастре

В соответствии со ст. 85 Кодекса Республики Беларусь о земле [4] в перечень земельно-кадастровой документации входят кадастровые карты территории Республики Беларусь, создаваемые при помощи топографических съемок.

Топографическая съемка – это комплекс работ, выполняемых в целях получения съемочного оригинала топографической карты или топографического плана [19].

Топографические съемки на территории Республики Беларусь выполняют в масштабах 1:5 000, 1:2 000, 1:1 000, 1:500 [13].

Для конкретных случаев необходимо производить обоснование выбора масштаба и высоты сечения рельефа (параметров) съемок.

Результаты топографических съемок могут быть представлены в графической (топографические планы и карты) и цифровой (цифровые модели местности) формах.

Топографическая карта – подробное картографическое изображение местности на плоскости в определенном масштабе, позволяющее определять как плановое, так и высотное положение точек на земной поверхности.

Топографический план – картографическое отображение на плоскости в ортогональной проекции в крупном масштабе ограниченного участка местности, в пределах которого кривизна уровенной поверхности не учитывается [23].

Топографические планы масштаба 1:2000 предназначены для землеустройства территории населенных пунктов. Для разработки градостроительных проектов определенных частей города, другого населенного пункта, различных функциональных зон, территорий предполагаемой инвестиционной деятельности служат топографические планы масштаба 1:1000. Топографические планы масштаба 1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1:500 на территории Республики Бедарусь создаются в проекции Гаусса-Крюгера в трехградусных зонах, в государственной или местной системе координат, в Балтийской системе высот 1977 года.

Топографические съемки местности выполняются аэрофототопографическими и (или) наземными методами. Наземные методы применяются на незначительных территориях, необеспеченных материалами аэросъемки.

Результаты топографической съемки в графической или иной форме, в зависимости от методов съемки и применяемого оборудования, являются исходными картографическими материалами и данными для изготовления в масштабе съемки съемочных оригиналов топографических планов в графической или цифровой форме или служат основными материалами для составления топографических планов более мелкого масштаба [20].

Цифровая модель местности (ЦММ) представляет собой множество, элементами которого являются топографическая информация о местности и правила обращения с ней [20, 21, 22].

Цифровые модели местности (ЦММ), представляющие совокупность точек с числовыми выражениями пространственных (плановых и высотных) координат, расположенных по определенному правилу, например, в вершинах сетки квадратов, прямоугольников, равнобедренных треугольников, на параллельных линиях, горизонталях, водо-

разделах, водотоках и др., с необходимой точностью и детальностью описывают топографическую поверхность. ЦММ, составляемые по материалам наземных или воздушных съемок, служат основой для автоматизации инженерных расчетов при проектировании с применением ЭВМ и для составления банка данных, т.е. информационной системы, собирающей, хранящей, позволяющей и преобразовывающей топографическую информацию о земной поверхности, в целях оперативного использования ее при решении инженерных задач.

Цифровая топографическая основа земельного кадастра должна удовлетворять следующим основным требованиям:

- достоверно и с соответствующей масштабу точностью и полнотой отображать современное состояние объектов;
- обеспечивать определение координат объектов с необходимой для ведения земельного кадастра точностью;
- создаваться в системе координат, разграфке и номенклатуре топографических планов, принятых для ведения земельного кадастра;
- объекты должны быть согласованы по содержанию, системе классификации и кодирования, формату и структуре представления;
- смежные планы в цифровом виде должны быть сведены по всем элементам их содержания, включая данные для кадастра;
- информационное содержание должно обеспечивать создание и ведение земельного кадастра в автоматизированной информационной системе.

4.2. Понятие о точности планов (карт). Точность положения контурных точек на плане. Точность определения направлений и горизонтальных углов, изображенных на плане (карте). Точность площадей контуров, изображенных на плане

Точность плана характеризуется величиной средней квадратической ошибки положения контурной точки на плане относительно ближайшего пункта главного геодезического обоснования съемки.

Точность положения точки является двумерной и определяется формулой:

$$m_t = \sqrt{m_x^2 + m_y^2} \quad , \quad (4.1)$$

в которой m_x и m_y – точности положения по осям координат.

Точность планов различных видов съемок различна. Это объясняется различием геодезических инструментов и технологических процессов, применяемых при съемках. Но различие точности планов отдельных видов съёмок при правильном их проведении невелико, и практически их можно считать одинаково точными, потому что ряд элементов, составляющих технологический процесс того или иного вида съемки, имеет ошибки, которые могут быть приравнены к графической точности (0,1 мм на плане).

Для получения ошибки положения контурных точек на плане, ошибки отдельных геодезических действий (ошибки нанесения точек и линий на план, построения углов на плане и т. д.) можно принять независимыми и определить по формуле:

$$m_t = \sqrt{m_1^2 + m_2^2 + \dots + m_n^2} . \quad (4.2)$$

Согласно исследованиям, ошибки для теодолитной и тахеометрической съемки получатся примерно одинаковыми и равными 0,4 мм на плане. Примерно такой же точностью обладают планы аэрофотосъемки.

Если положение точек на плане ошибочно, то расстояния и направления между этими точками будут определены ошибочно независимо от способа определения.

Для получения зависимости ошибки расстояния и направления между точками от ошибок их положения примем, что каждая из точек определяется координатами x_1 и y_1 , x_2 и y_2 со средними квадратическими ошибками m_{x1} и m_{y1} , m_{x2} и m_{y2} . Расстояние между точками определится по формуле:

$$S^2 = (x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 . \quad (4.3)$$

Тогда зависимость между функцией S и аргументами x_1 , y_1 , x_2 , y_2 будет иметь следующий вид:

$$m_F = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial F}{\partial x_i} \cdot m_i \right)^2 + 2 \cdot \sum_{j,i=1}^k \frac{\partial F}{\partial x_i} \cdot \frac{\partial F}{\partial x_j} \cdot m_i \cdot m_j \cdot r_{ij}} , \quad (4.4)$$

где m_i – средняя квадратическая ошибка каждого аргумента;
 r_{ij} – оценка соответствующих коэффициентов корреляции.

Если измерения независимы (не коррелированы), то

$$m_F = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial F}{\partial x_i}\right)^2} \cdot m_i^2. \quad (4.5)$$

Применим формулу (4.5) для функции, выраженной формулой (4.3)

$$m_s^2 = \left(\frac{\partial S}{\partial x_1}\right)^2 \cdot m_{x_1}^2 + \left(\frac{\partial S}{\partial y_1}\right)^2 \cdot m_{y_1}^2 + \left(\frac{\partial S}{\partial x_2}\right)^2 \cdot m_{x_2}^2 + \left(\frac{\partial S}{\partial y_2}\right)^2 \cdot m_{y_2}^2.$$

Учитывая, что

$$\begin{aligned} \frac{\partial S}{\partial x_1} &= -\frac{-2 \cdot (x_2 - x_1)}{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}}; & \frac{\partial S}{\partial y_1} &= -\frac{-2 \cdot (y_2 - y_1)}{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}}; \\ \frac{\partial S}{\partial x_2} &= -\frac{2 \cdot (x_2 - x_1)}{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}}; & \frac{\partial S}{\partial y_2} &= -\frac{-2 \cdot (y_2 - y_1)}{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}}, \end{aligned}$$

и принимая $m_{x_1} = m_{y_1} = m_{k_1}$, $m_{x_2} = m_{y_2} = m_{k_2}$, тогда $m_s^2 = m_{k_1}^2 + m_{k_2}^2$.

На основании (4.1)

$$m_{i_1}^2 = 2m_{k_1}^2 \text{ и } m_{i_2}^2 = 2m_{k_2}^2,$$

а

$$m_{k_1}^2 = \frac{1}{2}m_{i_1}^2 \text{ и } m_{k_2}^2 = \frac{1}{2}m_{i_2}^2,$$

поэтому

$$m_s^2 = \frac{1}{2}(m_{i_1}^2 + m_{i_2}^2).$$

Если $m_{i_1} = m_{i_2} = m_t$, то

$$m_s = m_t, \quad (4.6)$$

т. е. средняя квадратическая ошибка расстояния между точками на плане равна средней квадратической ошибке положения точки.

Если координаты точки коррелированы и коэффициент корреляции r увеличивается с уменьшением расстояния между точками, то при $r_x = r_y = r$, согласно [23]

$$m_s = m_t \sqrt{1 - r}, \quad (4.7)$$

аналогично можно найти ошибку дирекционного угла линии между двумя точками:

$$m_\alpha = \frac{m_t}{S} \cdot \rho. \quad (4.8)$$

Формула (4.8) показывает, что ошибка дирекционного угла увеличивается с уменьшением расстояния между точками. Ещё большей ошибкой характеризуется точность угла β (рис. 4.1), определяемого формулой:

$$\beta = \alpha_{2-1} - \alpha_{2-3} = \arctg \frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_2} - \arctg \frac{y_3 - y_2}{x_3 - x_2}.$$

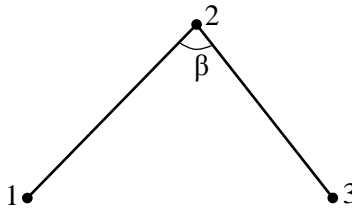


Рис. 4.1. Изображение угла β

При $m_1 = m_2 = m_3 = m_t$, получим

$$m_\beta^2 = m_t^2 \cdot \left(\frac{1}{S_{2-1}^2} + \frac{1}{S_{2-3}^2} - \frac{\cos \beta}{S_{1-2} \cdot S_{2-3}} \right). \quad (4.9)$$

Следует отметить, что при $\beta = 180^\circ$ ошибка становится максимальной, а при очень острых углах β ошибка угла приближается к ошибке, получаемой по формуле (4.8).

Ошибки положения точек контура вызывают ошибку его площади. Чтобы определить ошибку площади контура в зависимости от ошибок

положения поворотных точек этого контура, следует, предположить, что каждая точка определяется на плане независимо от других и положение ее характеризуется координатами x_i и y_i со средними квадратическими ошибками m_{x_i} , m_{y_i} .

Зависимость между площадью контура и координатами его поворотных точек можно представить известной формулой:

$$2P = \sum_{i=1}^n x_i \cdot (y_{i+1} - y_{i-1}). \quad (4.10)$$

Воспользовавшись формулой (4.5), приняв, что $m_{x_i} = m_{y_i}$ и учитывая (4.1), получим:

$$m_p^2 = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^n \left\{ (x_{i-1} - x_{i+1})^2 + (y_{i-1} - y_{i+1})^2 \right\} \cdot m_i^2. \quad (4.11)$$

Но величина в фигурных скобках есть квадраты диагоналей, проведенных между точками $n-2$, $1-3$, $2-4$ и т. д. (рис. 4.2, а).

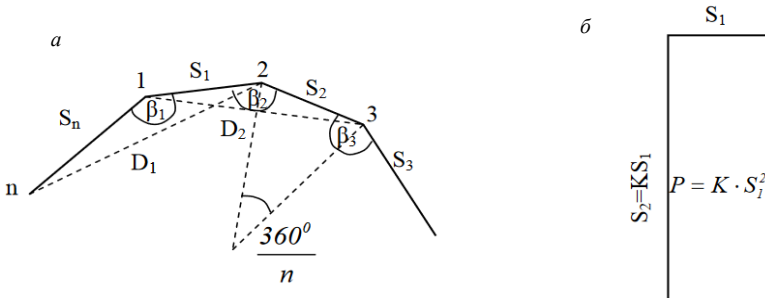


Рис. 4.2. а – положение диагоналей в многоугольнике; б – соотношение сторон в прямоугольнике.

Эти диагонали D_i могут быть выражены через расстояния S_{i-1} и S_i между точками $i-1$ и $i+1$ и внутренние углы β_i при точках i так

$$(x_{i+1} - x_{i-1})^2 + (y_{i+1} - y_{i-1})^2 = S_{i-1}^2 + S_i^2 + 2S_{i-1}S_i \cos \beta_i = D_i^2$$

тогда:

$$m_p^2 = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^n \left(S_{i-1}^2 + S_i^2 + 2S_{i-1}S_i \cos \beta_i \right) \cdot m_i^2, \quad (4.12)$$

или

$$m_p^2 = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^n m_i^2 \cdot D_i^2. \quad (4.13)$$

По формулам (4.12) и (4.13) можно определить среднюю квадратическую ошибку площади фигуры любой формы.

Для правильного многоугольника:

$$m_p = m_i \sqrt{\sin \frac{360^\circ}{n} \cdot P}. \quad (4.14)$$

Для фигуры прямоугольной формы с четырьмя точками поворота, с соотношением сторон 1:K (рис. 4.2, б), при $m_{ii} = m_i$, согласно (4.13) получим

$$m_p = m_i \sqrt{P} \cdot \sqrt{\frac{1+K^2}{2K}}. \quad (4.15)$$

Для фигуры, по форме близкой к квадрату, при $n = 4$ и $K = 1$

$$m_p = m_i \sqrt{P}. \quad (4.16)$$

Сравнение формул (4.14)–(4.16) показывает, что ошибки площадей фигур значительно уменьшаются с увеличением числа n точек фигуры и несколько увеличиваются с увеличением её вытянутости K [23].

4.3. Обновление планов и карт.

Обновление цифровых планов и карт.

Использование данных дистанционного зондирования при обновлении планово-картографических материалов

Для приведения содержания крупномасштабных топографических карт в соответствие с современным состоянием местности необходимо их обновление.

Старение планов и карт обусловлено:

- 1) непрерывным изменением земной поверхности, зависящим в антропогенной деятельности;
- 2) повышением требований к их точности, детальности, полноте, содержанию и оформлению в связи с научно-техническим прогрессом.

В результате осуществления хозяйственных мероприятий на территории сельскохозяйственного предприятия, населённого пункта и др. могут происходить изменения:

- а) в размерах и конфигурации землепользований и контуров видов земель в связи с трансформацией, изъятием и предоставлением земель;
- б) в качественном состоянии видов земель в связи с проведением мелиоративных, агротехнических и других мероприятий;
- в) в составе категорий земель и категорий землепользователей;
- г) в размерах территории из-за изменений административных границ.

Быстрое старение планов и карт вызывает необходимость систематического их обновления, так как они не отражают в необходимой мере актуальное состояние картографируемой территории.

Под обновлением понимают приведение карты в соответствие с современным состоянием картографируемого объекта посредством исправления, дополнения новыми данными, удалением исчезнувших контуров. Обновление планов через определенные периоды производят преимущественно методом аэрофотосъемки.

Быстрое старение планов и карт вызывает необходимость проведения мероприятий по поддержанию планов и карт на актуальном уровне как правило в сроки от 1 года до 5 лет. Это мероприятие называют корректировкой планов и карт, под которой понимают съемку появившихся контуров ситуации, нанесение результатов съемки на существующий план (карту) и удаление на плане исчезнувших контуров. Стоимость корректировки определяется преимущественно объемом полевых работ. Как указывается в [24], объем полевых работ может определяться протяженностью (длиной) снимаемых контуров, длиной съемочных ходов, прокладываемых в целях съемок происшедших изменений. Поэтому основным показателем старения планов (карт) является отношение сумм длин снимаемых контуров и наносимых на план к сумме длин всех контуров на момент съёмки:

$$\lambda\% = \frac{1}{L} \cdot 100\% . \quad (4.17)$$

Помимо определения стоимости работы по корректировке плана этот показатель наиболее объективно и однозначно отражает фактический объем выполненной работы. Но, показатель старения планов (карт) часто требует картометрической работы, поэтому для определения объема работ по корректировке пользуются другим показателем,

представляющим отношение площади изменившихся контуров p к площади всех контуров P , изображённых на плане, который даёт возможность перевести его в показатель λ , определяемый по формуле:

$$\lambda\% = \sqrt{\frac{p}{P}} \cdot 100\%. \quad (4.18)$$

В настоящее время, если район работ покрыт новой аэрофотосъемкой, то при корректировке используют материалы аэрофотосъемки.

При выполнении работ по корректировке ставится задача – выбрать, такие способы корректировки, которые практически обеспечивали бы сохранение точности корректируемых планов. Корректировкой невозможно исправить плохой по качеству план, но неудачно выбранный способ корректировки может привести к недопустимой потере точности корректируемого плана.

Практические планы считаются равноточными, если показатели их точности отличаются один от другого не более, чем на 10 %.

Это означает, что если точность корректируемого плана характеризуется ошибкой положения точки на плане m_t , то откорректированный план может обладать ошибкой положения точки $1.1m_t$. Ошибки измерений при корректировке могут составлять величину $m_{\text{изм}}$ и при этом должно удовлетворяться условие:

$$(1,1m_t)^2 = m_t^2 + m_{\text{изм}}^2 \quad (4.19)$$

откуда

$$m_{\text{изм}} = 0,46m_t, \quad (4.20)$$

т. е. ошибки измерений при корректировке не должны превышать $\approx 0,5$ величины погрешности, которой характеризуется точность корректируемого плана.

Корректировка планов является самостоятельным видом геодезических работ, выполняемых для внесения в план изменений в ситуации, происшедших после съемки, с сохранением точности, которой характеризуется корректируемый план.

Работа по корректировке выполняется в следующем порядке:

- 1) подготовительные камеральные работы;
- 2) полевое дешифрирование появившихся контуров на аэроснимках новой аэрофотосъемки или сличение корректируемого плана с местностью;

- 3) удаление с плана исчезнувших контуров;
- 4) построение съемочного обоснования (при необходимости) для съемки появившихся контуров;
- 5) съемка появившихся контуров;
- 6) нанесение результатов съемки и дешифрирования на план и составление калек выполняемой работы (производится систематически по мере выполнения полевых работ);
- 7) контроль и оформление результатов корректировки.

Точность корректировки в значительной степени зависит от точности геодезического обоснования съемки, выполняемой при корректировке.

Геодезическим обоснованием съемки могут быть:

- пункты геодезических сетей (триангуляции, полигонометрии, трилатерации);
- границы землепользований (межевые знаки), имеющие вычисленные значения координат;
- точки съемочных ходов, проложенных между этими пунктами;
- опорные контурные точки, сохранившиеся на местности и четко отображенные на корректируемом плане.

Таковыми точками могут быть пересечения дорог, канав, если эти пересечения происходят под углами не менее 40° и не более 140° , углы контуров пахотных земель, отдельных строений и изгородей, колодцы, постоянные предметы местности, а также точки, полученные промерами вдоль прямолинейного контура. Для более точного опознавания контурных точек на местности и плане и для уточнения их положения на плане пользуются аэрофотоснимками.

Наиболее просто и с полным сохранением точности корректируемого плана корректировка выполняется, если съемка опирается на пункты имеющейся геодезической сети достаточной густоты (при масштабе 1:10000 не более 3–4 км между пунктами). Поэтому наличие пунктов геодезической сети и обеспечение их сохранности является одним из условий эффективного периодического обновления планов и карт и поддержания их на современном уровне. В этом случае съемка происшедших изменений производится методом тахеометрической съемки со съемочных ходов.

Тахеометрическая съемка (проложение ходов, полярный способ) применяется на закрытой местности или при большой разбросанности участков съемки и при неблагоприятных для полевых работ климатических условиях, а также на открытой местности при небольших изменениях в ситуации.

При корректировке планово-картографических материалов применяют [24]:

1. Полярный способ.
2. Способ перпендикуляров.

Использование материалов аэрофотосъемки при корректировке планов наиболее эффективно, освобождает исполнителя от полевых измерений, повышает производительность труда и в значительной степени избавляет его от пропусков при фиксировании происшедших изменений в ситуации на плане, но требует знаний фотограмметрии, геометрических свойств аэроснимка и производственного навыка. Для корректировки используют аэроснимки, увеличенные до масштаба корректируемого плана.

После камерального сличения корректируемого плана с аэроснимком и полевого дешифрирования появившихся контуров, возникает задача по переносу их с аэроснимка на корректируемый план (контур, не изобразившиеся на аэроснимке, снимают наземными способами), при этом основой служат твердые контурные точки, отождествляемые на аэроснимке и корректируемом плане.

В настоящее время, когда во всех отраслях производства осуществляется переход к использованию геоинформационных технологий для обновления планов и карт, особо важное значение на современном этапе цифровое картографирование приобретает для обновления топографических карт и планов.

При использовании геоинформационных систем (ГИС), имеющийся планово-картографический материал переводят в цифровую форму: сканируют, привязывают к системе координат, векторизуют. Достоинством данных в векторной форме является простота их ГИС-анализа и возможность выполнения целого ряда картометрических операций.

ГИС обладают широким спектром возможностей для обеспечения различных управленческих решений. Они позволяют собирать новую информацию и обновлять уже имеющиеся данные, манипулировать накопленной информацией, производить пространственный и временной ее анализ, моделировать и размещать различные объекты в пространстве, а также выдавать полученные результаты как в цифровом, так и в традиционном виде (в форме карт, таблиц, графиков).

После определения степени старения материала и установления необходимости обновления планово-картографических данных определяют пути актуализации пространственной информации. Одним из способов ввода и обновления информации в БГД является дешифрирование космических и аэрофотоснимков.

Ведущее место среди программ, предназначенных для обработки данных дистанционного зондирования (ДДЗ) Земли, является программный комплекс ENVI. Он предназначен для анализа мультиспектральных и гиперспектральных изображений, включает наиболее полный набор функций для обработки данных ДЗЗ и их интеграции с данными ГИС. Диапазон задач, решаемых с помощью ПК ENVI, достаточно широк: от ортотрансформирования и пространственной привязки изображений до получения результатов автоматизированного дешифрирования и интеграции их с данными ГИС.

Методику обновления планово-картографических материалов по ДДЗ Земли можно представить в последовательности, представленной на рис. 4.3. Разработанная технология по созданию и обновлению планово-картографических материалов в цифровом формате по актуальным данным дистанционного зондирования является эффективной и может использоваться как для решения задач землеустройства, так и в целях мониторинга земель [25].



Рис. 4.3. Этапы обновления планово-картографического материала по данным дистанционного зондирования Земли

Контрольные вопросы и задания

1. Перечислите виды планово-картографических материалов, используемых в землеустройстве и земельном кадастре.
2. Запишите формулы точности положения точки на плане, средней квадратической ошибки расстояния между точками на плане, ошибки дирекционного угла линии, средней квадратической ошибки угла, средней квадратической ошибки площади фигуры.
3. Укажите необходимость обновления планово-картографического материала.
4. Дайте определение терминам «обновление» и «корректировка» планов (карт).
5. Запишите формулу для определения показателя старения планов (карт).
6. Опишите порядок корректировки планово-картографического материала.
7. Что может служить геодезическим обоснованием съемки при корректировке планово-картографического материала?
8. Перечислите этапы обновления планово-картографического материала по данным дистанционного зондирования Земли.

5. СПОСОБЫ И ТОЧНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОЩАДЕЙ

5.1. Способы определения площадей земельных участков, их точность

Составление различного рода проектов, связанных с использованием и мониторингом земельных ресурсов, учет и инвентаризация земель требуют определения площадей. В одних случаях достаточно ограничиться общими сведениями о площадях участков и массивов, в других – необходимы более точные определения площадей, и погрешность даже в несколько десятых долей процента считается недопустимой. Поэтому необходимо знать и точность ее определения.

Определение площадей земельных участков является одним из важнейших видов геодезических работ для целей землеустройства, государственного земельного кадастра.

Требования к точности определения площади земельных участков зависят от многих факторов: хозяйственной значимости (виды земель),

наличия и ценности недвижимости. Все эти и другие возможные факторы влияют на нормативную и рыночную стоимость земли, которая в основном и является исходной для расчета требуемой точности определения площади земельных участков.

Достижение требуемой точности возможно лишь при правильном выборе способа определения площади участка. В практике используют следующие способы определения площадей [26]:

1. *Аналитический*, когда площадь вычисляется по результатам измерений линий и углов на местности или по их функциям (координатам вершин фигур).

2. *Графический*, когда площадь вычисляется по результатам измерений линий или координат на плане (карте).

3. *Механический*, когда площадь определяется по плану с помощью специальных приборов (электронных планиметров).

Иногда эти способы применяют комбинированно: графоаналитический и графомеханический способы.

В настоящее время площади можно определить по цифровой модели местности с использованием специализированных программ, например САПР AutoCAD.

Наиболее точным, но требующим больших материальных затрат на производство полевых измерений, является аналитический способ, так как на точность вычисленной площади этим способом влияют только погрешности измерений на местности, и следовательно, точность его не зависит от точности плана. Его применяют для вычисления площадей землепользований, полей севооборотов и т. д., когда по границам их проложены теодолитные ходы и полигоны.

Для определения площадей участков по результатам измерения линий и углов на местности применяют формулы геометрии, тригонометрии и аналитической геометрии. Рассмотрим некоторые из них.

