

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

«Воронежский государственный технический университет»

Кафедра «Кадастр недвижимости, землеустройства и геодезии»

**ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЗЕМЛЕУСТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТ**

Методические указания  
для самостоятельной работы по дисциплине  
«Геодезическое обеспечение землеустроительных работ» для студентов  
направления  
21.03.03 «Геодезия и дистанционное зондирование»  
всех форм обучения

Воронеж 2022

УДК 332.3(07)  
ББК 65.9(2) 32 - 5 М – 54

Печатается по решению учебно-методической комиссии  
строительного факультета

Составители: Нетребина Ю.С., доцент кафедры кадастра недвижимости,  
землеустройства и геодезии, Ершова Н.В., доцент кафедры кадастра  
недвижимости, землеустройства и геодезии

Методические указания для самостоятельной работы по дисциплине  
«Геодезическое обеспечение землеустроительных работ» для студентов  
направления 21.03.03 «Геодезия и дистанционное зондирование»  
всех форм обучения / ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический  
университет»; сост