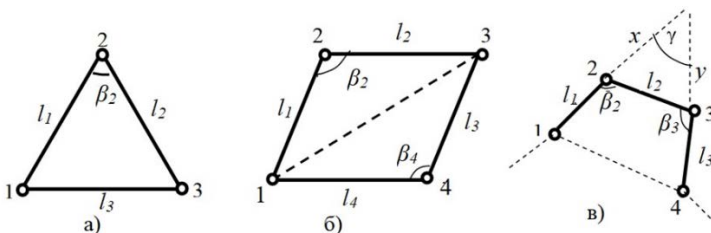


Рис. 5.1. Геометрические фигуры для определения площадей участков

Треугольник (рис. 5.1, а). Площадь треугольника определяется по сторонам l_1 и l_2 , углу β_2 , заключенному между ними, по формуле:

$$P = \frac{1}{2}(l_1 \cdot l_2 \cdot \sin \beta_2). \quad (5.1)$$

Если известны три стороны, то можно использовать формулу Герона:

$$P = \sqrt{S(S-l_1)(S-l_2)(S-l_3)}, \quad (5.2)$$

где l_1, l_2, l_3 – длины сторон треугольника;

$$S = \frac{1}{2}(l_1 + l_2 + l_3) \text{ – полупериметр.}$$

Четырехугольник (рис. 5.1, б). В зависимости от элементов, известных в четырехугольнике, могут быть использованы различные формулы для расчета. Например, зная четыре стороны и два противоположных угла вычисления можно произвести по формуле:

$$P = \frac{1}{2}(l_1 \cdot l_2 \cdot \sin \beta_2 + l_3 \cdot l_4 \cdot \sin \beta_4). \quad (5.3)$$

Если в четырехугольнике измерены все стороны и один угол при вершине 2, то в таком случае общую площадь четырехугольника можно вычислить по формуле:

$$P = \frac{l_1 \cdot l_2}{2} \cdot \sin \beta_2 + (S \cdot (S - l_3) \cdot (S - l_4) \cdot (S - l_{1-3})), \quad (5.4)$$

где S – полупериметр, равный $S = \frac{1}{2}(l_1 + l_4 + l_{1-3})$.

Зная три стороны и два угла, заключенные между этими сторонами (рис. 5.1, в), имеем [22]:

$$2P = l_1 \cdot l_2 \cdot \sin \beta_2 + l_2 \cdot l_3 \cdot \sin \beta_3 + l_1 \cdot l_3 \cdot \sin(\beta_2 + \beta_3 - 180^\circ). \quad (5.5)$$

Такого вида формулы можно получить для любого n – угольника.

Но при $n > 6$, целесообразнее вычислять площади по координатам вершин полигона, пользуясь известными формулами:

$$2P = \sum_{i=1}^n x_i (y_{i+1} - y_{i-1}), \quad (5.6)$$

или

$$2P = \sum_{i=1}^n y_i (x_{i-1} - x_{i+1}). \quad (5.7)$$

Поэтому, если площадь фигуры вычисляют по результатам измерений на местности, то точность вычисления площади можно рассчитать, пользуясь формулой средней квадратической ошибки F_m функции известного вида F , если известны ошибки ее аргументов (непосредственно измеренных величин) m_i [27]:

$$m_F = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial F}{\partial x_i} \right)^2 + 2 \cdot \sum_{i,j=1}^k \frac{\partial F}{\partial x_i} \cdot \frac{\partial F}{\partial x_j} \cdot m_i \cdot m_j \cdot r_{ij}}, \quad (5.8)$$

Если связи между i -м и j -м измерениями не существует (или она незначительна), то в формуле (5.8) отсутствует второе слагаемое.

Таким образом, можно заметить, что ошибка площади зависит не только от точности измерений на местности, но и от формулы, которая применяется для вычисления площади.

Для полигона с n -вершинами по формуле (5.8) можно получить формулу ошибки определения площади вида:

$$m_p = \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot m_{xy} \sqrt{\sum_{i=1}^n D_i^2}, \quad (5.9)$$

где m_{xy} – средняя квадратическая ошибка определения координат x и y точек вершин полигона при условии, что

$$m_{x_1} = m_{x_2} = \dots = m_{y_1} = m_{y_2} = m_{y_n} = m_{x,y},$$

D_i – расстояние от начала координат до i -й точки вершины полигона (в частном случае от одной из вершин, принятой за начало координат).

Для прямоугольника со сторонами a и b формула (5.9) примет вид

$$m_p = m_{xy} \cdot \sqrt{a^2 + b^2}, \quad (5.10)$$

а для квадрата со стороной a

$$m_p = a \cdot m_{xy} \sqrt{2}. \quad (5.11)$$

Существуют и другие формулы оценки точности площади земельного участка:

$$m_p = \frac{1}{2\sqrt{2}} \sqrt{\sum_{i=1}^n (m_i D_i)^2}. \quad (5.12)$$

где m_i – средняя квадратическая ошибка положения точки i .

D_i – диагональ, соединяющая точки $i-1$ и $i+1$.

При проложении хода полигонометрии (тахеометрического хода) по периметру земельного участка можно использовать формулу:

$$m_p = \frac{m}{2} \sqrt{\sum_{i=1}^n l_i^2 - \sum_{i=1}^n l_{i-1} l_i \cos \beta_i}, \quad (5.13)$$

где l_i – длина линии хода между вершинами i и $i+1$, редуцированная на плоскость;

β_i – угол (внутренний для многоугольника) при точке между направлениями на вершины $i-1$ и $i+1$, а при использовании метода электронной тахеометрии:

$$m_p = \frac{m}{2} \sqrt{\sum_{i=1}^n S_i^2 - \sum_{i=1}^n S_i S_{i+2} \cos \Delta\tau_i}. \quad (5.14)$$

где $\Delta\tau_i$ – угол при точке стояния между направлениями на точки $i-2$ и i .

Вычисление площадей графическим способом состоит в том, что участки, изображенные на плане, разбивают на простейшие геометрические фигуры – преимущественно на треугольники, реже на трапеции и прямоугольники. В каждой фигуре на плане измеряют высоту и основание, по которым вычисляют площадь. Сумма площадей фигур дает площадь участка.

Чем больше углов имеет граница участка, тем меньше эффективность этого способа. Для вычисления площадей участков, имеющих большое количество углов, целесообразнее вычислять площадь по графическим координатам, измеренным на плане, по формулам (5.6), (5.7).

Наилучшим вариантом разбивки участка на треугольники будет тот, при котором треугольники близки к равносторонним. Для контроля и повышения точности вычисления площадь каждого треугольника определяют дважды: по двум различным основаниям и двум высотам и, если расхождение допустимо, то из двух значений площади вычисляют среднее. Допустимость расхождения между двумя значениями площади определяют по формуле:

$$\Delta P_{(ra)} = 0,04 \frac{M}{10000} \sqrt{P_{(ra)}}, \quad (5.15)$$

где M – знаменатель численного масштаба плана,
 P – площадь участка.

При разбивке участка на простейшие фигуры можно принять много вариантов, однако, точность вычисления площади участка при различных вариантах не будет одинаковой. Ошибку вычисления площади каждого треугольника по высоте a и основанию h можно рассчитать по формуле:

$$\left(\frac{m_p}{P}\right)^2 = \left(\frac{m_h}{h}\right)^2 + \left(\frac{m_a}{a}\right)^2. \quad (5.16)$$

Эта формула справедлива также и для прямоугольника, параллелограмма и трапеции, площади которых вычисляют по двум величинам, измеренным по плану. Ошибки измерения линий по плану можно считать одинаковыми, независимо от длин линий, т. е. $m_a = m_h = m$.

Число треугольников, на которое разбивается участок, не влияет на ошибку площади, поэтому при разбивке участка на треугольник и нет необходимости стремиться к тому, чтобы их число было наименьшим.

Например, пусть площадь многоугольника P разбита на n треугольников с отношением высот и оснований, примерно равным единице, и с площадями P_1, P_2, \dots, P_n , так что $P = P_1 + P_2 + \dots + P_n$. Если результаты измерений оснований и высот не используются для вычисления площадей соседних треугольников, т. е. площади треугольников вычислены по независимым измерениям, то

$$m_p = \sqrt{m_{P_1}^2 + m_{P_2}^2 + \dots + m_{P_n}^2}$$

Но для треугольника, у которого $a = h$, $m_p = m\sqrt{P_1}$, следовательно

$$m_p = m\sqrt{P_1 + P_2 + \dots + P_n} = m\sqrt{P}.$$

Так как ошибка измерения расстояния по плану $m = 0,008$ см, и с учетом того, что при разбивке фигуры на треугольники не всегда удастся получить треугольники с равными основаниями и высотами, ошибку площади участка можно вычислять по формуле:

$$m_{P_{(га)}} = 0,01 \frac{M}{10000} \sqrt{P_{(га)}} . \quad (5.17)$$

Площадь каждого треугольника контролируют, вычисляя её дважды по независимым высотам и основаниям, и из двух результатов находят среднее арифметическое. Тогда ошибка площади участка будет в два раза меньше, чем это дает формула (5.17).

Ошибку площади, вычисленной по графическим координатам точек, можно рассчитать по формулам (5.9), или (5.12).

Если m_p и P даны в гектарах на местности, а m_t в сантиметрах на плане, можно использовать формулу:

$$m_p = m_t \frac{M}{10000} \sqrt{P} . \quad (5.18)$$

5.2. Практика определения площадей в современных условиях

В настоящее время планово-картографический материал, используемый при решении землеустроительных задач, создают с использованием геоинформационных систем (ГИС) или систем автоматизированного проектирования (САПР).

С точки зрения автоматизированного определения площадей, наиболее предпочтительным является применение геоинформационных систем с использованием векторной топологической модели организации данных. В этом случае все объекты задаются координатами вершин поворота границ участков, зон ограничений, топографических контуров местности и т. д. Смежные объекты как на местности, так в модели данных ГИС имеют общую границу без перекрытия и разрывов между объектами. Площади объектов автоматически вычисляются аналитическим способом с высокой точностью (до долей метра квадратного) по координатам вершин поворота контуров. Но, так как определение площади ведется путем оцифровки контуров по картографическому материалу (плану, ортофотоплану), результат их определения по своей точности он ближе к графическому способу. При таком способе определения площадей практически отсутствует потребность

в увязке площадей. Расчет с заданной дискретностью и невязка в площадях вызвана ошибками округления. Данный подход реализован при выполнении работ с созданием, эксплуатацией и применением ЗИС при решении землеустроительных задач.

В ряде случаев исходный планово-картографический материал может быть представлен в виде бумажного оригинала, оригинал-макета в электронной форме (форматах растровой или векторной графики, обменном формате САПР и др.). В каждом из перечисленных случаев будет свой вариант решения задачи определения площадей.

В случае наличия бумажного оригинала картографического материала или проектной документации (план строительства, планировки и т.д.) наиболее оптимальным является выполнение сканирования картографического или проектного документа, привязка его к системе координат и выполнение векторизации в среде ГИС с автоматическим определением площадей объектов. При наличии оригинал-макета исходного планово-картографического или проектного документа в электронной форме этап сканирования опускается. При необходимости, производится его привязка с последующей векторизацией объектов, для которых необходимо определить площадь.

Современные ГИС имеют встроенную поддержку как обменного формата САПР (DXF), так и внутреннего формата AutoCAD (DWG), по этой причине данные в форматах САПР могут быть импортированы сразу с координатной привязкой. При использовании данных САПР, создавая новые объекты в среде ГИС и определении площадей, будет обеспечена топологическая привязка к объектам слоя САПР, поворотные точки которых также заданы координатами, полученными на основе полевых измерений или по проекту. Это обеспечит соответствие площадей, полученных в среде ГИС, площадям этих же объектов если бы они были определены в САПР и по точности будет соответствовать аналитическому способу.

Также, во многих ГИС и САПР возможно определение площадей простым обходом произвольного контура по картографическому материалу без создания новых объектов в базах данных.

Площади земельных участков по координатам при установлении на местности границ традиционно долгое время определяли в программе tGeodesy программного комплекса aGeodesy suite. В настоящее время при оформлении документации, связанной с предоставлением земельных участков, используют землеустроительное приложение САПР

NanoCAD. В этом же приложении аналитически вычисляются и площади объектов.

Использование ГИС и САПР при определении площадей на фоне классических графического и механического способов повышает производительность, снижает влияние человеческого фактора. Оператор на экране отслеживает обводимый контур, может изменять масштаб изображения для удобства обвода, а также корректировать неверно сделанные операции обвода.

Составление экспликаций при работе в среде ГИС выполняется осуществлением соответствующего запроса к базе данных аналогично созданию сводных таблиц в Excel.

Контрольные вопросы и задания

1. Перечислите способы определения площадей. Дайте их определения.
2. Запишите формулы для вычисления площади треугольника, четырехугольника.
3. Укажите целесообразность вычисления площади по координатам вершин полигона. Запишите формулу.
4. Запишите формулу в общем виде для определения среднеквадратической ошибки площади, вычисленной по координатам вершин.
5. Опишите практику определения площадей контуров с использованием ГИС и САПР.

6. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ РАЗРАБОТКЕ И ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ПРОЕКТОВ ВНУТРИХОЗЯЙСТВЕННОГО ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВА

6.1. Геодезические работы, выполняемые при составлении и перенесении проектов внутрихозяйственного землеустройства на местность

Проект внутрихозяйственного землеустройства представляет собой совокупность текстовой и графической документации, определяющей и обосновывающей организацию и устройство территории сельскохозяйственных земель на ближайшую перспективу (до 5 лет) как основы создания правовых, организационно-хозяйственных и территориаль-

ных условий для повышения эффективности сельскохозяйственного производства за счет его специализации, технологической нормализации и адаптации к сложившимся природно-экономическим условиям, оптимизации использования земельных, трудовых и материально-денежных ресурсов, сельскохозяйственной техники и транспорта.

Основной задачей проекта внутрихозяйственного землеустройства являются повышение экономической, экологической и социальной эффективности использования и охраны сельскохозяйственных земель путем разработки, обоснования и осуществления комплекса мероприятий, обеспечивающих наиболее оптимальное использование каждого земельного участка с учетом его индивидуальных характеристик (плодородия, технологических свойств, местоположения, природно-исторических, экологических и других особенностей), повышение рентабельности производства сельскохозяйственной продукции.

Объектом проектирования являются все сельскохозяйственные земли, предоставленные в пользование и аренду юридическим лицам для ведения сельского хозяйства, а также несельскохозяйственные земли в границах их землепользований, которые могут быть вовлечены в сельскохозяйственный оборот или использованы для создания или совершенствования инфраструктуры сельскохозяйственного производства.

Разработка проекта предусматривает организацию сельскохозяйственных земель, устройство территории сельскохозяйственных земель, агроэкономическое и экологическое обоснование и включает решение следующих вопросов:

- развитие и специализация производственных центров;
- оптимизация состава, структуры и размещения земель;
- формирование системы севооборотов;
- территориальная организация пастбищного содержания скота;
- размещение объектов инженерного оборудования территории;
- обоснование основных показателей хозяйственной деятельности и специализации хозяйства;
- обоснование эффективности проектируемых мероприятий [28].

Осуществление утвержденного проекта внутрихозяйственного землеустройства выполняется путем его перенесения на местность по желанию заказчика с целью закрепления и обозначения проектных элементов.

Перенесению на местность подлежат проектные границы хозяйственных участков (рабочих участков, полей севооборотов, гуртовых и других участков), которые не совпадают с существующими естествен-

ными или искусственными границами. При необходимости проектные границы пропахивают в одну борозду, обозначают указательными знаками установленного образца. В процессе перенесения проекта на местность уточняется размещение посевов сельскохозяйственных культур в текущем году.

Перенесение на местность осуществляется методами угловых и линейных измерений или линейных измерений от «твердых» точек местности, хорошо распознаваемых на плане, а также другими методами. Ошибки в перенесении элементов проекта не должны превышать $\pm 0,5$ мм точности плана.

Для перенесения проекта на местность на чертеж с элементами проекта наносятся линии теодолитного хода, направления линейных промеров до проектных точек, выписываются значения углов и расстояния.

После перенесения проекта на местность хозяйству могут передаваться временный чертеж с элементами проекта и рабочая ведомость размещения посевов сельскохозяйственных культур.

Элементы инженерного оборудования территории (внутрихозяйственные дороги, лесные полосы, гидротехнические сооружения и устройства, а также границы объектов освоения и улучшения земель) переносятся на местность перед началом строительства и осуществления мероприятий, как правило, по данным рабочих проектов [28].

6.2. Сущность формирования проектных границ участков. Требования, предъявляемые к топографической основе, используемой для формирования проектных границ земельных участков

Составление проекта, а затем перенесение его на местность – процесс, обратный съемке и составлению плана. Если при съемке выполняют измерения на местности для последующего изображения на бумаге границ землепользования, участков, ситуации, дорог, рек, то при составлении проекта сначала на планово-картографической основе изображают проектные границы полей, бригадных и других участков дорог, лесных полос, каналов и пр., после чего положение этих объектов определяют на местности путем соответствующих измерений при перенесении проекта на местность.

Для составления проекта используют план (карту) с экспликациями (площадей) по землепользованиям и видам земель, кальки контуров,

материалы агрохозяйственных, почвенных, геоботанических, агролесомелиоративных и других обследований.

Проект землеустройства составляют в соответствии с заданием, содержащим основные показатели перспективного плана развития каждого конкретного сельскохозяйственного предприятия и с учетом экономических и природных условий.

Первые проектные решения делают приближенно, по возможности простыми техническими средствами и приемами, чтобы быстрее графически оформить замысел проектировщика сначала в общих чертах, а затем и в деталях. Поэтому проекты землеустройства разрабатывают, как правило, в две стадии:

- 1) составление предварительного, или эскизного, проекта;
- 2) составление окончательного, или технического, проекта.

По эскизному проекту, в котором дается экономически обоснованное конкретное размещение всех основных элементов организации территории, можно решать вопрос о способах и приемах окончательного (технического) проектирования тех или иных объектов, о проведении необходимой полевой подготовки как для составления технического проекта более точными способами, так и для перенесения его на местность.

В окончательном (техническом) проекте обеспечивается нужная точность положения проектируемых объектов и их площадей.

После составления проекта и надлежащего его юридического оформления (проверка, обсуждение, утверждение) выполняют подготовительные работы для перенесения проекта на местность, а затем и само перенесение на местность всех точек, углов, линий, площадей спроектированных объектов.

После перенесения проекта на местность или в процессе его осуществления иногда производят исполнительную съемку построенных или строящихся объектов в целях геодезического контроля за правильностью осуществления замыслов проектировщика или за допущенными отступлениями при перенесении и осуществлении проекта.

Материалы землеустройства – откорректированные планы землепользований, проекты и др. и используются в дальнейшем для целей земельного кадастра.

Проведение топографо-геодезических обследований и изысканий является одним из землеустроительных действий, включаемых в землеустройство. Оно призвано обеспечить топографической основой в виде карт и планов другие землеустроительные действия:

1) образование новых, а также упорядочение существующих землепользовании с устранением чересполосицы и других неудобств в расположении земель; уточнение и изменение границ землепользования на основе схем районной планировки;

2) внутрихозяйственную организацию территории сельскохозяйственных предприятий, организаций и учреждений с введением экономически обоснованных севооборотов и устройством всех других сельскохозяйственных земель, а также разработку мероприятий по борьбе с эрозией почв;

3) выявление, новых земель для сельскохозяйственного и иного народнохозяйственного освоения;

4) отвод и изъятие земельных участков;

5) установление и изменение городской черты, поселковой черты и черты сельских населенных пунктов;

6) проведение почвенных, геоботанических и других обследований и изысканий.

Топографические планы масштаба 1:5000 служат основой для составления топографических и специальных карт и планов более мелких масштабов, в том числе и для создания топографических планов масштаба 1:2000, которые используются для землеустройства территорий населенных пунктов [20].

Топографические карты и планы необходимы для проведения государственного земельного кадастра, включающего данные регистрации землепользовании, учета количества и качества земель, бонитировки почв и экономической оценки земель. Эти данные служат целям организации эффективного использования земель и их охраны, планирования народного хозяйства размещения и специализации сельскохозяйственного производства, мелиорации земель и химизации сельского хозяйства, а также других народнохозяйственных мероприятий, связанных с использованием земель.

Топографические карты и планы необходимы также для проектирования планировки и застройки сельских населенных пунктов.

Каждое из указанных мероприятий и действий предъявляет свои требования к качеству, т. е. к точности, полноте и детальности топографических карт и планов, показатели качества определяют масштаб карты (плана) и высоту сечения рельефа, а масштаб карты и площадь, на которой выполняются топографо-геодезические работы, определяют виды и методы проведения этих работ.

Особенно большое число объектов проектирования возникает при составлении землеустроительных проектов. Так, объектами проектирования при составлении проектов межхозяйственного землеустройства являются землепользования различных предприятий, учреждений и организаций и границы этих землепользований.

При составлении проектов внутрихозяйственной организации территории объектами проектирования являются участки, выделяемые для населенных пунктов, хозяйственных (производственных) центров, для отдельных видов земель и севооборотов, полей севооборотов, лесных полос и другие участки, дороги, скотопрогоны и пр.

С проведением внутрихозяйственного землеустройства тесно связаны работы: по составлению проектов планировки сельских населенных пунктов, гидромелиоративных мероприятий (орошение, осушение), гидротехнических сооружений (водозадерживающие и водоотводящие валы, водосборные сооружения, пруды, террасирование склонов) и др.

Крупномасштабные планы применяются также для составления специальных проектов внутрихозяйственной организации территории многолетних насаждений, ягодников, виноградников, комплексных проектов мелиорации (орошения, осушения) и организации территории. Карты и планы составляются на основе различного вида геодезических съемок, преимущественно аэрофотосъемок. В связи с происходящими изменениями в расположении объектов съемки (ситуации) на местности, исчезновением одних и возникновением других производят периодическое обновление планов (карт), или корректировки, в процессе которых вносят в существующие планы, происходящие изменения в ситуации.

6.3. Сущность и методы перенесения проектов на местность.

Подготовка данных для перенесения проекта на местность

Перенесение проекта землеустройства на местность заключается в проложении и закреплении на местности границ участков, дорог и пр., которые спроектированы на плане. Для перенесения проекта на местность выбирают наиболее простые методы, требующие меньших затрат времени и рабочей силы на производство этого вида работ и обеспечивающие в то же время точность, удовлетворяющую экономическим и техническим требованиям.

Перенесение проекта на местность должно обеспечивать точность положения закрепляемых проектных точек на местности не меньшую, чем для ясно выраженных контуров. Положение этих точек должно

определяться вычисленными значениями координат и служить многие годы дополнительными геодезическими обоснованиями при выполнении топографических изысканий на территории сельскохозяйственных предприятий (организаций).

Технически перенесение проекта на местность представляет действие, обратное съемке. Следовательно, точность перенесения можно приравнять к точности съемки:

1. Если перенесение проекта на местность производится по геодезическим данным (величинам углов и длинам линий), получаемым путем вычислений при проектировании аналитическим способом, то на точность перенесенных на местность участков будут влиять только ошибки полевых измерений.

2. Если же перенесение проекта на местность производится по данным, определяемым графически по плану (после проектирования графическим или механическим способом), то на точность перенесенных на местность участков, помимо ошибок полевых измерений, будут влиять и ошибки графического определения величин углов и длин линий по плану.

От перенесения проекта на местность как завершающей стадии землеустроительных работ в большей степени зависит точность расположения на местности участков, параллельность или перпендикулярность их сторон, расхождение действительных площадей участков на местности с площадями, указанными в экспликациях и др.

Правильно выбранным методом перенесения проекта на местность не исправить геодезически неточно составленного землеустроительного проекта. Неправильно выбранным методом можно свести на нет точность, полученную в процессе проектирования.

Поэтому три геодезических процесса – съемка, проектирование, перенесение проекта на местность должны производиться по точности согласованно. При допущенной неточности в одном из процессов нельзя достичь требуемой точности к проекту в целом.

Перенесение проекта на местность производится следующими методами:

– способом промеров длин линий лентой, рулеткой, электронным тахеометром от твердых точек ситуации;

– инструментальным способом – теодолитом, лентой, рулеткой, а также электронным тахеометром.

Применение этих методов возможно для любого землеустроительного проекта и на материале любого вида съемки.

Целесообразность применения того или иного метода зависит от:

- 1) технических требований к параллельности и перпендикулярности сторон проектируемых участков;
- 2) способа проектирования, который применялся при составлении проекта землеустройства;
- 3) топографических условий местности (ровная с ясно выраженным рельефом, открытая, закрытая);
- 4) вида плано-картографического материала, использованного при проектировании (планы теодолитной, аэрофотосъемки и др.).

При этих условиях перенесение проекта в пределах одного землепользования может быть произведено различными методами.

Перенесению проекта мерным способом следует всегда отдавать предпочтение перед другими методами, особенно в тех случаях, когда: местность открытая, т.е. проложению проектной линии на местности не препятствуют древесные насаждения, постройки, рельеф; положение концов переносимых на местность линий определяется промером между точками, которые обозначены на плане и надежно определяются на местности (знаки, столбы, вершины углов поворотов четко отображенных контуров ситуации).

Если проектирование производилось аналитическим или графическим способом, когда в процессе проектирования вычислялись длины промеров, то в качестве опоры при перенесении проекта используются точки ранее проложенных теодолитных ходов или пункты других видов геодезических сетей.

Способ промеров применяется в открытой местности, когда точки поворота границы земельного участка находятся в створе опорных пунктов геодезической сети или бесспорно опознанных контурных точек, либо когда положение точек границы можно определить по перпендикуляру к этому створу.

Инструментальный способ применяется при необходимости построения углов для получения направления от пункта геодезической сети, на точку поворота границы предоставленного земельного участка; проектные границы представляют ломаные линии, точки ситуации не могут служить надежной опорой для перенесения проекта.

В зависимости от конкретных условий можно применять различные комбинации способов перенесения на местность проектов.

В случаях, когда границей предоставленного земельного участка является канал, канава, профилированная дорога, капитальное ограждение и другие твердые линейные контуры, то эти границы переносятся на местность путем отождествления картографического материала (архитектурного (строительного) проекта) с местностью, а в случае необ-

ходимости – промерами от оси канала, канавы, дороги, внешней стороны капитального здания или сооружения, внешней стороны ограждения.

Геодезические данные, необходимые для перенесения проекта, определяются в зависимости от способа проектирования. При аналитическом способе проектирования принимают значения углов и линий, заданные при составлении проекта отвода на архитектурном (строительном) проекте объекта строительства. При графическом способе проектирования угловые и линейные величины определяются графически по плану или вычисляются по известным (аналитическим) координатам исходных точек и графическим координатам проектных точек.

После нанесения на проектный план всех проектных линий спроектированных объектов и записей на нем всех отрезков (промеров) и углов, необходимых для перенесения проекта составляют разбивочный чертеж.

Подготовка данных для перенесения проектов на местность. Перед перенесением проекта на местность производят подготовительные работы в целях установления порядка геодезических действий, которые включают:

- рекогносцировку местности;
- установление методов перенесения проекта на местность;
- сгущение пунктов геодезического обоснования (при необходимости);
- определение величин промеров (проектных отрезков) и углов с отображением их на проектном плане;
- составление разбивочного чертежа перенесения проекта на местность.

При осмотре местности проверяют наличие закрепленных пунктов геодезических сетей для перенесения проекта и устанавливают необходимость их сгущения; уточняют возможности их применения различных методов перенесения проекта на местность.

Если в качестве опоры будут использованы контурные точки ситуации, то выборочно проверяют соответствие этих точек на плане и на местности, сличая контрольные промеры между ними. Если при этом расхождения между результатами измерения линий на плане и на местности превышают величину 1 мм, т. е. предельную ошибку положения точки на плане, то эти точки не могут быть использованы в качестве опоры при перенесении проекта.

Геодезическое обоснование сгущают, если между съемкой и перенесением проекта на местность большой промежуток времени, за который могли оказаться уничтоженными закрепленные пункты, необходимые для перенесения проекта или существующая сеть имеет недостаточную густоту.

Получение необходимых исходных угловых и линейных данных путем проложения теодолитных ходов по границам массивов, в которых проектируются участки, позволит быстрее и точнее составить технический проект, упростит составление разбивочного чертежа, что ускорит и облегчит перенесение проекта на местность [26].

6.4. Элементы геодезических разбивочных работ: построение на местности проектного угла и проектного расстояния

Пусть необходимо построить на местности проектный угол и проектную длину линии. Работы ведут в следующем порядке. Установив тахеометр в точку B , наводят зрительную трубу на точку A и берут отсчет по горизонтальному кругу. Далее прибавляют к этому отсчету проектный угол β и, вращая тахеометр, устанавливают вычисленный отсчет. Теперь визирная ось зрительной трубы тахеометра указывает искомое направление. Это направление на соответствующем проекту расстоянии фиксируют на местности в точке C_1 . Аналогичные действия выполняют повторно и отмечают на местности вторую точку C_2 . Из положения двух точек берут среднее (точка C , рис. 6.1), принимая угол ABC за проектный.

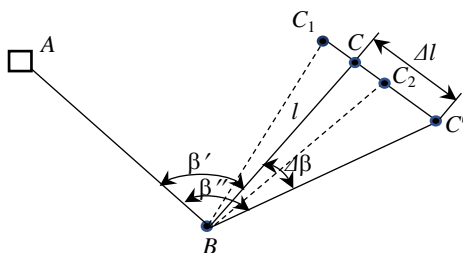


Рис. 6.1. Схема построения на местности проектного угла

Стандартные геодезические приборы, изготовленные серийно, по точности предназначены для выполнения измерений, а не построений. В результате точность отложения разбивочных элементов этими приборами оказывается ниже, чем точность измерений с использованием этих приборов. Поэтому, если необходимо построить проектный угол с повышенной точностью, то поступают следующим образом.

Построенный на местности угол измеряют несколькими приемами и определяют его более точное значение β'' . Число приемов и измерения угла можно определить по приближенной формуле:

$$n = \frac{(m_{\beta}')^2}{m_{\beta}^2}, \quad (6.1)$$

где m_{β}' – номинальная для данного теодолита средняя квадратическая ошибка измеренного угла;

m_{β} – требуемая средняя квадратическая ошибка отложения угла.

Измерив построенный на местности угол, вычисляют поправку

$$\Delta\beta = \beta' - \beta, \quad (6.2)$$

которую необходимо ввести для уточнения построенного угла.

Зная проектное расстояние $BC = l$, вычисляют линейную поправку $CC' = \Delta l$. Из геометрии построений (рис. 6.1) следует, что

$$\Delta l = l \frac{\Delta\beta}{\rho}, \quad (6.3)$$

где β и ρ выражены в секундах.

Далее откладывают от точки C перпендикулярно к линии BC величину вычисленной поправки Δl и фиксируют точку C'' . Угол ABC'' и будет равен проектному углу с заданной точностью. Для контроля угол ABC'' измеряют. Если полученное значение отличается от проектного на допускаемую величину, то работу заканчивают. В противном случае требуется дальнейшее уточнение.

Точность построения на местности проектного угла зависит от инструментальных ошибок, ошибок собственно измерения (визирования), а также ошибок из-за влияния внешних условий. Ошибки центрирования, редукции и исходных данных (ошибки в положении пунктов A и B) на точность отложения проектного угла влияния не оказы-

вают, что позволяет учитывать их отдельно. В этом заключается еще одна особенность разбивочных работ. Однако эти ошибки вызывают смещение на местности направления BC и выносимой точки C .

Необходимая точность отложения линейной поправки (редукции) Δl может быть подсчитана по формуле:

$$m_{\Delta l} = l \frac{m_{\Delta B}}{\rho}. \quad (6.4)$$

На местности от исходной точки A сначала откладывают и закрепляют приближенное значение проектного расстояния (точка B). Это расстояние с необходимой точностью измеряют мерными приборами или тахеометрами, учитывая все поправки.

Вычислив длину закрепленного отрезка, сравнивают его с проектным значением, находят линейную поправку:

$$\Delta L = L_{\text{пр}} - L_{\text{изм}} \quad (6.5)$$

откладывают ее с соответствующим знаком от конечной точки B' отрезка. Затем, для контроля, построенную линию AB измеряют.

Точность построения проектного расстояния в способе редукции в основном зависит от точности линейных измерений расстояния AB' . Исходя из требуемой точности определения проектного расстояния, выбирают приборы для измерений [26].

6.5. Способы выноса на местность проектных точек и их точность. Точность площадей участков, перенесенных на местность

Способ промеров по створу. Этот способ является довольно простым, для его выполнения на местности необходимо иметь только мерную ленту.

Сущность работы заключается в определении на местности положения точек P_1, P_2, \dots, P_n , которые получаются в результате пересечения исходной прямой линии $1-2$ с линиями проекта.

В камеральных условиях определяются отрезки S_1, S_2, \dots, S_n .

Для контроля необходимо иметь длину всего отрезка $1-2$ (S_{1-2}).

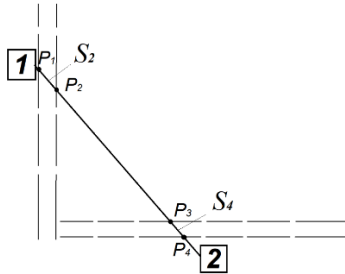


Рис. 6.2. Способ измерений по створу

Если S_{1-2} измерена с помощью измерителя и масштабной линейки, то допустимое расхождение в сумме измеренных отрезков с длиной S_{1-2} можно вычислить по формуле:

$$f_{\text{доп}} = 0,16\sqrt{n+1} \text{ мм на плане,} \quad (6.6)$$

где n – число отрезков.

Когда расстояние S_{1-2} найдено из решения обратной геодезической задачи по координатам пунктов 1 и 2, то величина f вычисляется по формуле:

$$f_{\text{доп}} = 0,16\sqrt{n+5} \text{ мм на плане.} \quad (6.7)$$

Если невязка допустима, то ее распределяют, вводя поправку по ровну в каждый отрезок.

Когда число отрезков S будет большим, то лучше брать не длину каждого из них, а суммарную их величину. Отрезки затем можно найти путем вычитания предыдущего суммарного измерения из последующего. Они могут быть вычислены также по проектным размерам.

В полевых условиях инструментально провешивают исходную линию 1–2 и измеряют ее, откладывая одновременно в ее створе отрезки S_i . В полученных местах забивают колья. Относительные расхождения измеренной длины с той, которая получена в камеральных условиях, не должны превышать 1/1500–1/500 длины всей линии.

Если относительное расхождение допустимо, то каждую из первоначально намеченных точек передвигают вдоль опорной линии на величину поправки, пропорциональной длинам промеров S_i от исходного

пункта. В результате этой работы получают окончательное положение исходных точек, которые закрепляют знаками.

Способ линейной засечки. Этот способ применяют в том случае, когда на плане и местности имеется густая сеть геодезических пунктов и расстояния от исходных пунктов до проектных точек, не превышают длины мерного прибора. Он удобен при детальной разбивке зданий и сооружений, а также определении вспомогательных точек.

На местности выполняют следующие работы. От исходных пунктов A и B с помощью ленты или рулетки радиусами, равными отрезкам a и b , описывают дуги, в пересечении которых будет находиться проектная точка P (рис. 6.3).

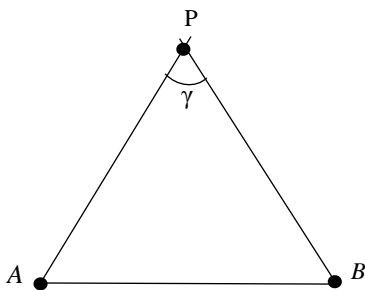


Рис. 6.3. Способ линейной засечки

Для повышения точности определения точки P необходимо, чтобы угол засечки не был меньше 40° и не превышал 140° . Для контроля измерений необходимо иметь еще одну дополнительную исходную точку.

Точность перенесения проектной точки P на местность зависит от точности отложения длины отрезков a и b и величины угла при этой точке.

$$m_P = \frac{m_s \sqrt{2}}{\sin \gamma}$$

Способ прямой угловой засечки применяется в том случае, когда на местности имеется густая сеть геодезических пунктов и невозможно провести линейные измерения от исходного пункта до определенной точки, обычно расположенной на значительном удалении.

Камеральные работы по подготовке исходных данных для перенесения проекта на местность заключаются в вычислении проектных

горизонтальных углов $\beta_1, \beta_2, \beta_3$. Проектный угол β_3 необходим для контроля полевых построений.

Построения проектных углов на местности выполняют одним или двумя тахеометрами. Для этого в каждом из пунктов 1 и 2 (рис. 6.4) строят дважды соответственно углы β_1, β_2 . Положение проектной точки P получают на пересечении направлений 1- P и 2- P , что достигается следующим образом.

В месте примерного пересечения лучей на каждом из направлений 1- P и 2- P намечают по две точки c и c', d и d' . Затем натягивают тонкий шпагат соответственно между точками c и c', d и d' и в месте пересечения отмечают на местности положение точки P .

Точность перенесения точки P на местность этим способом зависит главным образом от точности построения проектных углов, величины угла при проектной точке P и расстояний a и b от исходных пунктов до определяемой точки.

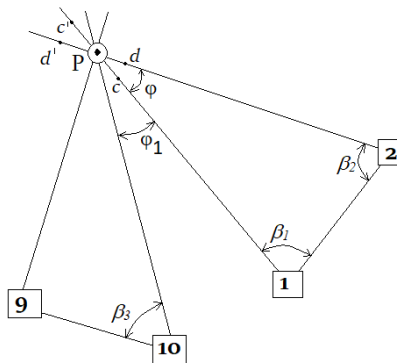


Рис. 6.4. Разбивка прямой угловой засечки

Средняя квадратическая ошибка в положении проектной точки (m_P) относительно исходных пунктов может быть вычислена по формуле

$$m_P = \frac{m_\beta}{\rho \sin \varphi} \sqrt{a^2 + b^2}, \quad (6.8)$$

$$m_P = \frac{m_\beta \cdot b}{\rho \sin \varphi} \sqrt{\sin^2 \beta_1 + \sin^2 \beta_2}, \quad (6.9)$$

где m_β – средняя квадратическая ошибка построения угла;

φ – угол засечки;

$b = S_{12}$ – базис.

При выборе исходных пунктов для перенесения на местность точки P нужно стремиться к тому, чтобы угол φ был не менее 40° и не более 140° . Наилучшим вариантом по точности определения положения проектной точки будет тот, при котором стороны a и b будут равны между собой.

Способ обратной угловой засечки основан на принципе редуцирования. На местности находят приближенно положение P' проектной точки P (рис.6.5). В этой точке P' устанавливают тахеометр и с требуемой точностью измеряют углы не менее, чем на три исходных пункта с известными координатами. По формулам обратной засечки вычисляют координаты приближенно определенной точки P' и сравнивают их с проектными значениями.

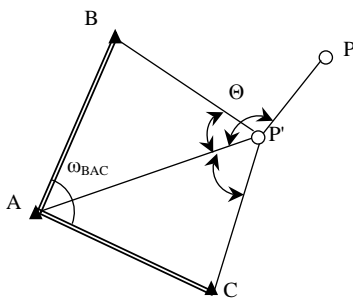


Рис. 6.5. Схема способа обратной угловой засечки

По разности координат вычисляют величины редукции (угловой и линейный элемент) и смещают точку в проектное положение. Для контроля на этой точке измеряют углы, вновь вычисляют координаты и сравнивают их с проектными. В случае недопустимых расхождений все действия повторяют. На точность разбивки способом обратной угловой засечки оказывают влияние ошибки собственно засечки, исходных данных, центрирования тахеометра и визирных целей, фиксации разбивочной точки и редуцирования.

При сравнительно больших расстояниях от определяемого до опорных пунктов влияние первых двух источников будет наиболее существенным, остальными ошибками можно пренебречь.

Ошибка положения пункта может быть подсчитана по приближенной формуле:

$$m_P = \frac{m_B \cdot S_A}{\rho \sin(\beta_1 + \beta_2 + \omega_{BAC})} \cdot \sqrt{\left(\frac{S_B}{S_{AB}}\right)^2 + \left(\frac{S_C}{S_{AC}}\right)^2}, \quad (6.10)$$

где S – расстояние от определяемого до соответствующих опорных пунктов;

b – расстояние между соответствующими опорными пунктами;

ω_{BAC} – угол между исходными сторонами.

Способ прямоугольных координат. Этот способ имеет преимущество в том случае, когда на плане и местности имеется довольно густая сеть исходных пунктов. Тогда от исходной линии, например $1-2$ (рис. 6.6), проектная точка P может быть определена с помощью двух отрезков $D_1 = x$ и $D_2 = y$, один из которых откладывают по направлению линии $1-2$, а другой D_2 – по перпендикуляру к ней.

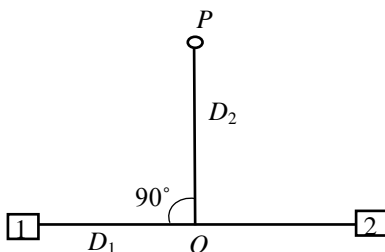


Рис. 6.6. Способ прямоугольных координат

Полевые работы сводятся к следующему. От исходной точки по направлению к $1-2$ откладывают отрезок D_1 и намечают точку O .

В этой точке строят прямой угол и по полученному направлению откладывают отрезок D_2 , в результате чего получают проектную точку P .

Прямой угол с вершиной в точке O можно построить различными способами. Так, например, если отрезок D_2 окажется менее 5 м, то прямой угол можно построить с помощью рулетки, в иных случаях при работе нужно использовать электронный тахеометр.

Точность положения точки P относительно исходной линии на местности зависит главным образом от точности откладывания проектных расстояний, построения прямого угла и длины проектных отрезков. Среднюю квадратическую погрешность положения проектной точки относительно исходной линии можно вычислить по формуле [26]:

$$m_P = \sqrt{m_{D1}^2 + m_{D2}^2 + D_2^2 \frac{m_\beta^2}{\rho^2}}. \quad (6.11)$$

Способ полярных координат. Этот способ применяют в тех случаях, когда имеется возможность измерить расстояние от исходного пункта до проектной точки. Разбивку производят с пунктов теодолитных или полигонометрических ходов, когда эти пункты расположены сравнительно недалеко от выносимых на местность точек. Сущность работы по перенесению на местность проектной точки P заключается в построении проектного горизонтального угла β или β_1 ; и откладывании по полученному направлению проектного расстояния S (рис. 6.7).

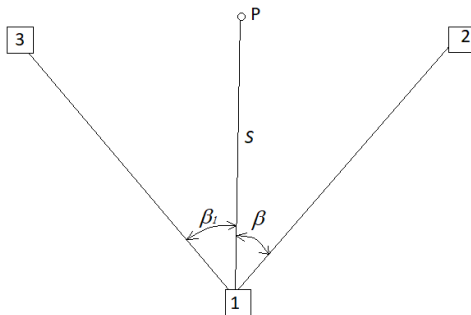


Рис. 6.7. Способ полярных координат

Точность определения положения точки P относительно опорной точки будет зависеть от точности построения проектного угла и отложения проектного расстояния. Средняя квадратическая ошибка m_p положения проектной точки на местности относительно разбивочной сети (без учета ошибок закрепления точки, ошибок исходных данных и ошибок центрирования) может быть вычислена по формуле:

$$M_p = \sqrt{m_s^2 + S_{AP}^2 \frac{m_\beta^2}{\rho^2}}, \quad (6.12)$$

где m_s , m_β соответственно средние квадратические погрешности полярного расстояния S и полярного угла β ;

ρ – число угловых секунд или минут в радиане.

Если проектная точка находится на значительном расстоянии от исходного пункта, то приходится несколько раз откладывать полярным способом проектные углы и расстояния, прокладывая ход. Такой способ называют способом проектного хода (полигона). При точных разбивочных работах углы хода уравнивают, вычисляют по ним и проектным расстояниям координаты точек, сравнивают их с проектными и при необходимости редуцируют в проектное положение.

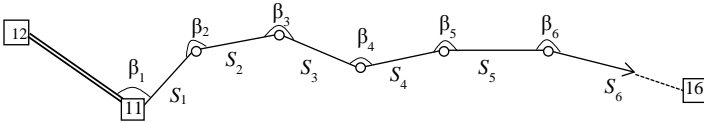


Рис. 6.8. Проектный ход

Точность положения проектных точек на местности зависит от точности построения проектных углов, отложения длины проектных линий. Наибольшую ошибку следует ожидать в середине теодолитного хода. Среднюю квадратическую ошибку в положении точки, находящейся в середине вытянутого проектного хода с равными сторонами и увязанного на местности по способу параллельных линий, можно вычислить по формуле:

$$m_p^2 = \frac{N}{4} m_D^2 + \frac{N^2 + 2}{48N} \cdot \frac{m_\beta^2}{\rho^2} \cdot (\sum S)^2, \quad (6.13)$$

где m_D – средняя квадратическая ошибка откладывания сторон теодолитного хода;

m_β – средняя квадратическая ошибка построения проектного горизонтального угла;

$\sum S$ – длина теодолитного хода;

N – число сторон.

Метод свободного выбора станции. Широкое использование цифровых моделей при проектировании инженерных сооружений обусловило представление данных для выноса проекта на местность в виде координат отдельных точек возводимых сооружений.

Использование при разбивочных работах новых измерительных средств дало возможность реализовать новую технологию под названием «метод свободного выбора станции».

При реализации данного метода местоположение проектных точек определяется от пунктов исходной разбивочной сети сразу с необходимой точностью.

Порядок выполнения работ будет следующим.

Электронный тахеометр устанавливают вблизи выносимых точек и известными способами (обратная, линейная, комбинированная засечка) определяют координаты точки стояния прибора (рис. 6.9).

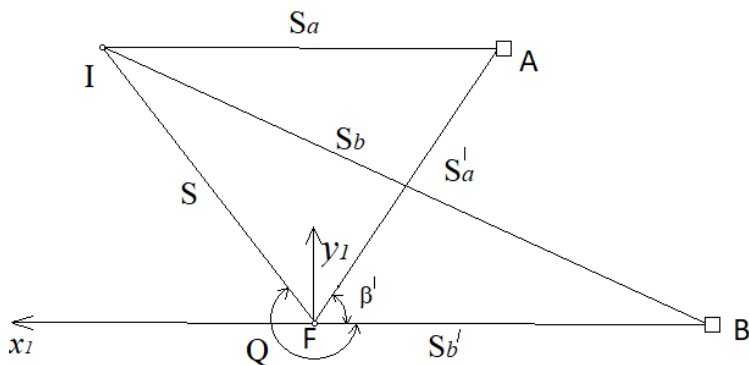


Рис. 6.9. Метод свободного выбора станции

Полученные координаты сравнивают с проектными координатами выносимых точек и, задавшись методом разбивки проектных точек, вычисляют в поле необходимые разбивочные элементы (полярный угол и полярное расстояние). Затем выполняют соответствующие построения и фиксируют на местности проектное положение выносимых точек [23].

Пусть требуется вынести на местность точку I . В качестве исходных используются пункты A и B .

Измерив расстояния S_a и S_b и угол β' с пункта F (свободная станция) на опорные пункты A и B вычисляют разности:

$$\begin{aligned}\Delta S_a &= S'_a - S_a, \\ \Delta S_b &= S'_b - S_b.\end{aligned}\tag{6.14}$$

Редукционные элементы y_1, x_1 вычисляют по формулам:

$$\begin{aligned}y_1 &= \frac{\Delta S_a}{\sin \beta'} - \frac{\Delta S_b}{\operatorname{tg} \beta'}, \\ x_1 &\approx -\Delta S_b.\end{aligned}\tag{6.15}$$

В случае использования для разбивки метода полярных координат

$$\begin{aligned}Q &= 180^\circ + \operatorname{arctg} \frac{y_1}{x_1}, \\ S &= \sqrt{(x_1)^2 + (y_1)^2}.\end{aligned}\tag{6.16}$$

6.6. Вынос на местность проектной точки по высоте. Проложение на местности линии с заданным (проектным) уклоном

Для перенесения точки на местность с заданной высотой нивелир устанавливают примерно посередине между репером и точкой B .



Рис. 6.10. Вынос на местность проектной точки по высоте

Приводят его в рабочее положение и берут отсчет « a » по черной стороне рейки, установленной на репере. Вычисляют горизонт прибора ($\Gamma\Pi$)

$$\Gamma\Pi = H_{рп} + a, \quad (6.17)$$

где $H_{рп}$ – высота репера.

Через горизонт прибора получаем отсчет:

$$b = \Gamma\Pi - H_{пр}. \quad (6.18)$$

Затем передвигают рейку по точке B по команде наблюдателя вверх или вниз до получения вычисленного отсчета b , называемого «проектной рейкой». В этом случае пятка (нуль) рейки будет находиться на необходимой высоте.

Для продолжения на местности линии с заданным (проектным) уклоном необходимо от точки B , закрепленной на местности, выполнить построение линии с заданным уклоном i через точки $1, 2$, и 3 .

Примем расстояние между точками $d_{b-1} = d_{1-2} = d_{2-3} = 10$ м. (рис. 6.11).

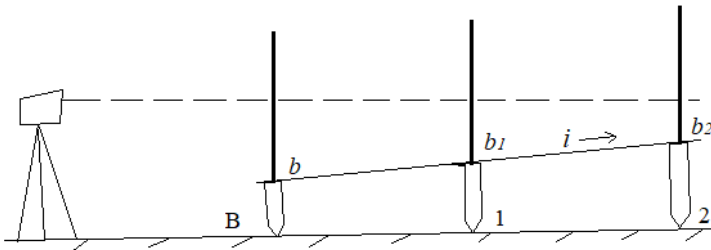


Рис. 6.11. Проложение линии на местности с заданным проектным уклоном

Определяют проектные высоты точек $1, 2$, и 3 по формуле:

$$H_i = H_b + i + d_i, \quad (6.19)$$

где H_b – высота репера;

i – проектный уклон;

d_i – расстояние между точками.

Затем вычисляют «проектные рейки» (b_i) в этих точках:

$$b_i = ГП - H_i, \quad (6.20)$$

где

$$ГП = H_B + b. \quad (6.21)$$

Устанавливая последовательно рейку в точках 1, 2, 3, опускаем или поднимаем ее до тех пор, пока отсчет по ней окажется соответственно равным b_1, b_2, b_3 , а пятка рейки будет находиться на проектных высотах. Прямая, проходящая через отмеченные точки, и будет линией заданного уклона [23].

Контрольные вопросы и задания:

1. Каким образом выполняется осуществление проекта внутрихозяйственного землеустройства?
2. Назовите стадии разработки проекта землеустройства.
3. Что служит основой для землеустройства территории населенных пунктов?
4. Назовите методы перенесения проекта на местность.
5. Перечислите этапы подготовки данных для перенесения проекта на местность.
6. Опишите принцип построения на местности проектного угла и проектного расстояния.
7. Перечислите способы выноса на местность проектных точек. Приведите описание.

7. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ УСТАНОВЛЕНИИ (ВОССТАНОВЛЕНИИ) ГРАНИЦ ЗЕМЕЛЬНЫХ УЧАСТКОВ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ, АДМИНИСТРАТИВНО-ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ И ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ ЕДИНИЦ

7.1. Цели и задачи установления границ земельных участков

Работы по установлению фиксированной границы земельного участка выполняются в целях определения геометрических размеров и местоположения на местности границы земельного участка и должны обеспечивать бесспорное определение границы земельного участка на местности и возможность последующего восстановления этой границы.

При установлении фиксированной границы земельного участка координаты точек поворота его границы определяются геодезическим способом.

Установление границы земельного участка выполняется с использованием сведений, материалов и данных ЗИС, геопортала, единого государственного регистра недвижимого имущества, прав на него и сделок с ним, реестра административно-территориальных и территориальных единиц Республики Беларусь, географического информационного ресурса данных дистанционного зондирования Земли, БД «Установление границ», а также материалов и данных государственного картографо-геодезического фонда Республики Беларусь.

Границы земельных участков под пролетными сооружениями мостов, путепроводов, эстакад не устанавливаются, за исключением земельных участков, на которых расположены опоры указанных сооружений, не опирающиеся на дно водного объекта.

При установлении границ земельных участков допускается несовмещение фиксированных и нефиксированных границ земельных участков, определение координат точек поворота которых выполнено разными способами (геодезическим, фотограмметрическим, картометрическим) на величину, не превышающую погрешность, предельное значение которой составляет:

при несовмещении фиксированной и нефиксированной границ земельных участков, расположенных в населенном пункте, – 2,0 м;

при несовмещении фиксированной и нефиксированной границ земельных участков, расположенных вне населенного пункта, – 12,0 м.

Допускается несовмещение фиксированной границы земельного участка и границы административно-территориальной, территориальной единицы (сельского населенного пункта, поселка городского типа), установленной по планово-картографическим материалам, на величину, не превышающую предельное значение погрешности, указанное в части первой настоящего пункта.

В случае несовмещения границ на величину, превышающую предельное значение погрешности, исполнитель работ уведомляет об этом Минский городской, городской (городов областного, районного подчинения), районный, сельский, поселковый исполнительные комитеты в целях обеспечения внесения исправлений в единый реестр административно-территориальных и территориальных единиц Республики

Беларусь в отношении границы административно-территориальной, территориальной единицы.

В случае, если ранее была установлена нефиксированная граница земельного участка, то работы по установлению его фиксированной границы на местности могут быть выполнены по заявлению заинтересованного лица. Установление фиксированной границы земельного участка в таком случае выполняется на основании поручения Минского городского, городских (городов областного, районного подчинения), районных, сельских, поселковых исполнительных комитетов с приложением схематического плана границы земельного участка в соответствии с законодательством об охране и использовании земель.

В данном случае допускается изменение количества точек поворота границы земельного участка, их местоположения, а также длин линий границы земельного участка. При этом изменение площади земельного участка не допускается.

В случае добровольного отказа от части земельного участка и (или) добровольной передачи части земельного участка в государственную собственность установление границы изменяемого земельного участка производится только в отношении точек поворота его границы, которая изменяется в связи с добровольным отказом и (или) добровольной передачей части земельного участка.

В отношении точек поворота границы изменяемого земельного участка, в части которых граница не изменяется, не допускается изменение их местоположения и количества, а также длин линий границы земельного участка между такими точками.

Установление фиксированной границы земельного участка на местности проводится в присутствии:

- заинтересованного лица, за исключением случаев изъятия и предоставления земельного участка для проведения аукциона;
- землепользователя земельного участка, часть которого изымается, – при изъятии части земельного участка, за исключением изъятия земельного участка для государственных нужд;
- землепользователей смежных земельных участков, за исключением случаев, предусмотренных нормативными актами.

При установлении границы земельного участка, изымаемого для проведения аукциона, в качестве заинтересованного лица акт подписывается руководителем (его заместителем) структурного подразделения землеустройства Минского городского, городских (городов об-

ластного, районного подчинения), районных исполнительных комитетов или председателем сельского, поселкового исполнительного комитета.

При установлении границы земельного участка, изымаемого для государственных нужд, землепользователю, из земель которого производится такое изъятие, направляется уведомление об изменении границы этого участка в результате указанного изъятия с приложением земельно-кадастрового плана с нанесенной измененной границей.

При несогласии заинтересованного лица с устанавливаемой границей и (или) его отказе от подписания акта выполнения землеустроительных работ по установлению границы земельного участка прекращается.

Присутствие землепользователей смежных земельных участков при установлении фиксированной границы земельного участка на местности и подписание ими акта не требуется в случаях, если:

- смежный земельный участок находится в государственной собственности и не предоставлялся в установленном порядке землепользователям;
- устанавливаемая граница земельного участка совмещается с фиксированной границей смежного земельного участка, зарегистрированного в регистре недвижимости;
- установление границы земельного участка осуществляется на основании судебного постановления;
- установление границы земельного участка осуществляется по результатам рассмотрения земельного спора местным исполнительным комитетом или судом.

Ознакомление лиц, присутствующих при установлении фиксированной границы земельного участка на местности, с установленной границей земельного участка осуществляется путем визуального обозрения точек поворота границы земельного участка [5].

7.2. Установление фиксированной границы земельного участка

Установление фиксированной границы земельного участка предусматривает проведение подготовительных, полевых и камеральных работ.

Подготовительные работы включают сбор и изучение материалов, сведений и данных, необходимых для выполнения работ.

В процессе подготовительных работ по установлению фиксированной границы земельного участка исполнитель работ изучает следующие материалы, сведения и данные (при их наличии):

- материалы об изъятии и предоставлении, земельно-кадастровый план земельного участка или землеустроительные дела по установлению границ смежных земельных участков;

- утвержденный проект организации и застройки территории садоводческого товарищества, дачного кооператива или согласованные в установленном порядке план земельных участков, передаваемых в частную собственность, пожизненное наследуемое владение гражданам, постоянное пользование садоводческого товарищества, дачного кооператива, земельно-кадастровый план земельного участка – при установлении границ земельных участков, испрашиваемых для коллективного садоводства или дачного строительства;

- документы, являющиеся в соответствии с законодательством об охране и использовании земель основанием для оформления и выдачи документа, удостоверяющего право на земельный участок, находящийся в пользовании гражданина;

- сведения, материалы и данные ЗИС, геопортала, регистра недвижимости, реестра АТЕ и ТЕ, геоинформационного ресурса данных ДЗЗ, БД «Установление границ»;

- сведения о наличии пунктов геодезической сети (пунктов государственной геодезической сети, в том числе постоянно действующих геодезических пунктов, спутниковой системы точного позиционирования Республики Беларусь, пунктов геодезических сетей сгущения, созданных в развитие государственной геодезической сети, пунктов опорного геодезического обоснования, пунктов планового обоснования для целей землеустройства);

- материалы технической инвентаризации и (или) проверки характеристик недвижимого имущества (при их наличии);

- иные документы и материалы (при необходимости).

Полевые работы по установлению границы земельного участка включают:

- рекогносцировку местности;

- перенесение на местность и закрепление точек поворота границы земельного участка межевыми знаками соответствующего образца;

- проведение геодезических измерений с целью определения координат точек поворота границы земельного участка и осуществление их связи (привязки) с твердыми объектами местности;

– оформление и подписание акта.

При рекогносцировке местности устанавливаются наличие и сохранность межевых знаков границ смежных земельных участков и твердых объектов местности, с которыми производилась связь (привязка) точек поворота границ смежных земельных участков.

Для перенесения границы земельного участка на местность используются геодезические данные, полученные на основании разработанного проекта отвода земельного участка (когда его разработка предусмотрена законодательством), графических документов генерального плана объекта строительства (значения координат точек поворота границы земельного участка и (или) углов, длин линий), либо информация, содержащаяся на земельно-кадастровом плане границы земельного участка или в иных материалах.

В случае установления границы земельного участка по оси внутренних стен или перегородок капитального строения (здания, сооружения) прохождение такой границы определяется на основании технического паспорта или ведомости технических характеристик на такое капитальное строение (здания, сооружения).

При установлении фиксированной границы земельного участка в обязательном порядке используются координаты точек поворота ранее установленных границ смежных и вкрапленных земельных участков.

Граница земельного участка может переноситься на местность полярным методом от пунктов съемочного обоснования, иными геодезическими построениями, а также методом спутниковых измерений в режиме RTK с использованием ПДП ССТП.

Погрешность перенесения точек поворота границы земельного участка на местность по координатам, полученным на основании проектной документации на объект строительства, не должна превышать 0,1 м по каждой оси координат для этих точек поворота.

Закрепление перенесенных на местность точек поворота границы земельного участка производится межевыми знаками установленной формы, которые после их установки передаются для наблюдения за сохранностью заинтересованному лицу (рис. 7.1).

При выполнении работ по закреплению перенесенных на местность точек поворота границы земельного участка при замерзшем грунте или в населенных пунктах, садоводческих товариществах, дачных кооперативах установка межевых знаков производится без их внешнего оформления. В иных случаях внешнее оформление межевых знаков производится по заявлению заинтересованного лица.

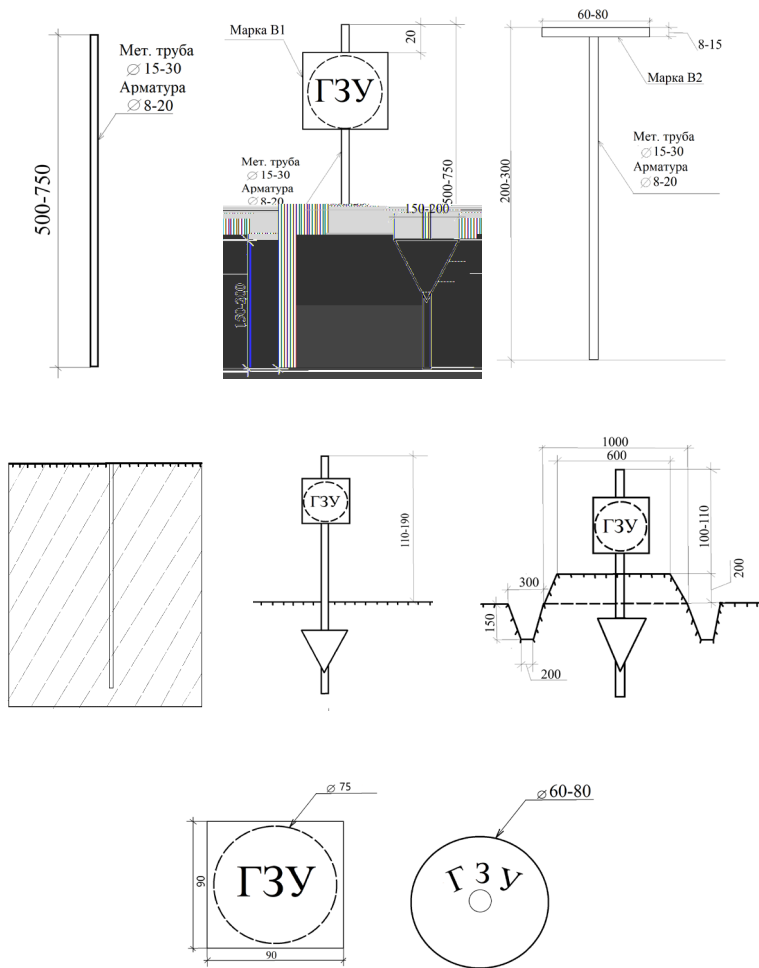


Рис. 7.1. Образец межевого знака (Размеры указаны в миллиметрах)

В местах, где межевые знаки могут создать неудобства в использовании земельного участка и не обеспечивается их сохранность, устанавливаются скрытые межевые знаки.

Не закрепляются на местности межевыми знаками точки поворота границ земельных участков, если ими являются углы (элементы) капитальных строений (зданий, сооружений), столбы или углы капитальных ограждений, бордюров.

При установлении границ земельных участков, предоставленных для строительства и обслуживания объектов инженерной и транспортной инфраструктуры, в том числе их составных частей и принадлежностей, а также границы земельного участка, являющейся смежной с границей земельного участка, предоставленного для ведения сельского хозяйства, в том числе подсобного сельского хозяйства, крестьянского (фермерского) хозяйства или лесного хозяйства, допускается разреженное (выборочное) закрепление точек поворота границ земельных участков межевыми знаками.

Минимальное расстояние между устанавливаемыми межевыми знаками в таком случае составляет 1,0 м.

При установлении границ земельных участков, представленных землями общего пользования садоводческих товариществ, дачных кооперативов, допускается не закреплять межевыми знаками точки поворота границ смежных земельных участков членов этих садоводческих товариществ, дачных кооперативов при наличии на местности установленного ограждения (его составных частей) по смежной границе этих участков.

Целесообразность разреженной установки межевых знаков определяется исполнителем работ по согласованию с заинтересованным лицом.

На асфальтированной или бетонированной поверхности точки поворота границ земельных участков могут закрепляться межевыми знаками в виде металлических дюбелей, арматуры, которые забиваются на уровне поверхности земли, за исключением случаев, когда их закрепление может привести к повреждению такой поверхности. Местоположение таких межевых знаков обозначается кругом диаметром 0,05–0,1 м, нанесенным краской белого, желтого, красного или синего цвета.

В случаях, когда закрепление точки поворота границы земельного участка межевым знаком может привести к повреждению поверхности сооружения или межевой знак не удается закрепить, ее местоположение обозначается кругом диаметром 0,05–0,1 м, нанесенным краской белого, желтого, красного или синего цвета.

Точки поворота границ земельных участков в местах, проходящих через капитальные строения (здания, сооружения), обозначаются на стене или отмостке этих сооружений знаком в виде круга диаметром 0,05–0,1 м, нанесенного краской белого, желтого, красного или синего цвета.

Если точки поворота границы смежного земельного участка закреплены ранее установленными и сохранившимися межевыми знаками, новые межевые знаки не устанавливаются.

После закрепления точек поворота границы земельного участка на местности производятся геодезические измерения и определение координат этих точек.

Выполнение работ по установлению границ земельного участка осуществляется в системе отсчета координат 1963 года (СК-63).

В населенном пункте, на территории которого установлена местная система отсчета координат, выполнение работ по установлению границы земельного участка на местности может осуществляться в установленной местной системе отсчета координат с последующим пересчетом координат точек поворота границы земельного участка из местной системы отсчета координат в СК-63.

При измерении углов и длин линий границы земельного участка геодезическими приборами без электронной памяти на бумажном носителе ведутся журнал и абрис полевых измерений. Если используются геодезические приборы, в том числе спутниковая геодезическая аппаратура, с электронной памятью, на бумажном носителе ведется только абрис.

В абрисе отображаются:

- номера точек поворота границы земельного участка и вид их закрепления на местности;
- длины линий привязки точек поворота к твердым объектам местности;
- контрольные измерения на местности;
- наименования землепользователей смежных земельных участков;
- иные сведения (при необходимости).

Журнал и (или) абрис подписываются исполнителем работ.

Если при ведении журнала наблюдений на бумажном носителе в записях отчетов или в вычислениях обнаружены ошибки, то ошибочные записи зачеркиваются и выполняются повторные наблюдения и вычисления. Исправления не допускаются.

Определение координат точек поворота границ земельных участков должно производиться с контрольными (повторными) измерениями.

Длины линий, измеряемые рулеткой в прямом и обратном направлениях, не должны превышать двойной длины мерного прибора.

Погрешности определения координат точек поворота границы земельного участка относительно ближайших геодезических пунктов, а также погрешности взаимного положения точек поворота, длин линий границы земельного участка не должны превышать значений, установленных нормативными актами.

Съемочные инструментальные ходы прокладываются между исходными геодезическими пунктами с предельной относительной погрешностью не более 1:2000. Допустимая угловая невязка β , в секундах, определяется по формуле:

$$\beta = 2t\sqrt{n}, \quad (7.1)$$

где t – точность угловых измерений прибора (не ниже 5 секунд);

n – количество измеренных углов.

Межевые знаки, установленные и закоординированные в соответствии с установленными требованиями, точки поворота границы земельного участка, не являющиеся капитальными строениями (зданиями, сооружениями), углами бордюра, столбами или углами капитального ограждения, в целях бесспорного опознавания их положения на местности подлежат связи (привязке) с твердыми объектами местности путем измерения линейных отрезков.

Между межевым знаком и твердыми объектами местности измеряются 3–4 линии с таким расчетом, чтобы углы при вершине линейной засечки составляли от 30° до 150°. При измерениях рулеткой длины линий, как правило, не должны превышать одной длины мерного прибора, а погрешность измерения длин линий не должна превышать 0,1 м.

В случае отсутствия на местности твердых объектов, расположенных на расстоянии менее 50 м, с которыми может быть произведена связь (привязка) установленного межевого знака, такая связь (привязка) осуществляется по возможности.

Связь (привязка) углов (элементов) капитальных строений (зданий, сооружений), углов бордюра, столбов или углов капитальных ограждений, являющихся точками поворота границ земельных участков, к твердым объектам местности не производится.

Наличие ограничений (обременений) прав на земельный участок определяется по наземным признакам при выполнении полевых работ, а также на основании сведений ЗИС, геопортала, БД «Установление границ», проектной документации на строительство объекта (в случае, если в отношении этого земельного участка осуществлялась разработка проекта отвода).

При необходимости после проведения геодезических измерений производится определение площади земельного участка (с использованием функций и программного обеспечения геодезического оборудования).

При выполнении камеральных работ по установлению границы земельного участка производится обработка результатов геодезических измерений, составляются каталог координат точек поворота границы земельного участка, схема связи (привязки) с твердыми объектами местности точек поворота границы земельного участка, план границы земельного участка; оформляются иные материалы землеустроительного дела.

Математическая обработка геодезических измерений завершается оценкой точности результатов измерений.

Результаты измерений (в том числе журнал полевых измерений, ведомости обработки полевых измерений), их урavnенные значения с оценкой точности, а также решения всех геодезических задач на бумажном носителе приобщаются к материалам землеустроительного дела по установлению границы земельного участка или материалам об изъятии и предоставлении земельных участков.

Поправка за наклон линии к горизонту в инструментальных ходах и засечках должна учитываться при величине угла наклона более $1,0^\circ$ на застроенной территории и более $1,5^\circ$ – на иных территориях.

После завершения обработки геодезических измерений составляется каталог координат точек поворота границы земельного участка. Каталог координат точек поворота границы земельного участка должен содержать следующие сведения:

- наименование землепользователя и адрес (местоположение) земельного участка;
- вид установленной границы земельного участка (фиксированная, нефиксированная);
- номера точек поворота границы земельного участка, вид их закрепления на местности;
- длины линий границы земельного участка;

- значения координат точек поворота границы земельного участка и информацию о системе отсчета координат, в которой они представлены;

- иные сведения (по усмотрению исполнителя работ).

Вычисление площади земельного участка осуществляется по координатам точек поворота границы земельного участка с округлением результата вычислений до 1 м^2 .

Допускается расхождение между площадями земельного участка, вычисленными в разных системах отсчета координат (СК-63, местная система отсчета координат, иная система отсчета координат), обусловленное геодезическими параметрами этих систем отсчета координат и свойствами их картографических проекций.

При наличии вкрапленных земельных участков площадь земельного участка определяется как разность значений общей площади земельного участка в установленных границах и площади вкрапленных контуров.

Предельная относительная погрешность определения площади земельного участка ΔP вычисляется по формуле:

$$\Delta P = \frac{2,5m_p}{P}, \quad (7.2)$$

где m_p – средняя квадратическая погрешность определения площади земельного участка, м;

P – площадь земельного участка, га.

Предельная относительная погрешность определения площади земельного участка обеспечивается проложением инструментальных ходов с допустимой относительной линейной невязкой $f_{\text{отс}}$, определяемой по формуле:

$$f_{\text{отс}} = \frac{f_{\text{abs}}}{S}, \quad (7.3)$$

где f_{abs} – абсолютная линейная невязка хода, м;

S – длина хода, км.

Предельная относительная погрешность определения площади земельного участка не должна превышать 1:1000 при установлении границы земельного участка, расположенного в границах г. Минска и областных центров, и 1:700 на иных территориях.

Масштаб плана границы земельного участка выбирается в зависимости от размера и конфигурации земельного участка с таким расчетом, чтобы на плане можно было отобразить все точки поворота границы этого земельного участка и вкрапленных земельных участков (рекомендуемые масштабы для плана границы 1:100, 1:500, 1:1000, 1:2000, 1:5000, 1:10 000). На плане границы земельного участка вкрапленные земельные участки допускается выносить из контура основного земельного участка на свободное место с использованием более крупного масштаба.

План границы земельного участка оформляется по соответствующей форме. На плане границы земельного участка должны быть отображены:

- граница земельного участка и точки ее поворота;
- номера точек поворота границы земельного участка и длины линий между этими точками поворота границы земельного участка, вычисленные по их координатам;
- границы и номера вкрапленных земельных участков (при наличии);
- границы и коды земель с ограничениями (обременениями) прав на земельные участки.

Границы земель с ограничениями (обременениями) прав на земельные участки отображаются штриховой линией, коды этих ограничений – синим цветом.

На плане границы земельного участка также указываются:

- площадь земель, предоставленных на соответствующем виде права, в гектарах;
- описание границ смежных, вкрапленных земельных участков;
- условные обозначения;
- масштаб плана;
- штамп исполнителя работ.

Схема связи (привязки) с твердыми объектами местности точек поворота границы земельного участка составляется на основании геодезических измерений. На земельные участки, имеющие большую площадь, такая схема может оформляться по звеньям границ на нескольких листах.

Вместо указанной схемы допускается оформлять фотопримечания с изображением точек поворота границы земельного участка, твердых объектов местности, к которым осуществляется связь (привязка), и

промеров от точек поворота границы земельного участка до твердых объектов местности.

Сведения об установленной границе земельного участка (подлежащего и не подлежащего государственной регистрации) вносятся в БД «Установление границ» организацией, эксплуатирующей ЗИС по месту нахождения земельного участка, в порядке, установленном владельцем геоportала.

Исполнитель работ формирует средствами геоportала электронный каталог координат точек поворота границы земельного участка, электронный каталог координат границы земель с ограничениями (обременениями) прав на земельный участок (при наличии), вносит необходимые атрибутивные сведения о нем и размещает на геоportале в электронном виде (в виде сканированных документов) материалы землеустроительного дела по установлению границы земельного участка, оформленные в соответствии с требованиями, а также устанавливает на геоportале статус информационного взаимодействия [5].

7.3. Восстановление фиксированной границы земельного участка

Работы по восстановлению фиксированной границы земельного участка выполняются на основании заявлений граждан, индивидуальных предпринимателей и юридических лиц, являющихся правообладателями в отношении земельных участков, границы которых восстанавливаются, а также на основании судебных постановлений или при решении земельных споров, связанных с границами земельных участков.

Работы по восстановлению фиксированной границы земельного участка в случае утраты (уничтожения) межевых знаков и границы должны обеспечивать определение местоположения границы земельного участка на местности в соответствии с материалами об изъятии и предоставлении земельного участка, землеустроительного дела по установлению границы земельного участка.

Восстановление фиксированной границы земельного участка заключается в отыскании на местности положения точек поворота ранее установленной фиксированной границы земельного участка, координаты которых определялись геодезическим способом, и закрепление при необходимости соответствующих точек новыми межевыми знаками взамен утраченных.

По заявлению заинтересованного лица может выполняться восстановление одной или нескольких точек поворота фиксированной границы земельного участка.

Восстановление нефиксированной границы земельного участка, а также границы земельного участка, координаты точек поворота которой определялись фотограмметрическим (аэрофотогеодезическим) или картометрическим способом, не производится.

Если определение координат точек поворота границы земельного участка производилось от пунктов съёмочного обоснования или планового обоснования, координаты которых определены в условной системе отсчета координат, графическим или фотограмметрическим (аэрофотогеодезическим) способом, и эти пункты утрачены, а также отсутствует возможность выполнения достаточного количества измерений для восстановления границы от твердых объектов местности, восстановление границы земельного участка не производится, работы по восстановлению границы земельного участка прекращаются.

В таком случае, выполняются работы по установлению фиксированной границы земельного участка в порядке, установленном нормативными актами.

Увеличение площади земельного участка в таком случае не допускается.

В случае отсутствия материалов об изъятии и предоставлении земельного участка или землеустроительного дела по установлению фиксированной границы земельного участка восстановление границы земельного участка может производиться на основании данных, содержащихся в материалах об изъятии и предоставлении земельных участков или землеустроительных делах по установлению фиксированных границ смежных земельных участков.

При утрате пунктов геодезической сети, пунктов планового обоснования для целей землеустройства, от которых было выполнено определение координат точек поворота фиксированной границы земельного участка, восстановление этой границы может производиться от иных близлежащих аналогичных пунктов или методом спутниковых измерений в режиме RTK с использованием сети ПДП ССТП.

Восстановление фиксированной границы земельного участка производится в присутствии землепользователя земельного участка или его представителя (в случае совершения действий от его имени).

Информация о дате проведения работ по восстановлению фиксированной границы земельного участка на местности доводится исполнителем работ до заинтересованного лица любыми доступными способами.

Ознакомление заинтересованного лица, присутствующего при восстановлении фиксированной границы земельного участка на местности, с восстановленной границей и сдача межевых знаков для наблюдения за сохранностью этому лицу осуществляются путем визуального обозрения точек поворота границы земельного участка и оформляются актом, который подписывается (при оформлении акта на электронном носителе с помощью компьютерного пера и устройства для ввода графической информации от руки непосредственно в компьютер) заинтересованным лицом.

Отказ заинтересованного лица от подписания акта не является основанием для прекращения данных работ.

Восстановление фиксированной границы земельного участка предусматривает проведение подготовительных, полевых и камеральных работ.

Восстановление фиксированной границы земельного участка выполняется на основании схемы связи (привязки) с объектами местности точек поворота границы земельного участка с геодезическим контролем восстановленных точек или геодезическим способом (в том числе с использованием координат) с контролем местоположения точек промерами от твердых объектов местности (по возможности).

При отсутствии возможности восстановления всех точек поворота границы на основании схемы связи (привязки) с объектами местности точек поворота границы земельного участка допускается производить восстановление оставшихся точек геодезическим способом от восстановленных по этой схеме связи.

В процессе подготовительных работ по восстановлению фиксированной границы земельного участка исполнитель работ изучает следующие документы и материалы:

- материалы об изъятии и предоставлении земельного участка или землеустроительное дело по установлению (восстановлению) границы земельного участка;
- материалы об изъятии и предоставлении земельных участков или землеустроительные дела по установлению фиксированных границ смежных земельных участков (при необходимости);
- копии правоудостоверяющих документов на земельный участок;
- сведения о наличии пунктов геодезической сети, пунктов съемочного обоснования, пунктов планового обоснования для целей землеустройства, необходимых для выполнения работ.

При наличии геодезических данных (координат) точек поворота фиксированной границы земельного участка отыскание положения

утраченных межевых знаков может производиться полярным методом от пунктов съемочного или опорного обоснования, а также методом спутниковых измерений в режиме RTK с использованием сети ПДП ССТП.

В случаях, когда межевые знаки не сохранились, а их отыскание проводилось геодезическим способом с контролем местоположения точек промерами от твердых объектов местности, новые межевые знаки устанавливаются в точках, положение которых определено геодезическими измерениями.

Измерение углов, длин линий и связь (привязка) межевых знаков с пунктами геодезической сети, в том числе сети ПДП ССТП, пунктами опорного или съемочного обоснования, пунктами планового обоснования для целей землеустройства, уточнение наличия ограничений (обременений) прав на земельный участок осуществляются по технологии, аналогичной применяемой при установлении фиксированных границ земельных участков.

Камеральные работы при восстановлении фиксированной границы земельного участка проводятся в порядке, предусмотренном для выполнения указанных работ при установлении фиксированной границы земельного участка. При этом внесение сведений о восстановленной границе земельного участка в БД «Установление границ» не требуется, за исключением случая нормализации границы земельного участка при ее восстановлении.

Оформленное исполнителем работ землеустроительное дело по восстановлению границы земельного участка направляется им в местный исполнительный комитет на хранение [5].

7.4. Установление нефиксированной границы земельного участка

Установление нефиксированных границ допускается для земельных участков:

- 1) расположенных за границами населенных пунктов и предоставленных сельскохозяйственным организациям, в том числе крестьянским (фермерским) хозяйствам, иным организациям, – для ведения сельского хозяйства, в том числе крестьянского (фермерского) хозяйства, а также для ведения подсобного сельского хозяйства; гражданам – для ведения крестьянского (фермерского) хозяйства; юридическим лицам, ведущим лесное хозяйство, – для ведения лесного хозяйства (за исключением случаев создания в установленном порядке зе-

мельных участков для обслуживания капитальных строений (зданий, сооружений), принадлежащих этим субъектам хозяйствования);

2) предоставленных для строительства и обслуживания линейных сооружений (газопроводов, нефтепроводов, нефтепродуктопроводов, воздушных и кабельных линий электропередачи, линий электросвязи, иных подобных сооружений), в том числе их наземных элементов (частей) и объектов, связанных с их строительством и (или) обслуживанием;

3) испрашиваемых для строительства и обслуживания эксплуатируемых мест погребения;

4) испрашиваемых гражданами для огородничества, сенокосения, выпаса сельскохозяйственных животных, строительства (установки) временных индивидуальных гаражей.

Установление нефиксированных границ земельных участков выполняется с использованием материалов, сведений и данных ЗИС, геопортала, геоинформационного ресурса данных ДЗЗ или ортофотопланов последнего срока создания, материалов и данных аэросъемки, полученных с применением беспилотного летательного аппарата. В случае различий в состоянии местности на указанных картографических материалах приоритет имеют материалы, созданные (обновленные) на последнюю дату перед выполнением работ.

Использование материалов и данных аэросъемки, полученных с применением беспилотных летательных аппаратов (БЛА), может осуществляться в случаях:

– отсутствия на материалах и данных ЗИС, геопортала, геоинформационного ресурса данных ДЗЗ, ортофотопланах последнего срока создания объектов (строений, зданий, сооружений), для строительства и обслуживания которых испрашивается земельный участок;

– изменения на местности по сравнению с отображением на цифровых картографических материалах местоположения объектов (строений, зданий, сооружений), для строительства и обслуживания которых испрашивается земельный участок;

– отсутствия доступа на местности к земельному участку или объектам (строениям, зданиям, сооружениям), для строительства и обслуживания которых испрашивается земельный участок, и невозможности проведения полевого обследования или выборочных геодезических измерений для выполнения работ (наличие водных объектов, заболоченных земель, посевов сельскохозяйственных культур, снежного покрова, иное).

Установление нефиксированной границы земельного участка предусматривает проведение подготовительных и камеральных работ. При необходимости может осуществляться полевое обследование земельного участка на местности.

Координаты точек поворота нефиксированной границы земельного участка могут определяться картометрическим, фотограмметрическим или аналитическим способами.

Подготовительные работы по установлению нефиксированной границы земельного участка включают сбор, систематизацию, изучение документов и материалов, на основании которых предоставлен земельный участок, а также цифровых картографических материалов, сведений регистра недвижимости, реестра АТЕ и ТЕ, лесоустроительных проектов, схем и проектов землеустройства, материалов об изъятии и предоставлении смежных и вкрапленных земельных участков, землеустроительных дел по установлению границ смежных земельных участков, материалов технической инвентаризации и (или) проверки характеристик недвижимого имущества.

При необходимости получения материалов и данных аэросъемки с применением БЛА проводятся дополнительные работы, связанные с получением этих материалов (подготовительные, летно-съемочные работы, создание наземного планово-высотного обоснования (при необходимости), обработка результатов аэросъемки).

Перенесение границы земельного участка, на цифровые картографические материалы производится путем непосредственного опознавания на цифровых картографических материалах точек поворота и линий границы земельного участка или их построения на основе опознаваемых на цифровых картографических материалах объектов местности.

Перенесение границы земельного участка на цифровые картографические материалы производится с использованием программного обеспечения ЗИС или программных средств (инструментов) геопортала, обеспечивающих координатную привязку цифровых картографических материалов и топологическую корректность построений границ земельных участков.

Определение координат точек поворота границы земельного участка производится в результате ее цифрования в соответствии с требованиями технических нормативных правовых актов, регламентирующих порядок создания и ведения (эксплуатации, обновления) ЗИС или с использованием программных средств геопортала.

Нефиксированная граница земельных участков, указанных в пунктах 2) и 4), устанавливается с погрешностью опознавания границ контуров и иных объектов, которая составляет:

2 м – для территорий (земель), расположенных в границах городов, поселков городского типа, сельских населенных пунктов, садоводческих товариществ, дачных кооперативов;

5 м – для иных территорий (земель).

Нефиксированная граница земельных участков, указанных в пункте 3), определяемая на основании проектной документации на строительство объекта, устанавливается с погрешностью 1 мм в масштабе плана, содержащегося в проектной документации (генеральном плане объекта строительства, сводном плане инженерных сетей, разбивочном плане), материалах исполнительной или топографической съемки, технической инвентаризации и (или) проверки характеристик недвижимого имущества.

Нефиксированная граница земельного участка, определяемая по материалам и данным аэросъемки, полученным с применением БЛА, устанавливается с погрешностью плана масштаба 1:500.

Камеральные работы при установлении нефиксированной границы земельного участка, указанного в пунктах 3) и 4), проводятся в порядке, предусмотренном для выполнения работ при установлении фиксированной границы земельного участка.

По результатам цифрования границы земельного участка, указанного в пункте 2), создается электронный каталог координат.

Вычисление площади земельного участка, а также площадей вкрапленных земельных участков и земель с ограничениями (обременениями) прав на земельные участки производится в порядке, предусмотренном для выполнения указанных работ при установлении фиксированной границы земельного участка.

На плане границы земельного участка, указанного в пункте 2), отображаются:

- граница земельного участка;
- номера земельных участков и их площади (при отображении нескольких земельных участков);
- границы и номера вкрапленных земельных участков и наименования землепользователей этих участков (при наличии);
- границы и коды земель с ограничениями (обременениями) прав на земельные участки;
- масштаб плана;
- штамп исполнителя работ.

План границы земельного участка сохраняется в электронном виде в формате pdf.

Ограничения (обременения) прав на земельные участки определяются на основании сведений, содержащихся в документах и материалах, собранных на стадии подготовительных работ и полевого обследования земельного участка (если оно проводилось).

При наличии ограничений (обременений) прав на земельные участки составляются сведения об ограничениях (обременениях) прав на земельные участки в порядке, предусмотренном для выполнения указанных работ при установлении фиксированной границы земельного участка.

Сведения об установленной границе земельного участка вносятся в БД «Установление границ» организацией, эксплуатирующей ЗИС по месту нахождения земельного участка, в порядке, предусмотренном для выполнения указанных работ при установлении фиксированной границы земельного участка.

По окончании камеральных работ оформляется землеустроительное дело по установлению границы земельного участка [5].

7.5. Подготовка данных для перенесения проекта на местность

Топографо-геодезические работы, выполняемые на территориях поселков и сельских населенных пунктов, состоят в:

- производстве крупномасштабных съемок 1:500 – 1:5000;
- составлении топографической основы в виде планов, карт и профилей для разработки проектов планировки и застройки (реконструкции, расширения) поселков, и сельских населенных мест;
- основной метод составления планов – аэрофотосъемка;
- наземные методы применяются при съемках в масштабах 1:500 и 1:1000, а при нецелесообразности использования аэрофотосъемки – и в масштабах 1:2000 и 1:5000.

Основой для разработки генеральных планов сельских населенных мест, составления проектов служит проект районной планировки и текстовый материал.

В процессе инженерно-геодезических изысканий подготавливается генеральный план сельского населенного места, совмещенный с проектами детальной планировки, при которой на план наносят проектируемые красные линии участков жилой и общественной застройки, зеленых насаждений, приусадебных и приквартирные участки, хозяй-

ственные постройки личного подсобного хозяйства, хозяйственные проезды, скотопрогоны и т. д.

При составлении проектов планировки применяют графический и графоаналитический методы.

Рассмотрим подготовку аналитическим и графическим способами исходных данных для перенесения на местность проектных точек a и b линейного сооружения от ближайших пунктов A и B геодезической сети (рис.7.2).

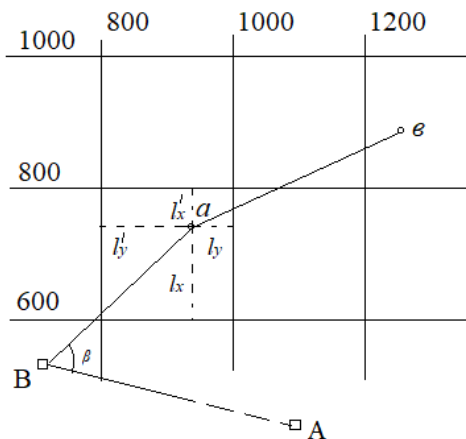


Рис.7.2. Подготовка исходных данных для перенесения проектных точек на местность

Подготовка исходных данных заключается в определении направления на проектную точку a с пункта геодезической сети B и расстояния между ними, которые характеризуют их взаимное положение.

При аналитической подготовке исходных данных по проектному плану графическими измерениями определяют координаты проектной точки a .

$$x_a = 600 + \frac{L}{l_x + l'_x} \cdot l_x; \quad (7.4)$$

$$y_a = 800 + \frac{L}{l_y + l'_y} \cdot l_y.$$

где L – теоретическая длина стороны квадрата координатной сетки.

Решая обратную геодезическую задачу, вычисляют дирекционный угол α_{Ba} и S_{Ba} .

Вычисляют угол:

$$\beta = \alpha_{BA} - \alpha_{Ba} \quad (7.5)$$

При аналитическом способе подготовки, углы вычисляют с точностью до 0,1, а линии – до 0,01 м.

Если на территории сохранилось мало пунктов геодезической сети и проектные точки удалены от них на значительные расстояния, для перенесения проекта на местность намечают проектный теодолитный ход.

Графический способ подготовки данных включает следующие действия:

- 1) контрольными измерениями на проектном плане определяют (уточняют) положения пунктов геодезической опоры;
- 2) пункты геодезической сети (четкие контурные точки) соединяются тонкими линиями с проектными точками;
- 3) на проектном плане измеряют углы и длины линий дважды.

Решением обратных геодезических задач находят дирекционные углы, длины линий и внутренние углы.

Подготовка геодезических данных для перенесения проекта на местность завершается составлением рабочего чертежа.

7.6. Методы определения положения границ земельных участков и их точность

При определении положения границ земельных участков используются различные методы. Одним из наиболее часто употребляемых методов является метод обхода, который заключается в проложении по граничным точкам полигонометрических ходов.

Геодезический способ установления и восстановления границ применяется при отсутствии качественных материалов аэрофотосъемки и исполнительных съемок в масштабах 1:500 и 1:1000. В этом случае используют различные методы.

Метод обхода. Одним из наиболее часто употребляемых методов является метод обхода, т. е. проложение по граничным точкам полигонометрических или теодолитных ходов. При этом возможны различные геометрические схемы построения ходов. Некоторые из них показаны на рис. 7.3.

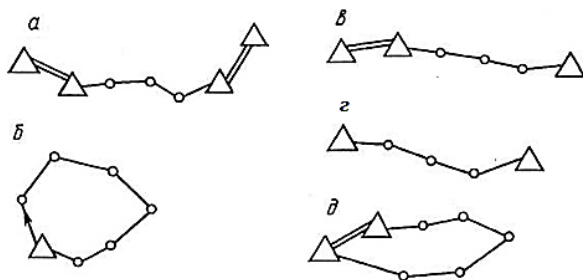


Рис. 7.3. Схемы ходов и полигонов

Для измерения углов и направлений при установлении и восстановления границ предоставленного земельного участка используют оптические теодолиты, а также электронные теодолиты и тахеометры. Полигонометрические и теодолитные ходы по восстанавливаемым или определяемым границам прокладывают в случаях отсутствия или недостаточной точности геодезических данных.

При проложении теодолитных ходов следует соблюдать требования, приведенные в табл. 7.1 и 7.2.

Таблица 7.1. Предельная длина теодолитного хода, км

Масштаб плана (съёмки)	Предельная абсолютная невязка	Открытая местность, застроенная территория			Закрытая местность, незастроенная территория	
		1/T=1/3000	1/T=1/2000	1/T=1/1000	1/T=1/2000	1/T=1/1000
1:10000	5,0	18,0	12,0	6,0	18,0	9,0
1:5000	2,5	9,0	6,0	3,0	9,0	4,5
1:2000	1,0	3,5	2,5	1,2	3,5	1,8
1:1000	0,5	1,8	1,2	0,6	1,8	1,0
1:500	0,3	0,9	0,6	0,3	0,6	–

Таблица 7.2. Показатели теодолитных ходов

Основные показатели	Знаменатель относительной ошибки		
	300	2000	1000
Средняя квадратическая погрешность измерения угла (по невязкам в ходах, полигонах), сек, не более	15	20	30
Угловая невязка в ходах или полигонах, сек, не более (n – число углов в ходе или полигоне)	$30\sqrt{n}$	$40\sqrt{n}$	$60\sqrt{n}$

1	2	3	4
Длина сторон хода, км:			
– наименьшая	0,08	0,05	0,02
– наибольшая	0,80*	0,50*	0,35*
* При измерений линий электронными тахеометрами или сведальными приборами предельные длины сторон не устанавливаются, однако следует избегать перехода от наименьших сторон к наибольшим			
Число сторон в ходе, не более	20	30	40
Средняя квадратическая погрешность измерения длины стороны, см, не более	5	7	10

Допускается проложение теодолитных ходов с допустимыми относительными невязками:

$$1/T = fs/[S], \quad (7.6)$$

равными 1:3000, 1:2000, 1:1000 в зависимости от требуемой точности, условий местности и наличия приборов.

Длина теодолитного хода между узловыми точками или между исходной и узловой точкой должна быть на 30 % меньше значений, приведенных в табл. 7.1 и 7.2, а между исходными пунктами в сети она может быть на 30 % больше.

Длины линий в теодолитных ходах не должны быть меньше 20 м на застроенной территории и 40 м на незастроенной территории. Максимальные длины линий при измерении электронными тахеометрами не ограничиваются (оптимальные длины 1,0–1,5 км), а при измерении их стальными рулетками и лентами не должны превышать 400 м.

Поправка за наклон линии к горизонту должна учитываться при величине угла наклона более 1,0° в городах и более 1,5° – во всех других случаях.

При проложении теодолитных ходов ошибки центрирования прибора над точкой и редукции не следует допускать более 10 мм при максимальных сторонах и 3 мм – при более коротких сторонах.

Полярный метод. В землеустроительной практике широко используется полярный метод определения положения граничных точек (рис. 7.4). Однако его применение требует особой тщательности и аккуратности при проведении работ. Это объясняется отсутствием в данном методе объективного контроля измерений.

Передача координат в полярном методе с пункта A с известными координатами (X_A, Y_A) и дирекционным направлением (α_{AB}) , на определенный пункт P (межевой знак, контурную точку) осуществляется по измеренному на пункте A полярному углу φ и по длине линии $AB = S$, измеренного электронным тахеометром, мерным прибором (рулеткой, лентой).

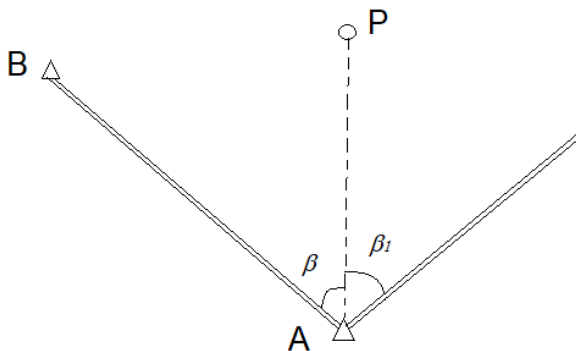


Рис. 7.4. Полярный метод

В полярном методе координаты определяемого пункта вычисляются по известным формулам:

$$\begin{aligned} X_P &= X_A + S \cos(\alpha_{AB} + \beta) \\ Y_P &= Y_A + S \sin(\alpha_{AB} + \beta), \end{aligned} \quad (7.7)$$

а средняя квадратическая ошибка определяемого пункта P относительно исходного A будет определяться величиной:

$$M_P = \sqrt{m_s^2 + S_{AP}^2 \cdot \frac{m_\beta^2}{\rho^2}}, \quad (7.8)$$

где m_s, m_β – соответственно средние квадратические ошибки полярного расстояния S и полярного угла β ;
 ρ – число угловых секунд или минут в радиане.

В формуле (7.8) не учитываются систематические ошибки измерений, ошибки наведения и центрирования и т. д. Более надежную оценку точности можно получить по результатам вычисления координат поворотных точек участка, используя формулу (7.9).

$$m = \sqrt{\frac{\sum (\Delta X^2 + \Delta Y^2)}{n}},$$

$$\Delta X = X_1 - X_2,$$

$$\Delta Y = Y_1 - Y_2 \quad (7.9)$$

где X_1, X_2, Y_1, Y_2 – координаты поворотных точек участка, вычисленные с пунктов 1 и 2 теодолитного хода.

Предельные длины полярных расстояний, измеренные только с исходного пункта на определяемый, не должны превышать значений, приведенных в табл. 7.3, при измерении полярных углов β и β_1 . Но определенные таким путем точки, не должны включаться в каталог координат сгущения.

Таблица 7.3. Предельные длины полярных расстояний, м

Масштаб плана	Среднее квадратические погрешности углов, с и расстояний, см				
	10, 2 см	20, 2 см	20, 5 см	20, 10 см	30, 20 см
1:10000	3000	2000	1000	500	250
1:5000	2000	1000	500	250	125
1:2000	1000	500	300	150	50
1:1000	500	225	150	75	–
1:500	225	150	100	–	–

При определении координат пункта P полярным методом независимо от двух исходных пунктов A и B измерения следует выполнять с точностью указанной в табл. 7.2, а предельные длины допускается увеличивать на 40 %. В этом случае определяемый пункт можно отнести к пунктам сетей сгущения соответствующего разряда и включать в каталог координат, если средняя квадратическая ошибка измерений полярных углов не превышает 10".

Там, где по условиям видимости невозможно определение координат точки P с двух исходных пунктов, а обеспечение контрольных измерений обязательно, необходимо использовать способы:

- контрольных углов или линий;

- сдвоенных пунктов;
- дополнительного пункта.

Способ контрольных углов заключается в дополнительных измерениях углов по границам землепользования через три межевых знака (точки), координаты которых определены полярным методом путем измерения полярного угла и расстояния. Так, в шестиугольнике (рис. 7.5) потребуется измерение двух, а не всех шести углов. Вместо двух контрольных углов γ_1 и γ_2 можно измерить три контрольные стороны (S_1, S_2, S_3). Кроме этого, контрольные величины могут выступать и в их комбинациях.

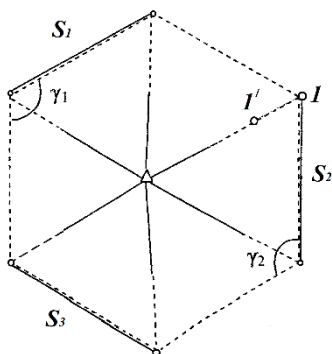


Рис. 7.5. Способ контрольных углов

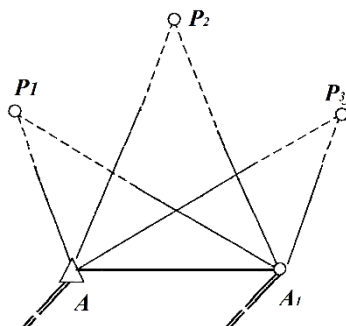


Рис. 7.6. Способ дополнительного пункта

В случаях, когда видимость между смежными пунктами не обязательна (граница проходит по обочинам дорог, канав и т. п.), с целью контроля геодезических определений можно воспользоваться сдвоенными пунктами. Для этого на межевом знаке I устанавливают отражатель и на него электронным тахеометром производят измерения. После этого отражатель перемещается в сдвоенный пункт I' , на него выполняют измерения и определяют координаты. Решая обратную геодезическую задачу по координатам точек I и I' , вычисляют расстояние между ними. Полученное расстояние сравнивают с измеренным. Предельная разность значений измеренной (контрольной) и вычисленной стороны допускается равной относительной невязке теодолитного хода точности 1:1000. Для контрольных углов предельные значения разностей не должны превышать 120° при длинах сторон до 200 метров и 90° – более 200 метров.

Сущность дополнительного пункта заключается в определении положения точек полярным методом с двух пунктов (рис. 7.6) – основного (исходного) A и дополнительного A_1 и выбираемого рядом с основным (на расстоянии 5–20 метров от него). Координаты дополнительного пункта получают путем передачи с основного пункта полярным методом. Расстояние AA_1 следует измерить в прямом и обратном направлениях.

Для планового определения выбранных точек P_i с обоих исходных пунктов (основного и дополнительного) наблюдают направления и измеряют расстояния. Таким образом, каждую точку определяют дважды. Контролем измерений служит сходимостъ координат в пределах точности принятого масштаба плана. В качестве окончательных координат принимают их среднее значение.

Геодезические засечки. Геодезические засечки – наиболее распространенный метод определения планового и высотного положения точек на местности в геодезической и землеустроительной практике. Засечки делают на прямые, обратные, комбинированные, угловые, линейные, линейно-угловые и т.п.

Прямая угловая засечка заключается в определении координат точки по измеренным на исходных пунктах горизонтальным углам. Прямые угловые засечки выполняются не менее чем с трех исходных пунктов или узловых межевых знаков так, чтобы углы между направлениями на определяемую точку (знак) были не менее 30° и не более 150° .

Обратная угловая засечка заключается в определении координат точки по измеренным на ней горизонтальным углам. Обратные угловые засечки выполняются не менее чем по четырем исходным пунктам так, чтобы определяемая точка не находилась вблизи окружности, проходящей через любые три исходных пункта. Способ обратных засечек обладает преимуществами при работе в открытой и полузакрытой местности с большим числом удаленных или труднодоступных пунктов.

Комбинированные угловые засечки встречаются при выполнении геодезических работ в сложных условиях, когда из-за ограниченной видимости или удаленности и недоступности исходных пунктов нет возможности применить прямые и обратные угловые засечки. В таких случаях положение искомого пункта можно найти по углам β_1 и β_2 измеренным на исходном и определяемом пунктах.

Общее решение комбинированных угловых засечек основано [14] на отыскании точек пересечения прямой, проведенной под углом β_1 к исходной стороне, и окружности, вмещающей измеренный на определенном пункте угол β_2 (рис. 7.7, а), т. е. на совместном решении уравнений:

$$\begin{aligned} (Y_p - Y_A) - (X_p - X_A) \cdot \operatorname{tg} \alpha_{AP} &= 0, \\ (Y_p - Y_0)^2 + (X_p - X_0)^2 - R^2 &= 0, \end{aligned} \quad (7.10)$$

где $\alpha_{AP} = \alpha_{AB} + \beta_1$ - дирекционный угол линии AP ;

X_A, Y_A - координаты исходного пункта, на котором измерен угол β_1 ;

X_0, Y_0 и R - координаты центра окружности и ее радиус;

X_p, Y_p - координаты определяемой точки.

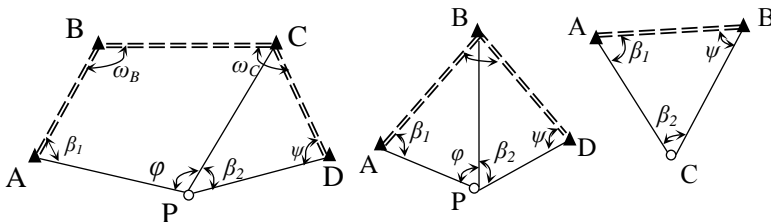


Рис. 7.7. Комбинированные угловые засечки

Координаты точек пересечения прямой с окружностью вычисляют по формулам:

$$\begin{aligned} X_p &= (X_0 + \Delta \sin \alpha_{AP}) \pm \sqrt{R^2 - \Delta^2} \cdot \cos \alpha_{AP}; \\ Y_p &= (Y_0 + \Delta \cos \alpha_{AP}) \pm \sqrt{R^2 - \Delta^2} \cdot \sin \alpha_{AP}, \end{aligned} \quad (7.11)$$

где

$$\begin{aligned} \Delta &= (Y_0 - Y_A) \cdot \cos \alpha_{AP} - (X_0 - X_A) \cdot \sin \alpha_{AP}; \\ X_0 &= \frac{1}{2} [(X_C + X_D) + (Y_C - Y_D) \cdot \operatorname{ctg} \beta_2]; \\ Y_0 &= \frac{1}{2} [(Y_C + Y_D) - (X_C - X_D) \cdot \operatorname{ctg} \beta_2]; \\ R &= \frac{S_{CD}}{2 \sin \beta_2}. \end{aligned} \quad (7.12)$$

В формулах (7.11) принято, что X_C , Y_C и X_D , Y_D – координаты исходных пунктов, направления на которые образуют угол β_2 . В частных случаях комбинированной угловой засечки (рис. 7.7, б, в) вместо пунктов C и D необходимо брать те исходные пункты, которые использовались при измерении угла β_2 .

При решении комбинированных угловых засечек по приведенным выше формулам вычисляются координаты двух точек пересечения прямой с окружностью.

Точность комбинированных угловых засечек определяется по формулам, полученным на основании теории градиентов [26], т. е.

$$\begin{aligned} m_{X_p} &= \frac{m_\beta}{\rho \sin \tau} \sqrt{S_{AP}^2 \cdot \sin^2 \alpha_2 + \frac{S_{CP}^2 S_{DP}^2}{S_{CD}^2} \sin^2 \alpha_1}; \\ m_{Y_p} &= \frac{m_\beta}{\rho \sin \tau} \sqrt{S_{AP}^2 \cdot \cos^2 \alpha_2 + \frac{S_{CP}^2 S_{DP}^2}{S_{CD}^2} \cos^2 \alpha_1}; \\ m_{p_{\text{изм}}} &= \sqrt{m_{X_p}^2 + m_{Y_p}^2} = \sqrt{S_{AP}^2 + \frac{S_{CP}^2 S_{DP}^2}{S_{CD}^2}}, \end{aligned} \quad (7.13)$$

где $\alpha_1 = \alpha_{AP} + 90^\circ$ – направление градиента угла β_1 ;

$\alpha_2 = \alpha_{PC} + \alpha_{PD} - \alpha_{CD} + 90^\circ$ – направление градиента угла β_2 ;

$\tau = \alpha_2 - \alpha_1$ – угол засечки;

α_{ij} и S_{ij} – дирекционные углы и длины линий между пунктами i и j ;

где φ – угол между линиями PC и PA (см. рис. 7.7, а).

Приведенные схемы угловых засечек не имеют избыточных измерений, поэтому на практике для повышения точности и контроля полевых работ необходимо измерять дополнительные направления на исходные пункты, расстояния между определяемыми пунктами и т.п. Наличие избыточных измерений в системах засечек, создаваемых из различных схем однократных засечек, позволяет широко их использовать при топографо-геодезических и инженерно-геодезических работах.

Применение систем геодезических засечек в условиях открытой и полузакрытой местности имеет ряд достоинств:

1. Широкое использование хорошо видимых, но удаленных или труднодоступных исходных пунктов.

2. Наблюдение минимального числа направлений с определяемых пунктов на исходные.

3. Возможность передачи дирекционного угла по направлениям, связывающим определяемые пункты.

4. Уменьшение объема полевых и камеральных работ по сравнению с традиционными методами построения плановых геодезических сетей.

5. Надежный контроль выполнения полевых работ [26].

7.7. Методы сгущения государственной геодезической сети с разреженной привязкой границ земельных участков

При построении геодезических сетей сгущения на территориях сельскохозяйственных организаций и предприятий с интенсивным ведением сельского хозяйства учитывают, что пункты таких сетей должны обеспечить выполнение текущих и перспективных работ для землеустройства, мелиорации, сельского строительства. В частности, пункты геодезических сетей сгущения должны обеспечить проведение следующих мероприятий:

- учет земель;
- восстановление утраченных и проложение новых границ землепользований;
- отвод земель предприятиям и организациям;
- топографическую съемку участков местности в крупных масштабах для проектирования мелиоративных, культурно-технических, противозерозионных и других мероприятий;
- перенесение на местность проектов землеустройства и мелиорации;
- обновление и корректировку картографических материалов наземными методами;
- привязку опознаков при выполнении аэрофотосъемочных работ.

Сущность технологии создания геодезических сетей сгущения в комплексе с разреженной привязкой границ землепользования состоит в закреплении и геодезическом определении планового положения опорных межевых знаков, располагаемых на стыках землепользования с учетом каждого ответвления границ, в характерных изгибах границ через каждые 3–5 км и на обособленных участках.

Опорные межевые знаки устанавливают группами по три-четыре знака (рис. 7.8) и определяют с точностью, соответствующей геодезическим сетям сгущения. Целесообразность установки групп из трех-четырех знаков обусловлена тем, что в случае утраты одного-двух из них, оставшиеся могут быть использованы в качестве исходных пунктов для проложения теодолитных ходов с целью решения различных геодезических задач.

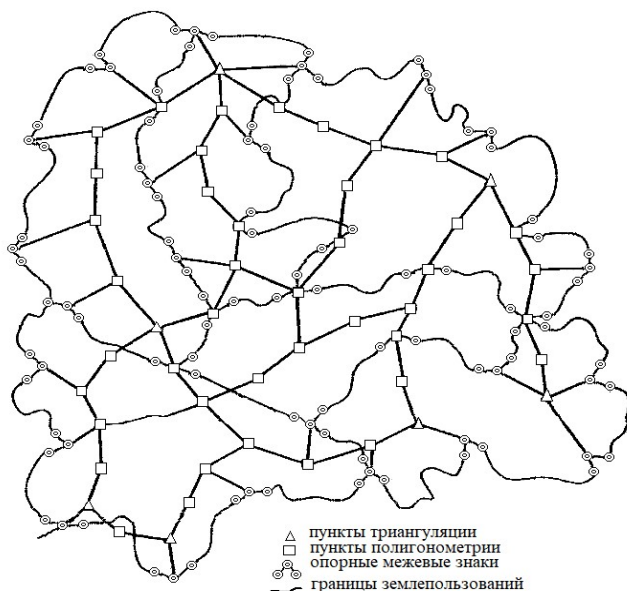


Рис. 7.8. Схема создания геодезических сетей сгущения в комплексе с разреженной привязкой границ землепользований

Расположение геодезических пунктов на границах, преимущественно на стыках землепользования, целесообразно по следующим соображениям:

во-первых, в этих местах обычно не выполняется механизированная обработка земли, поэтому обеспечивается их долговременная сохранность;

во-вторых, такое расположение пунктов наиболее экономично, так как обеспечивает геодезической опорой несколько смежных хозяйств;

в-третьих, они являются юридическими знаками, обозначающими на местность границы нескольких смежных хозяйств.

Положение опорных межевых знаков, в зависимости от физико-географических условий местности и наличия в районе работ пунктов государственной геодезической сети, может быть определено с применением электронных тахеометров:

- полигонометрическими ходами 4 класса (1:25000) – 1 разряда (1:10000), непосредственно прокладываемыми по границам землепользований, включая в ходы только опорные межевые знаки (если обеспечивается видимость на расстоянии 1 – 1,5 км), являющиеся оптимальными для применения электронных тахеометров (рис. 7.9, а);

- полярным или лучевым способами с пунктов полигонометрии 4-класса – 1 разряда, прокладываемой вдоль границ землепользования между пунктами триангуляции (рис. 7.9,б);

- теми же способами с пунктов триангуляции, расположенных поблизости (1–3 км) от границ землепользования в открытых всхолмленных районах (рис. 7.9,в);

- комбинациями построений из перечисленных способов.

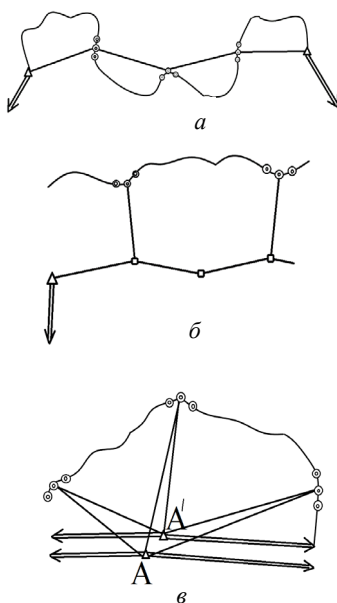


Рис. 7.9. Схемы определения положения опорных межевых знаков:
 а – проложением полигонометрического хода; б – полярным способом с пунктов полигонометрии; в – лучевым способом с пунктов триангуляции

Остальные межевые знаки (звенья границ) в промежутках между опорными определяют тремя методами:

- графически, путем вставки звеньев границ, определяемых по фотопланам и удостоверениям права пользования землей, между опорными межевыми знаками, если геодезические данные по границам отсутствуют;

- аналитически, путем перевычисления геодезических данных прошлых лет в единую систему координат с использованием координат опорных межевых знаков в качестве исходных;

- инструментально, проложением теодолитных ходов между опорными межевыми знаками, если возникает необходимость восстановления на местности межевых знаков.

Точность измерений для определения планового положения опорных межевых знаков должна быть такой, чтобы предельные ошибки положения этих знаков относительно пунктов государственной геодезической сети не превышали 0,4 м.

Предельные ошибки взаимного положения опорных межевых знаков, расположенных на расстояниях 3-5 км друг от друга, не должны превышать 0,5 м. Смежные (два-три) опорные межевые знаки должны быть определены относительно исходного с предельной ошибкой не более 0,1 м.

Мероприятия по восстановлению границ землепользований желательно проводить по принципу от общего к частному.

Это означает, что сначала целесообразно восстановить границы районов, а затем – землепользований сельскохозяйственных, промышленных и других предприятий [26].

7.8. Установление границ административно-территориальных и территориальных единиц. Оцифровка границ, определение периметра и площади

Под установлением границ понимается комплекс работ, включающий сбор имеющихся данных, нанесение этих границ на топографические карты, полевое обследование (при необходимости), согласование, камеральное определение координат точек поворота, вычисление периметра границ, площадей административно-территориальных (территориальных) единиц, подготовку материалов по установлению границ и юридическое их оформление.

В процессе выполнения работ подлежат установлению границы:

- административно-территориальных единиц (областей, районов, сельсоветов, а также городов и поселков городского типа, в которых созданы местные Советы депутатов, исполнительные и распорядительные органы);

- территориальных единиц, в том числе:
 - городов и иных населенных пунктов, в которых не созданы Советы депутатов, исполнительные и распорядительные органы;
 - территорий специального режима использования, имеющих закрепленные за ними пространственные пределы и наименование (заповедников, национальных парков, заказников республиканского и местного значения, территорий памятников природы республиканского и местного значения, территорий памятников истории, культуры и архитектуры, свободных экономических зон, территорий оборонного назначения).

Подготовительные работы по установлению границ административно-территориальных и территориальных единиц Республики Беларусь, данные о которых в Едином реестре отсутствуют, включают сбор и анализ правовых, земельно-кадастровых, картографических и других сохранившихся документов и материалов, касающихся объектов регистрации.

Для выполнения работ по установлению границ используются следующие картографические материалы:

- карты административно-территориального деления Республики Беларусь;
- карты землепользований района масштаба 1:50 000;
- данные Единого реестра (каталог координат поворотных точек границ, дежурные кадастровые карты);
- генеральные планы населенных пунктов;
- лесоустроительные планы;
- землеустроительные планы с границами сельских населенных пунктов;
- топографические карты, планы и фотопланы масштабов 1:50 000, 1:25 000, 1:10 000, 1:5000–1:500 последнего срока обновления;
- карты делимитации государственных границ Республики Беларусь и материалы демаркации границ Республики Беларусь (при необходимости).

Кроме того, собираются геодезические данные по границам административно-территориальных и территориальных единиц Республики Беларусь, а также по границам земельных участков собственников,

землевладельцев и землепользователей, совпадающим с границами указанных административно-территориальных (территориальных) единиц.

Составляется схема размещения листов топографических карт.

По всем административно-территориальным и территориальным единицам Республики Беларусь подбираются данные по площадям земель.

Собранные документы и материалы изучаются и оцениваются с точки зрения достоверности и полноты, пригодности для использования. По возможности устраняются противоречия и разночтения.

В случае изменения установленных ранее границ административно-территориальной (территориальной) единицы Республики Беларусь в процессе подготовительных работ запрашиваются данные последней по времени регистрации в Едином реестре и иные документы.

После завершения подготовительных работ по сбору и анализу правовых документов и картографических материалов на топографические карты и карты землепользований района масштаба 1:50 000 наносят границы областей, районов, сельсоветов, городов, иных населенных пунктов и территорий специального режима использования, соответствующие имеющимся административным актам.

Масштаб топографических карт устанавливается в зависимости от типа административно-территориальной (территориальной) единицы Республики Беларусь, а для территорий специального режима использования – в зависимости и от правового положения земель:

- для областей, районов, сельсоветов – 1:10 000;
- для городов областного, районного подчинения и поселков городского типа – 1:2000;
- для сельских населенных пунктов – 1:2000 или 1:10 000;
- для территорий специального режима использования, образованных с изъятием земель у землевладельцев и землепользователей, на землях населенных пунктов – 1:2000 или 1:10 000, на землях других категорий – 1:10 000;
- для территорий специального режима использования, образованных без изъятия земель у землевладельцев и землепользователей, на землях населенных пунктов – 1:2000 или 1:10 000, на землях других категорий – 1:50 000.

Если информация о границах района, сельсовета, населенного пункта или территории специального режима использования имеется в базе данных земельно-информационной системы, топографические карты (планы) разрешается заменять кадастровыми картами (планами)

того же масштаба, полученными средствами указанной системы. Такие карты оформляются в соответствии с установленными требованиями.

На топографические карты наносят имеющиеся в Едином реестре границы смежных административно-территориальных и территориальных единиц Республики Беларусь. После этого наносят границы объектов административно-территориального устройства.

Если координаты точек поворота границ имеются в делах по межхозяйственному землеустройству, то выполняют нанесение этих точек на топографическую основу и увязку границы с элементами ситуации (при необходимости).

Если координаты поворотных точек имеются в базе данных земельно-информационной системы, то полученные посредством ее границы наносятся на топографическую основу в соответствии с требованиями и при необходимости увязываются с элементами ситуации.

Если исходные картографические материалы изготовлены на прозрачной основе, то нанесение границы выполняют путем переноса ее поворотных точек на световом (просветном) столе. При этом ориентирование основы осуществляют по уверенно опознаваемым точечным и линейным объектам.

Если исходные картографические материалы изготовлены на непрозрачной основе, то нанесение границы осуществляют путем переноса ее отдельных точек с исходного картографического материала в следующем порядке:

- переносят узловые точки границ. В необходимых случаях их положение определяют линейными (графическими) засечками от надежно опознаваемых точек, в качестве которых желательно использовать углы поворота и перекрестки автомобильных дорог, просек, точки гидротехнических сооружений, отдельные местные предметы (заводские трубы, церкви), другие объекты;
- переносят участки границ, проходящие по живым урочищам. При этом должно совершенно четко читаться, проходит ли граница по середине реки, по левому или правому ее берегу, по берегу озера или же граница пересекает его на части;
- выполняют перенос точек суходольных участков границы, совпадающих с линейными объектами (автодорогами, просеками, линиями электропередачи и другими). При этом должно быть совершенно очевидно, как именно проходит граница по этим объектам;
- переносят оставшиеся поворотные точки границы на суходольных участках. В необходимых случаях их положение определяют графическими засечками от надежно опознаваемых точек.

Нанесение границ на районную карту землепользований масштаба 1:50 000 и топографические карты выполняется последовательно, начиная с более крупной: вначале – области, затем – района, сельсовета и, наконец, городов и иных населенных пунктов. Обследование и согласование этих границ выполняют, как правило, начиная с районов.

Границы сельсоветов наносят на районную карту землепользований масштаба 1:50 000 и на топографические карты масштаба 1:10 000 и оформляют в соответствии с требованиями.

Границы сельсоветов по возможности совмещают с границами земельных участков собственников, владельцев и других постоянных пользователей.

Обособленные участки относят к сельсовету, на территории которого они размещены.

Границы сельсовета по возможности совмещают с постоянными, хорошо опознаваемыми на местности и картографическом материале линейными объектами (автомобильными и железными дорогами, постоянными водотоками, береговыми линиями водоемов, линиями электропередачи и другими линейными объектами), а в отдельных случаях – с границами лесничеств и лесных кварталов.

В случае, когда земли сельскохозяйственного предприятия расположены на территории нескольких сельсоветов, границы последних устанавливают с учетом территориального тяготения массивов земель к населенным пунктам, сложившихся производственных связей и специализации, наличия и размещения дорог и других элементов производственной инфраструктуры, а также социальных факторов. При этом по возможности следует избегать решений, приводящих к чересполосице, вклиниванию, излишней изломанности границ и другим неудобствам в использовании земель.

Технология нанесения на карты границ городов и иных населенных пунктов различна в зависимости от того, имеется ли информация о них в базе данных земельно-информационной системы.

В случае если данные земельно-информационной системы отсутствуют, с использованием имеющихся земельно-кадастровых материалов на карты масштаба 1:10 000 наносят границы городов областного, районного подчинения, поселков городского типа и сельских населенных пунктов. К землям указанных населенных пунктов относят также все обособленные участки, переданные в ведение соответствующих Советов депутатов согласно действующему законодательству и приобретенные гражданами в собственность или полученные ими в пожизненное наследуемое владение для ведения личного подсобного хозяйства или строительства и обслуживания жилого дома.

Границы городов и иных населенных пунктов, установленные с использованием топографических карт масштаба 1:10 000, считаются условными. Замена условных границ безусловными осуществляется при первом их изменении.

Границы городов и иных населенных пунктов, имеющиеся в базе данных земельно-информационной системы, наносят на топографические карты (планы) масштаба 1:2000–1:10 000, или заменяющие их кадастровые планы, и оформляют согласно требованиям. Согласование и полевое обследование таких границ не выполняется.

Полевое обследование границ выполняют (при необходимости) после нанесения их на карты с целью проверки соответствия их отображения положению на местности. Обследование выполняют по каждому смежеству отдельно, одновременно с оформлением акта согласования и с участием уполномоченного представителя смежной административно-территориальной единицы.

Согласование границ подтверждается подписями и печатями председателей (или уполномоченных ими лиц) Советов депутатов, а также руководителей землеустроительной службы исполнительных и распорядительных органов административно-территориальных единиц соответствующего уровня непосредственно на карте землепользований района масштаба 1:50 000 и листах топографических карт, на которых эта граница отображена.

Согласование границ области выполняется по картам масштаба 1:200 000 после нанесения на них участков согласованных ранее границ районов, совпадающих с границей области.

Границы территорий специального режима использования согласовывают со службами земельных ресурсов и землеустройства, архитектуры и градостроительства районных или областных (в зависимости от категории объекта) исполнительных комитетов, с районными или областными службами природных ресурсов и охраны окружающей среды.

Согласование границ всех уровней выполняется с участием землеустроительной службы соответствующего исполнительного и распорядительного органа. Участки границ, нанесенные по данным Единого реестра, полевому обследованию и согласованию не подлежат.

После нанесения на карты и согласования границ административно-территориальных и территориальных единиц Республики Беларусь выполняют камеральные работы, включающие:

- уточнение накладки границ на схеме размещения листов карт;

- оцифровку границ, увязку координат узловых пунктов, найденных по результатам оцифровки примыкающих сегментов, и составление каталога координат точек поворота;

- вычисление периметра границ и площади административно-территориальной (территориальной) единицы Республики Беларусь. При наличии каталогов координат оцифровка границ и увязка координат не выполняются.

Схема размещения листов карт (рис. 7.10) служит в качестве вспомогательного материала для оцифровки границ и последующих работ по ведению Единого реестра.

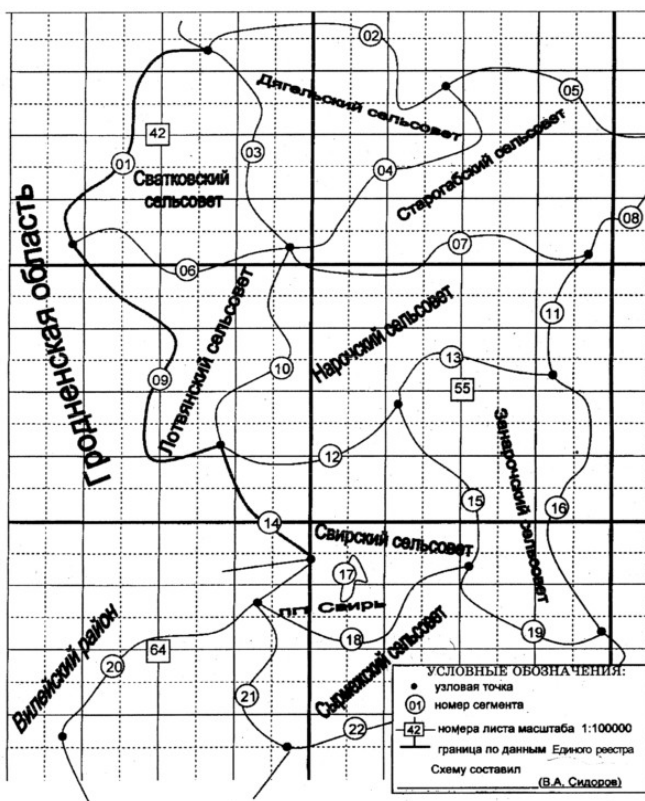


Рис. 7.10. Схема размещения листов топографических карт и границ административно-территориальных и территориальных единиц

Схема составляется в формате, позволяющем отобразить:

- рамки топографических карт (планов) масштаба, принятого для нанесения границ, а также более мелкого масштаба;
- данные, позволяющие установить номенклатуру каждого листа наиболее крупного масштаба;
- сегменты, их номера и узловые точки, ограничивающие сегменты;
- точки примыкания границ административно-территориальных единиц Республики Беларусь;
- наименования объектов административно-территориального устройства.

Под сегментом понимается участок границы, заключенный между точками примыкания других границ.

Нумерация сегментов – порядковая, начиная с единицы.

Схема размещения листов планов в местной системе координат должна содержать их номенклатуру.

Сегменты, полученные из Единого реестра, показывают линиями красного цвета.

Оцифровку границ выполняют по сегментам между узловыми пунктами с использованием стандартных программных и технических средств.

Увязка координат заключается в сопоставлении многократно определенных координат узловых точек и оценке полученных расхождений. При уклонении координат от средних на величину, не превышающую 0,3 мм в масштабе карты (плана), за окончательные координаты принимают их средние значения. В противном случае необходимо принять меры по устранению недопустимых расхождений.

Если координаты узловых точек, полученные из Единого реестра и найденные по результатам оцифровки, отличаются не более чем на 0,7 мм в масштабе карты (плана), то для последующих работ принимаются значения, имеющиеся в Едином реестре.

Каталог координат представляется на бумажной основе или на магнитном носителе. Координаты точек указываются с точностью до 0,01 м. В необходимых случаях каталогу присваивается соответствующий ограничительный гриф.

Форма представления каталога на бумажной основе приведена на рис. 7.11.

Каталог координат точек поворота границы

(наименование административно-территориальной или территориальной единицы Республики Беларусь)		
Система координат	<u>1942 года</u>	Ключ перехода от местной системы координат к системе 1942 года: $X_0 =$ _____ $Y_0 =$ _____ $\varphi =$ _____ $tX =$ _____ $tY =$ _____
Зона	<u>6-градусная</u>	
Осевой меридиан	<u>27°</u>	

Номер закрепленной точки	Координаты точек поворота границы		Примечание
	X, м	Y, м	
1	2	3	4

Рис. 7.14. Форма каталога координат

Площади административно-территориальных (территориальных) единиц Республики Беларусь вычисляют с точностью до одного квадратного метра по формуле (7.14):

$$P_{ATE} = \sum P_{тр} + \sum P_{уч} - \sum P_{нас.п}, \quad (7.14)$$

где $\sum P_{тр}$ – сумма площадей трапеций (планшетов), полностью входящих в обрабатываемую территорию;

$\sum P_{уч}$ – сумма площадей трапеций (планшетов), входящих в обрабатываемую территорию частично; 2

$\Sigma P_{\text{нас.п}}$ – сумма площадей населенных пунктов, расположенных в границах административно-территориальной единицы и не входящих в ее территорию.

Площади трапеций, полностью входящих в территорию административно-территориальной (территориальной) единицы Республики Беларусь, определяют по таблице в соответствии с Инструкцией [29] по широтам северной и южной рамок, а планшетов – подсчитывают по их размерам и редуцируют на эллипсоид, предварительно пересчитав координаты из местной системы в систему координат 1942 года.

Площадь административно-территориальной (территориальной) единицы Республики Беларусь или ее части вычисляют по координатам поворотных точек границы, используя формулу (7.15) и редуцируют на поверхность эллипсоида по формуле (7.16):

$$P_{\text{уч}}^* = \left| 0,5 \sum_{i=1}^{i=n} X_i (Y_{i+1} - Y_{i-1}) \right|, \quad (7.15)$$

$$P_{\text{уч}} = P_{\text{уч}}^* \left[1 - (Y_{\text{cp}} / R)^2 \right], \quad (7.16)$$

где Y_{cp} – средняя ордината точек границы относительно осевого меридиана 6-градусной зоны, то есть без учета номера зоны и 500 км;

R – средний радиус эллипсоида, равный для средней широты Беларуси 6 385 000 м;

n – число точек.

Периметр границы вычисляют в метрах по координатам ее поворотных точек, используя формулу (7.17):

$$P = \sum_{i=1}^{i=n} \sqrt{(X_i - X_{i-1})^2 + (Y_i - Y_{i-1})^2} \quad (7.17)$$

Периметр и площадь вычисляют для каждого несмежного участка административно-территориальной (территориальной) единицы Республики Беларусь, а результаты суммируют.

Если в границах административно-территориальной (территориальной) единицы Республики Беларусь размещается другая административно-территориальная (территориальная) единица Республики Беларусь, не входящая в ее территорию в соответствии с Законом Республики Беларусь «Об административно-территориальном делении и порядке решения вопросов административно-территориального

устройства Республики Беларусь», периметр ее границ определяется как сумма периметров внутреннего и внешнего участков.

После завершения работ для вручения областному, районному и городскому (городов областного подчинения) отделам по земельным ресурсам и землеустройству формируется в двух экземплярах дело с материалами по установлению границ [29].

Контрольные вопросы и задания

1. Для каких целей выполняется установление границ земельных участков?
2. Опишите порядок установления фиксированной границы земельного участка.
3. Укажите отличительные особенности выполнения работ при восстановлении границы земельного участка.
4. Приведите порядок работы при установлении нефиксированной границы земельного участка.
5. Каким образом осуществляется подготовка данных для перенесения проекта на местность?
6. Перечислите и опишите методы определения положения границ земельных участков.
7. С какой целью используется метод сгущения государственной геодезической сети с разреженной привязкой границ земельных участков?
8. Каким образом осуществляется установление границ административно-территориальных и территориальных единиц?
9. Запишите формулы для определения площади и периметра административно-территориальной единицы.

8. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ИНВЕНТАРИЗАЦИИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

8.1. Общие сведения об организации и содержании работ при проведении технической инвентаризации зданий и сооружений

Техническая инвентаризация и проверка характеристик проводятся организацией по государственной регистрации в отношении следующих видов объектов недвижимого имущества, расположенных на тер-

ритории Республики Беларусь, которые относятся к объектам технической инвентаризации и проверки характеристик:

✓ капитальных строений (зданий, сооружений), за исключением капитальных строений, которые в результате деятельности человека, износа, пожара, других стихийных бедствий или иного вредного воздействия находятся в аварийном состоянии либо грозят обвалом и (или) в которых отсутствуют конструктивные элементы, без наличия которых невозможно провести измерения, необходимые для составления планов и определения технических характеристик (площадей, объемов и других характеристик) капитальных строений;

- ✓ незавершенных законсервированных капитальных строений;
- ✓ изолированных помещений, в том числе жилых;
- ✓ машино-мест.

Объектом технической инвентаризации может также являться незавершенное незаконсервированное капитальное строение.

Техническая инвентаризация и (или) проверка характеристик состоит из следующих видов работ:

1. Организационные работы по технической инвентаризации и (или) проверке характеристик.
2. Подготовительные работы по технической инвентаризации и (или) проверке характеристик.
3. Полевые работы по технической инвентаризации и (или) проверке характеристик.
4. Камеральные работы по технической инвентаризации и (или) проверке характеристик.
5. Внутренний контроль работ по технической инвентаризации и (или) проверке характеристик.
6. Выдача итоговой технической документации заказчику или иному лицу осуществляется в соответствии с условиями заказа на выполнение работ или договора на выполнение работ [30].

8.2. Съёмка территории и составление ситуационного плана

Рассмотрим порядке действий при составлении ситуационных планов объектов технической инвентаризации (зданий, сооружений).

Ситуационный план составляется по результатам съёмки территории объекта, измерений и обследования объекта технической инвентаризации для целей:

- ✓ однозначного определения местоположения объекта технической инвентаризации на местности;
- ✓ описания конфигурации и точного положения объекта технической инвентаризации относительно границ земельного участка (земельных участков);
- ✓ наглядного отражения состава объекта технической инвентаризации;
- ✓ геокодирования объекта;
- ✓ оптимизации процесса ведения документов регистра недвижимости.

Для целей оптимизации процесса ведения документов регистра недвижимости и кадастровой карты Республики Беларусь ситуационный план используется как источник информации для формирования слоя контуров капитальных строений.

Ситуационный план является обязательным приложением к итоговой технической документации.

Описание конфигурации и состава объекта технической инвентаризации осуществляется путем отражения на ситуационном плане составных частей и принадлежностей объекта технической инвентаризации, а также его литер и размеров.

Съемка территории объекта технической инвентаризации выполняется для целей установления взаимного местоположения объекта и входящих в его состав составных элементов и принадлежностей.

Съемка территории объекта является горизонтальной (плановой) съемкой и осуществляется путем взаимной привязки контуров объекта технической инвентаризации, его составных элементов и принадлежностей, а при возможности определения точного расположения границы земельного участка осуществляется также привязка указанных объектов к границе зарегистрированного земельного участка, на котором расположен объект технической инвентаризации.

Содержание ситуационного плана определяется в зависимости от типа объекта недвижимого имущества.

На ситуационном плане отображаются:

- ✓ топографическая основа в государственной системе координат для линейных сооружений;
- ✓ линии границ зарегистрированных земельных участков, расположенных на территории объекта;
- ✓ объект технической инвентаризации, его составные элементы и принадлежности согласно их наружным размерам;

- ✓ основные наружные размеры для наземных объектов (не указываются размеры лестниц, крылец, приемков, мощений и тому подобно-го);
- ✓ литеры объекта технической инвентаризации, его составных элементов и принадлежностей;
- ✓ границы административно-территориальных и территориальных единиц, пересекающие территорию объекта, и их наименования;
- ✓ наименование элементов улично-дорожной сети, подлежащих указанию в адресе (местонахождении) объекта;
- ✓ основные наружные размеры и сокращенное обозначение материалов (марок) составных (конструктивных) элементов – для сооружений. В случае составления на конструктивные и составные элементы отдельных планов, данные об их размерах, материалах, марках на ситуационном плане не отражаются;
- ✓ условный знак геокода;
- ✓ условные обозначения.

На ситуационном плане не отображаются изгибы контура строения (выступы, ступени и т. п.) и иные элементы менее 0,3 мм в масштабе.

Соответствующие минимальные размеры элементов строения на местности, которые возможно отобразить в масштабе ситуационного плана, приведены в табл. 8.1.

Таблица 8.1. Размеры минимальных элементов объектов технической инвентаризации

Масштаб ситуационного плана	Размер, см
1:500	15
1:1 000	30
1:2 000	60
1:5 000	150
1:10 000	300

Подготовительные работы. Целью подготовительных работ является сбор и анализ сведений об объекте для выбора оптимальных технологий и методик проведения работ для сокращения трудовых и финансовых затрат на выполнение последующих работ.

Подготовительные работы включают:

- ✓ сбор информации о составе и характеристиках объектов технической инвентаризации;
- ✓ изучение информации об объектах технической инвентаризации, оценка ее полноты, качества и актуальности;

- ✓ получение и изучение материалов для основы ситуационного плана, оценка их актуальности и пригодности для выполнения последующих работ;

- ✓ определение способов выполнения полевых работ (способов и технологий измерений);

- ✓ создание (подготовка) основы ситуационного плана и подосновы для составления абрисов;

- ✓ сбор и получение иной информации, необходимой для выполнения работ (координат и схем (кроков) пунктов геодезической сети и закладных и иной информации).

Подготовка подосновы для абрисов заключается в выборе необходимых материалов (проектной документации, материалов для основы ситуационного плана), обработке и выводу на печать.

Для облегчения работ по составлению абрисов (особенно вновь построенных объектов) следует использовать проектную документацию объектов, в отношении которых выполняются работы по технической инвентаризации.

Подосновой для составления абрисов и планов линейных сооружений, в том числе инженерных сетей, могут служить исполнительные съемки территорий масштаба 1:500, 1:1 000, 1:2 000, по которым проходят линейные сооружения.

Определение способов выполнения полевых работ при технической инвентаризации и проверке характеристик сооружений зависит от размеров и конструктивного состава объекта инвентаризации, используемых приборов, квалификации исполнителей, а также имеющихся документов и материалов.

Основа ситуационного плана должна иметь масштаб не мельче 1:10 000.

В качестве основы ситуационного плана может использоваться следующая информация:

- ✓ ортофотопланы;

- ✓ геоинформационные системы;

- ✓ растровые топографические материалы;

- ✓ цифровые планы;

- ✓ векторные топографические материалы.

В целях максимальной синхронизации сведений рекомендуется использовать соответствующие составы данных, опубликованные на Публичной кадастровой карте Республики Беларусь.

В качестве ресурсов для создания основы ситуационного плана в растровом или векторном виде могут использоваться материалы мас-

штаба 1:10 000 и крупнее, а именно: топографические планы, топографические карты, инженерно-топографические планы, чертежи генеральных планов предприятий, сооружений и жилищно-гражданских объектов различного назначения, исполнительные чертежи и съемки.

При наличии различных видов материалов предпочтительной для составления ситуационного плана является наиболее актуальная основа, которая наиболее полно и достоверно отражает объект, его составные части и принадлежности, а также границы земельных участков, на которых расположен объект.

При составлении ситуационного плана могут быть использованы материалы землеустроительного дела.

В общем порядке создание основы ситуационного плана включает следующие виды работ:

- ✓ поиск и выбор материалов;
- ✓ оцифровка (сканирование) материалов;
- ✓ редактирование и обработка оцифрованных материалов;
- ✓ трансформирование и привязка цифровых материалов в систему координат;
- ✓ редактирование (выбор необходимого размера и т. д.);
- ✓ формирование файла.

В зависимости от особенностей выбранного материала для основы ситуационного плана порядок и содержание работ по созданию основы может изменяться.

На ситуационном плане также отображаются:

- ✓ границы административно-территориальных и территориальных единиц, пересекающие территорию объекта, и их наименования – на основании единого реестра административно-территориальных и территориальных единиц Республики Беларусь;
- ✓ наименование элементов улично-дорожной сети, подлежащих указанию в адресе (местонахождении) объекта – на основании реестра наименований улиц и дорог;
- ✓ геокод объекта – на основании реестра адресов.

Ситуационный план составляется по результатам съемки территории объекта, измерений и обследований объекта технической инвентаризации.

Съемка территории. В целях обеспечения надлежащего качества работ при производстве съемки территории объекта, съемка должна производиться инструментами и приборами, точность измерения которых не ниже 0,01 м (1 см).

При проведении съемки способами линейных измерений в абрисе проставляются все необходимые результаты.

При проведении съемки с использованием электронного тахеометра, спутникового геодезического приемника и иных приборов с электронным журналом результатов измерений, результаты измерений в абрисах не проставляются, указываются только соответствующие точки съемки и их номера (обозначения). По результатам обработки такой съемки, дополнительно составляется каталог координат точек съемки.

Координаты определяются в метрах с точностью до 0,01 м.

Съемка территории объекта осуществляется путем взаимной привязки контуров объекта технической инвентаризации (за исключением некапитальных, переносных и временных объектов) и входящих в его состав строений, в том числе дворовых сооружений, инженерных сетей, сооружений благоустройства, а при возможности определения точного расположения границы земельного участка осуществляется также привязка указанных объектов к границе зарегистрированного в установленном порядке земельного участка, на котором расположен объект технической инвентаризации.

При съемке инженерных сетей способами геометрических измерений в обязательном порядке дополнительно производятся измерения расстояний между характерными точками (колодцами, камерами, опорами, точками поворота, подъемов и спусков и т. п.).

Съемка подземных инженерных сетей, не имеющих наземных (надземных) элементов (опознавательных знаков), в закрытых траншеях без следа трассы осуществляются с использованием приборов поиска подземных инженерных сетей – трассоискателей, и (или) посредством вскрытия этих сетей траншеями и шурфами.

Вскрытие подземных прокладок для съемки и обследования является крайней мерой и производится при невозможности определения сетей другими методами. Проходка шурфов и вскрытие траншей производится силами заявителя или эксплуатирующей организацией.

Места закладки траншей и шурфов намечаются после тщательного изучения имеющихся материалов по подземным сетям и опроса технического персонала, их обслуживающего. Места шурфовки определяются исполнителем работ совместно с представителем эксплуатирующей организации. Шурфование на кабельных сетях не производится. Порядок выполнения съемки территории объекта с использованием соответствующих приборов определяется требованиями законодательства, методическими документами и инструкциями к этим приборам.

Привязка плано-картографической основы выполняется по четко опознаваемым контурам на карте и местности (опоры ЛЭП, фонари, люки, пересечения дорог и т. п.) [31].

Контрольные вопросы и задания

1. В отношении каких объектов проводится техническая инвентаризация и проверка характеристик?
2. Опишите виды работ, выполняемых при технической инвентаризации и проверке характеристик объектов.
3. С какой целью составляется ситуационный план по результатам съемки территории объекта?
4. Приведите содержание ситуационного плана.
5. Какие материалы используются в качестве основы ситуационного плана?

9. ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВЕ И В ЗЕМЕЛЬНОМ КАДАСТРЕ

9.1. Типы ГИС. Проблемно-ориентированные ГИС

Геоинформационная система (*географическая информационная система, ГИС*) – система сбора, хранения, анализа и графической визуализации пространственных (географических) данных и связанной с ними информации о необходимых объектах.

В более узком смысле, геоинформационная система – инструмент (программный продукт), который позволяет пользователям искать, анализировать и редактировать цифровые карты местности и дополнительную информацию об объектах.

Географические информационные системы подразделяются на типы, определяемые их задачами и характером используемой информации:

- ✓ по проблемной ориентации;
- ✓ по предметной (объектной) специализации;
- ✓ по территориальному охвату.

Проблемная ориентация ГИС определяется возлагаемыми на нее научными или прикладными задачами, полностью определяемыми пользователем. Это прежде всего инвентаризационные задачи, кадастр, мониторинг, оценка и прогноз, управление и планирование,

поддержка принятия решений. Предметная или объектная ориентация может определяться ведомственными или отраслевыми интересами (землеустройство, природные катастрофы, охрана природы), которые имеют дело с различными объектами и явлениями на определенной территории: земля, лес, население и т. д.

По территориальному охвату различают ГИС:

- ✓ глобальные, имеющие дело с информацией планетарного характера;
- ✓ субконтинентальные (обычно государственного или национального характера) и океанов;
- ✓ региональные;
- ✓ локальные, включающие городские или муниципальные ГИС, часто экспериментальные или учебные.

Территориальному уровню исследований должны соответствовать показатели масштабов и точности. Общей характеристикой ГИС служит их проблемная ориентация, поскольку формулировка проблемы обычно включает предметные и территориальные аспекты. Содержательное соответствие решаемой проблеме – важнейшее свойство ГИС как модели геосистемы (реальности). Оно подразумевает научно обоснованное отображение главных особенностей действительное с учетом генезиса, внутренней и внешней структуры, иерархии объектов.

Без четкого определения круга задач не имеет смысла начинать ГИС-проект. ГИС может выполнять функции научно справочной системы, являясь сводом и обобщением научных знаний об отображенных в ее тематической базе данных природных и социально-экономических явлениях, использоваться в разных научных практических целях и для поддержки принятия решений. Поэтому проблемы, решаемые ГИС, в конечном счете сводятся к набору географических задач, различающихся по цели и методам решения. С проблемой неразрывно связан строго определенный набор пространственных данных – набор исходной информации для ее решения, обуславливающий содержание базы данных. Тематическая база интегрированных географических данных, отнесенных к исследуемой территории, является сложной информационной моделью объекта исследования в проблемно-ориентированной ГИС. Информационное обеспечение (представленные в цифровой форме карты, аэрокосмические снимки, материалы наземных наблюдений, а также данные непространственного характера) – наиболее дорогостоящая часть всякой ГИС, достигающая по затратам 80–90 % стоимости проекта.

Процедуры наполнения БД информацией и функционирование проблемно-ориентированной ГИС опираются на использование заранее определенных технических и программных средств (в первую очередь ГИС-пакетов).

Таким образом, создание и функционирование любой ГИС определяют три базовые составляющие (рис. 9.1):

- проблемная ориентация;
- тип и структура пространственных данных;
- технические и программные средства реализации ГИС-технологий.



Рис. 9.1. Структурная схема и базовые составляющие проблемно ориентированной ГИС

Примерами типовых географических задач, которые требуют разных наборов пространственных данных и применения разных ГИС-технологий, служат задачи инвентаризации, оценки, исследования динамики и прогноза состояния природной среды. При решении инвентаризационных задач ГИС-технологии способствуют максимально эффективному использованию разных источников информации: полевых обследований, оперативной аэрокосмической съемки, карт, данных статистики.

Следовательно, форматы данных могут быть любые. При использовании разнообразных материалов, необходимым этапом является приведение их к геометрически сопоставимому виду – единому масштабу и проекции, т. е. взаимное трансформирование, что составляет важный элемент ГИС-технологии. После геометрического совмещения выполняется тематическое совмещение материалов. Для выявления изменений границ или замещения 2–3 объектов применяют, как правило, технологии, носящие названия «оверлей» и «рекласс».

При исследовании изменений большого числа объектов, нескольких временных срезов, эволюции исследуемых объектов их различия представляют обычно в виде матрицы – «матрицы динамики». Основа решения прогнозных задач – выявление тенденций и темпов динамики процессов, поэтому на первый план выходят ГИС-технологии моделирования. Ряд параметров моделей функционирования геосистем, пространственно-временная изменчивость природных и антропогенных объектов могут быть определены по снимкам. Эффективность моделирования связана с необходимостью создания банков данных наземной, картографической и аэрокосмической информации, с автоматизированными методами интерпретации и отображения информации. В этих задачах наиболее полно проявляется интеграция методов географии, картографии, аэрокосмического зондирования и геоинформатики.

Обучающие (учебные) ГИС – особый тип проблемно-ориентированных ГИС. Их создание обусловлено потребностью фундаментальной подготовки специалистов высшей квалификации, обладающих навыками решения многообразных задач изучения и выявления закономерностей в природе и обществе на основе пространственно-координированной информации и ГИС-технологий. Проблемная ориентированность учебных ГИС способствует решению двух проблем: внедрения ГИС в науки о Земле и практического освоения основ геоинформатики, геоинформационных методов решения прикладных задач. Такие ГИС являются компьютерным учебным пособием для решения этих проблем, а также средством аккумулирования опыта и знаний специалистов в соответствующих областях.

Обучающая ГИС должна удовлетворять ряду требований: по территориальному охвату, структуре базы данных, информационному и программному обеспечению. Наиболее методически целесообразный территориальный уровень обучающих ГИС – локальный, для территорий учебно-научных полигонов и станций, позволяющий верифицировать полученные результаты на ключевых участках. Ядром обучающей ГИС является база интегрированных географических данных, обеспечивающая комплексное географическое и системное изучение территории и объединенная учебными заданиями по специальности.

Открытые ГИС. Положения проблемно-ориентированных ГИС соответствуют теоретическим и практическим целям географических и других пространственно-определенных исследований. Тенденции глобализации во многих сферах деятельности человеческого общества и коммуникационные потребности привели к возникновению другого направления – к созданию открытых ГИС. Концепция открытых ГИС базируется на стремлении к развитию коммуникации в геопространственной области и взаимодействию между программными и техническими средствами ГИС. Ключевой фразой открытых систем, направленных в сторону пользователей, является независимость от конкретного поставщика данных и программных продуктов [32].

9.2. Земельно-информационная система Республики Беларусь

Земельно-информационная система (ЗИС) – комплекс программно-технических средств, баз пространственно-атрибутивных данных, каналов информационного обмена и других ресурсов, обеспечивающий автоматизацию накопления, обработки, хранения и предоставления сведений о состоянии, распределении и использовании земельных ресурсов в электронном виде, в том числе средствами геоинформационных технологий.

Информационное содержание ЗИС Республики Беларусь представлено на рис. 9.2.



Рис. 9.2. Информационное содержание ЗИС Республики Беларусь

База данных ЗИС Республики Беларусь включает пространственные и атрибутивные данные (рис. 9.3).

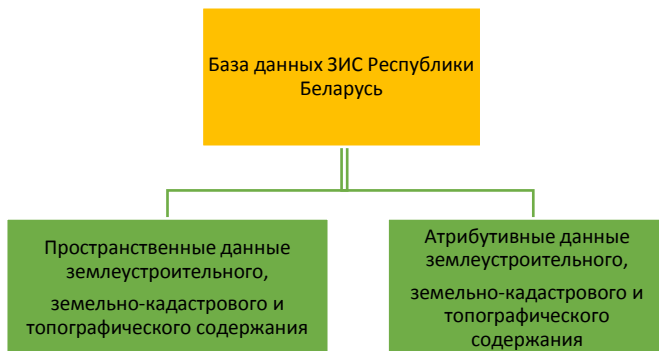


Рис. 9.3. Содержание базы данных ЗИС Республики Беларусь

ЗИС Республики Беларусь создаются для автоматизации мониторинга земельных ресурсов и решения следующих задач:

- ✓ информационное обеспечение отделов и управлений землеустройства исполнительных комитетов по управлению и контролю за использованием земель;
- ✓ формирование государственной статистической отчетности о состоянии и использовании земельных ресурсов;
- ✓ выполнение работ по массовому первичному государственному кадастровому учету земельных участков и государственной регистрации прав на них;
- ✓ составление документов, удостоверяющих право пользования, право пожизненного владения земельным участком, право частной собственности и право аренды на земельный участок;
- ✓ подготовка материалов по предварительному согласованию места размещения объектов, изъятию и предоставлению земельных участков, их передаче в собственность, аренду, изменению границ административно-территориальных единиц, включению земельных участков в городскую черту;
- ✓ контроль работ по установлению (восстановлению) и закреплению границ земельных участков;
- ✓ ведение текущего государственного кадастра учета земель [33].

9.3. Геопортал ЗИС Республики Беларусь. Публичная кадастровая карта

Геопортал – это электронный географический web-ресурс, размещенный в локальной сети или в сети Интернет, который является единой точкой доступа ко множеству информационных ресурсов с инструментами просмотра, поиска геопространственной информации, ее визуализации, загрузки, распространения и поиска геосервисов.

Геопортал земельно-информационной системы Республики Беларусь (Геопортал ЗИС) – это полнофункциональная геоинформационная система, предназначенная для автоматизации хранения, обработки и предоставления пространственной информации для поддержки принятия решений по организации эффективной работы в области землеустройства, геодезии, картографии, земельного, лесного кадастра и кадастра недвижимости, градостроительства и архитектуры, телекоммуникаций, обслуживания трубопроводов, добычи и транспортировки нефти и газа, электрических сетей, экологии и природопользования, геологии и геофизики, железнодорожного и автомобильного транспорта, банковского дела, образования, государственного управления.

Геопортал ЗИС обеспечивает решение информационно-справочных, аналитических задач и интерактивное редактирование геопространственной информации (рис. 9.4).

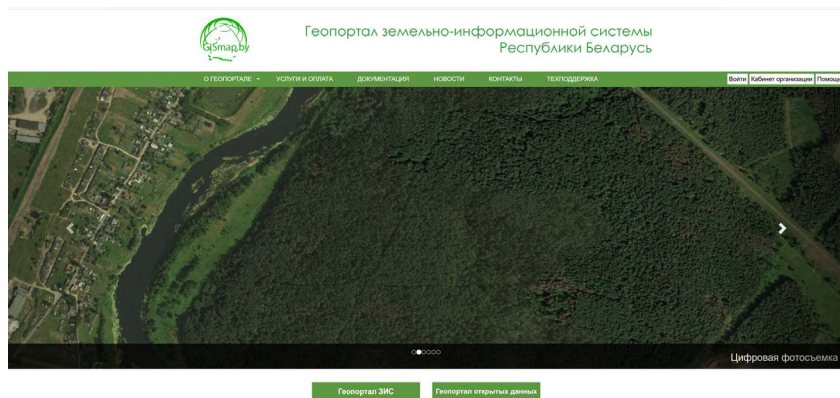


Рис. 9.4. Окно вида Геопортала ЗИС

Геопортал ЗИС зарегистрирован в Государственном регистре информационных систем Министерства связи и информатизации Республики Беларусь. Владелец информационной системы является Республиканское унитарное предприятие «Проектный институт Белгипрозем».

Геоинформационная система предназначена для государственных органов, министерств и ведомств Республики Беларусь, юридических и физических лиц, заинтересованных пользователей и поставщиков информации системы.

Геопортал ЗИС позволяет получить данные о границах административно-территориальных единиц и земельных участках, о земельном покрытии территории, о мелиоративном состоянии земель, об ограничениях землепользования, об инженерных коммуникациях и многое другое.

Основные преимущества использования Геопортала ЗИС:

1. предоставление доступа к актуальным пространственным данным всем заинтересованным лицам в соответствии с правами доступа;
2. отсутствие расходов на покупку настольных ГИС-приложений;
3. мобильность доступа к геопространственным данным;
4. редактирование информации в режиме реального времени;
5. наличие базовой картографической основы масштаба 1:10000;
6. ведение различных мониторингов в режиме реального времени;
7. размещение информации заинтересованных организаций в виде картографических сервисов;
8. регулярное обновление геопространственных данных;
9. доступ к веб-ресурсу 24 часа в сутки 7 дней в неделю;
10. использование любого интернет-браузера [34].

Публичная кадастровая карта Республики Беларусь (ПКК) – геоинформационная система, предназначенная для ознакомления землепользователей, иных заинтересованных лиц с пространственными и другими данными государственного земельного кадастра, а также с иными пространственными данными по согласованию с их правообладателями. Владелец является Государственный комитет по имуществу Республики Беларусь, оператором – ГУП «Национальное кадастровое агентство».

ПКК функционирует с 2014 года, ежегодно регистрируется более 850 000 обращений к ресурсу от более чем 275 000 пользователей.

Совместно с кадастровыми данными государственных информационных ресурсов, оператором которых является ГУП «Национальное кадастровое агентство», по состоянию на январь 2023 г. на ПКК опубликовано 34 пространственных слоя, поставщиками данных которых являются:

- ✓ Министерство обороны Республики Беларусь;
 - ✓ Государственный пограничный комитет Республики Беларусь;
 - ✓ территориальные организации по государственной регистрации недвижимого имущества, прав на него и сделок с ним, а также другие организации подведомственные Государственному комитету по имуществу Республики Беларусь;
 - ✓ РУП «Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов»;
 - ✓ Министерство спорта и туризма Республики Беларусь;
 - ✓ Жилищно-коммунальные хозяйства и другие предприятия [35].
- Отдельные информационные слои представлены на рис. 9.5.

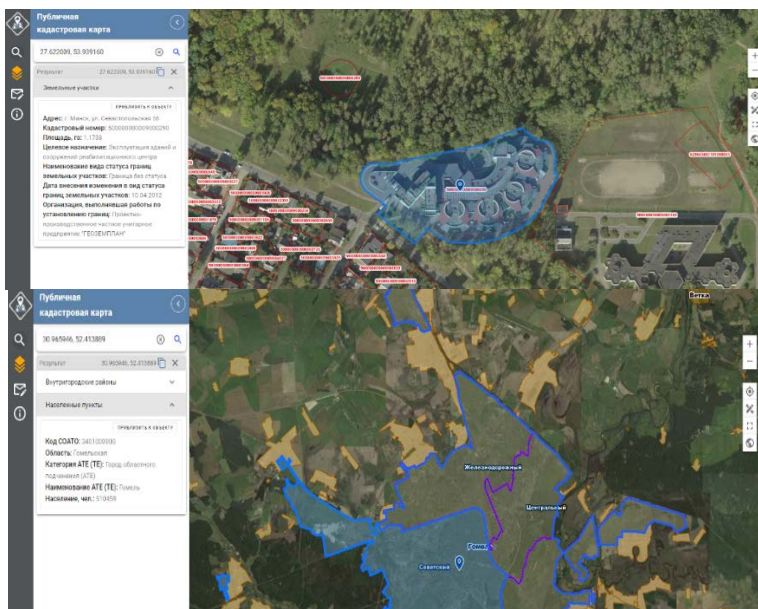


Рис. 9.5. Информационные слои ПКК

Контрольные вопросы и задания

1. Дайте определение геоинформационной системе.
2. Назовите типы ГИС.
3. Что такое обучающие ГИС?
4. Дайте определение земельно-информационной системе.
5. Для каких целей создана земельно-информационная система Республики Беларусь?
6. Что такое Геопортал земельно-информационной системы Республики Беларусь?
7. Дайте определение публичной кадастровой карте Республики Беларусь.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. О государственной регистрации недвижимого имущества: закон Республики Беларусь, 22 июля 2002 г., № 133-З // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь, 12.10.2022, 2/2929.
2. О навигационной деятельности: Указ Президента Республики Беларусь 21.06.2011 № 260 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь, 11.08.2022, 1/20448.
3. Инструкция о порядке создания, функционирования и развития белорусской спутниковой системы точного позиционирования: утв. и введена в действие постановлением Государственного комитета по имуществу Республики Беларусь от 15 октября 2012 г. № 51: текст по состоянию на 25 ноября 2023 г. – Минск: Госкомимущество, 2012.
4. Кодекс Республики Беларусь о земле, 23 июля 2008 г., № 425-З // Эталон Онлайн [Электронный ресурс].– Режим доступа: https://etalonline.by/document/?regnum=hk0800425&q_id=9978716. – Дата доступа 28.11.2023.
5. Инструкция о порядке проведения работ по установлению (восстановлению), изменению границ земельных участков: утв. и введена в действие постановлением Государственного комитета по имуществу Республики Беларусь от 23 декабря 2022 г. № 44: текст по состоянию на 30 ноября 2023 г. – Минск: Госкомимущество, 2022.
6. Закатов, П.С. Курс высшей геодезии / П.С. Закатов. Изд. 4, перераб. и доп. М., «Недра», 1976. – 511 с.
7. Руководство по преобразованию координат. Геодезические, картографические нормы и правила: утв. приказом Государственного комитета по имуществу Республики Беларусь от 16.02.2011 № 58: текст по состоянию на 01 ноября 2023 г. – Минск: Госкомимущество, 2011. – 54 с.
8. Назаров, А. С. Координатное обеспечение топографо-геодезических и земельно-кадастровых работ/ А. С. Назаров. – Минск: Учеб. Центр подгот., повышения квалификации и переподгот. кадров землеустроит. и картографо-геод. службы, 2008.– 83 с.
9. Инструкция о порядке установления и использования местных систем координат: утв. приказом Государственного комитета по имуществу Республики Беларусь от 17.03.2009 № 18: текст по состоянию на 21 ноября 2023 г. – Минск: Госкомимущество, 2009.
10. Кузнецов, Г. И. Создание в Республике Беларусь основы для модернизации Государственной геодезической сети. / Г. И. Кузнецов, В. В. Мкртычян, А. А. Коваль // Геодезия и картография. – № 7. – 1999. – С. 9–14
11. Минько, В. Ю. О перспективах модернизации государственной геодезической сети Республики Беларусь. «Геодезическое обеспечение ГИС в кадастре». Материалы Международной научно-производственной конференции В. Ю. Минько. – Горки, 1999. – С. 18–22.
12. Совершенствование государственной геодезической опоры Республики Беларусь / А. А. Соломонов [и др.]. // – Геодезия и картография. – 2000. – №5. – С. 12.
13. Основные положения по созданию топографических планов масштабов 1:5000, 1:2000; 1:1000, 1:500. Геодезические, картографические нормы и правила: утв. приказом Государственного комитета по имуществу Республики Беларусь от 30.04.2010 № 144: текст по состоянию на 08 декабря 2023 г. – Минск: Госкомимущество, 2010. – 54 с.
14. Государственная геодезическая сеть Республики Беларусь. Основные положения. Государственные стандарты Республики Беларусь: Утв. и введен в действие постановлением Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь от 31 июля 2006 г. № 35: текст по состоянию на 11 ноября 2023 г. – Минск: Госкомимущество, 2007. – 14 с.

15. Техническая инструкция по созданию и реконструкции геодезических сетей в населенных пунктах: утв. приказом Государственного комитета по имуществу Республики Беларусь от 16 февраля 2010 г. № 37: текст по состоянию на 27 октября 2023 г. – Минск: Госкомимущество, 2010.

16. Генике, А. А. Глобальная спутниковая система определения местоположения GPS и ее применение в геодезии / А. А. Генике, Г. Г. Побединский. – М.: Картогеоцентр – Геодезиздат, 1999. – 272 с.

17. Руководство по производству съемки земельных участков с использованием постоянно действующих пунктов: утв. и введено в действие приказом Государственного комитета по имуществу Республики Беларусь от 10 мая 2012 г. № 101, текст по состоянию на 07 сентября 2023 г. – Минск: Госкомимущество, 2012.

18. Аппаратура геодезическая потребителей спутниковых навигационных систем ГЛОНАСС и GPS Trimble R6, Trimble R7 GNSS // Описание типа средства измерений. [Электронный ресурс]. – 2013. – Режим доступа: <file:///C:/Users/User/Documents/Olga/%D0%9F%D0%BE%D1%81%D0%BE%D0%B1%D0%B8%D0%B5/prilozhenie-opisanie-tipa-sredstv-izmerenij-trimble-r7-gnss.pdf>. – Дата доступа: 12.12.2023.

19. О геодезической и картографической деятельности: закон Республики Беларусь, 14 июля 2008 г., № 396-З// Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь, 20.05.2024.

20. Геодезия. Топографические съемки: справочное пособие / Ю. К. Неумывакин, Е. И. Халугин, П. Н. Кузнецов, А. В. Бойко; под ред. В. П. Савиных, В. Р. Ященко. – Москва: Недра, 1991. – 316 с.

21. Лисицкий, Д. В. Основные принципы цифрового картографирования местности / Д. В. Лисицкий. – М.: Недра, 198. – 259 с.

22. Халугин, Е. И. Цифровые карты / Е. И. Халугин, Е. А. Жалковский, Н. Д. Жданов; под ред. Е. И. Халугина. – М.: Недра, 1992, 419 с.

23. Неумывакин, Ю. К. Земельно-кадастровые геодезические работы: учебник для вузов / Ю. К. Неумывакин, М. И. Перский. – М.: КолосС, 2005. – 184.

24. Подшивалов, В. П. Один из путей модернизации геодезической основы / В. П. Подшивалов // Геодезия и картография. – 2000. – № 5. – С. 12.

25. Куцаева, О. А. Использование данных дистанционного зондирования Земли при актуализации плано-картографических материалов / О. А. Куцаева, А. С. Ярмоленко // Земля Беларуси. – 2013. – № 3. – С. 42–48.

26. Неумывакин, Ю. К. Геодезическое обеспечение землеустроительных и кадастровых работ: справ. пособие / Ю. К. Неумывакин, М. И. Перский. – М.: Картогеоцентр – Геодезиздат, 1996.

27. Большаков, В. Д. Практикум по теории математической обработки геодезических измерений: учебное пособие для вузов / В. Д. Большаков, Ю. И. Маркузе. – М.: Недра, 1984.

28. Инструкция о порядке разработки проектов внутрихозяйственного землеустройства сельскохозяйственных организаций: утв. Постановлением Государственного комитета по земельным ресурсам, геодезии и картографии Республики Беларусь 5.07.2001 № 9: текст по состоянию на 05 октября 2023 г. – Минск: Госкомимущество, 2001.

29. Инструкция по установлению границ административно-территориальных и территориальных единиц Республики Беларусь: утв. Постановлением Государственного комитета по земельным ресурсам, геодезии и картографии Республики Беларусь 15.11.2000 № 1: текст по состоянию на 22 ноября 2023 г. – Минск: Госкомимущество, 2000.

30. Инструкция об основаниях назначения и порядке технической инвентаризации недвижимого имущества, а также проверки характеристик недвижимого имущества при совершении регистрационных действий: утв. Постановлением Государственного комитета по имуществу Республики Беларусь 24.03.2015 № 11 // Национальный реестр. – № 8/40961 от 05.01.2024 г.

31. Методические указания по съемке территории, составлению ситуационных и обзорных планов. [Электронный ресурс]. – 2018. – Режим доступа: https://nca.by/upload/medialibrary/86f/i776nxj14ny2x0f3tfkxiy5u42nqs3wz/prilozhenie_1_metodicheskie_ukazaniia_po_s_emke_territorii.pdf – Дата доступа: 10.10.2023.

32. Лурье, И. К. Геоинформационное картографирование. Методы геоинформатики и цифровой обработки космических снимков / И. К. Лурье. – Москва, 2010. – 424 с.

33. Инструкция о порядке создания, ведения (эксплуатации и обновления) земельно-информационной системы Республики Беларусь, доведения до заинтересованных сведений, содержащихся в базе данных земельно-информационной системы республики Беларусь: утв. Постановлением Государственного комитета по земельным ресурсам, геодезии и картографии Республики Беларусь 17.05.2021 № 10: текст по состоянию на 11 декабря 2023 г. – Минск: Госкомимущество, 2021.

34. Геопортал земельно-информационной системы Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – 2023. – Режим доступа: <https://gismap.by/>. – Дата доступа: 10.10.2023.

35. Публичная кадастровая карта [Электронный ресурс]. – 2023. – Режим доступа: <https://nca.by/services/resources-services/publicnaya-kadastrovaya-karta/>. – Дата доступа: 10.10.2023.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ И КАРТОГРАФИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВА И КАДАСТРА	4
1.1. Геодезическое обеспечение земельно-кадастровых работ	4
1.2. Развитие системы геодезического обеспечения земельно-кадастровых работ в современных условиях	5
Контрольные вопросы и задания	6
2. СИСТЕМЫ КООРДИНАТ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВЕ И В ЗЕМЕЛЬНОМ КАДАСТРЕ	7
2.1. Основные понятия о форме и размерах Земли. Общеземной эллипсоид, референц-эллипсоид, геоид, квазигеоид	7
2.2. Геодезическая система координат. Прямоугольные пространственные координаты. Связь двух систем координат. Международная общеземная система отсчета ITRS. Геоцентрическая система отсчета координат «Параметры Земли 1990 года». Мировая геодезическая система WGS-84	11
2.3. Система высот: геодезические, ортометрические и нормальные высоты	17
2.4. Проекция Гаусса – Крюгера. Системы координат СК-42, СК-63, СК-95	19
2.5. Преобразование (трансформирование) координат	28
2.6. Местные системы координат. Методы установления местных систем координат. Связь местных систем координат с государственной. Создание местных систем координат в Республике Беларусь	34
Контрольные вопросы и задания	39
3. СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ СОЗДАНИЯ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ СЕТИ И СЕТЕЙ СГУЩЕНИЯ	39
3.1. Состояние государственной геодезической сети Республики Беларусь.....	39
3.2. Структура геодезических сетей и основные требования к ним в населенных пунктах.....	41
3.3. Общие требования к построению сетей сгущения для целей землеустройства и земельного кадастра. Плотность пунктов на городских, застроенных территориях и землях сельскохозяйственных организаций	44
3.4. Построение сетей сгущения методом полигонометрии. Основные требования к полигонометрии. Особенности городской полигонометрии	48
3.5. Привязка съемочных сетей к стенным знакам.....	55
3.6. Общие сведения о глобальных навигационных спутниковых системах. Структура глобальных навигационных спутниковых систем	58
3.7. Структура передаваемого сигнала со спутника. Кодовые измерения. Фазовые измерения.....	61
3.8. Методы измерений и вычислений, используемые в спутниковых системах определения местоположения.....	64
3.8.1. Абсолютные и относительные методы спутниковых измерений. Первые, вторые и третьи разности, основанные на фазовых измерениях несущих колебаний.....	64
3.8.2. Разрешение неоднозначности фазовых измерений	72
3.9. Принцип определения местоположения пунктов. Относительное позиционирование. Дифференциальное позиционирование.....	74

3.10. Сеть постоянно действующих пунктов спутниковой сети точного позиционирования Республики Беларусь	79
3.11. Источники погрешностей при спутниковых измерениях	82
3.12. Состав пользовательской аппаратуры при работе со спутниковыми навигационными системами	83
3.13. Выполнение съемки земельных участков с использованием постоянно действующих пунктов	85
3.14. Обработка результатов спутниковых измерений. Трансформирование координат в спутниковых технологиях.....	88
Контрольные вопросы и задания.....	92
4. ПЛАНОВО-КАРТОГРАФИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВЕ И ЗЕМЕЛЬНОМ КАДАСТРЕ.....	93
4.1. Виды планово-картографических материалов, используемых в землеустройстве и в земельном кадастре.....	93
4.2. Понятие о точности планов (карт). Точность положения контурных точек на плане. Точность определения направлений и горизонтальных углов, изображенных на плане (карте). Точность площадей контуров, изображенных на плане.....	95
4.3. Обновление планов и карт. Обновление цифровых планов и карт. Использование данных дистанционного зондирования при обновлении планово-картографических материалов	100
Контрольные вопросы и задания.....	106
5. СПОСОБЫ И ТОЧНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОЩАДЕЙ.....	106
5.1. Способы определения площадей земельных участков, их точность	106
5.2. Практика определения площадей в современных условиях.....	112
Контрольные вопросы и задания.....	114
6. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ РАЗРАБОТКЕ И ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ПРОЕКТОВ ВНУТРИХОЗЯЙСТВЕННОГО ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВА	114
6.1. Геодезические работы, выполняемые при составлении и перенесении проектов внутрихозяйственного землеустройства на местность	114
6.2. Сущность формирования проектных границ участков. Требования, предъявляемые к топографической основе, используемой для формирования проектных границ земельных участков	116
6.3. Сущность и методы перенесения проектов на местность. Подготовка данных для перенесения проекта на местность	119
6.4. Элементы геодезических разбивочных работ: построение на местности проектного угла и проектного расстояния.....	123
6.5. Способы выноса на местность проектных точек и их точность. Точность площадей участков, перенесенных на местность	125
6.6. Вынос на местность проектной точки по высоте. Проложение на местности линии с заданным (проектным) уклоном.....	134
Контрольные вопросы и задания.....	136
7. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ УСТАНОВЛЕНИИ (ВОССТАНОВЛЕНИИ) ГРАНИЦ ЗЕМЕЛЬНЫХ УЧАСТКОВ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ, АДМИНИСТРАТИВНО-ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ И ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ ЕДИНИЦ	136
7.1. Цели и задачи установления границ земельных участков.....	136
7.2. Установление фиксированной границы земельного участка	139

7.3. Восстановление фиксированной границы земельного участка	149
7.4. Установление нефиксированной границы земельного участка.....	152
7.5. Подготовка данных для перенесения проекта на местность	156
7.6. Методы определения положения границ земельных участков и их точность ..	158
7.7. Методы сгущения государственной геодезической сети с разреженной привязкой границ земельных участков	167
7.8. Установление границ административно-территориальных и территориальных единиц. Оцифровка границ, определение периметра и площади	170
Контрольные вопросы и задания	180
8. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ИНВЕНТАРИЗАЦИИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ	180
8.1. Общие сведения об организации и содержании работ при проведении технической инвентаризации зданий и сооружений	180
8.2. Съёмка территории и составление ситуационного плана	181
Контрольные вопросы и задания	187
9. ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВЕ И В ЗЕМЕЛЬНОМ КАДАСТРЕ	187
9.1. Типы ГИС. Проблемно-ориентированные ГИС	187
9.2. Земельно-информационная система Республики Беларусь	191
9.3. Геопортал ЗИС Республики Беларусь. Публичная кадастровая карта.....	193
Контрольные вопросы и задания	196
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	197

Учебное издание

Писецкая Ольга Николаевна
Другаков Павел Владимирович
Куцаева Олеся Алексеевна и др.

ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
ЗЕМЕЛЬНО-КАДАСТРОВЫХ РАБОТ

Учебное пособие

Редактор *Е. П. Савиц*
Технический редактор *Н. Л. Якубовская*

Подписано в печать 31.07.2024. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная.
Ризография. Гарнитура «Таймс». Усл. печ. л. 11,86. Уч.-изд. л. 10,63.
Тираж 50 экз. Заказ .

УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия».
Свидетельство о ГРИИРПИ № 1/52 от 09.10.2013.
Ул. Мичурина, 13, 213407, г. Горки.

Отпечатано в УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия».
Ул. Мичурина, 5, 213407, г. Горки.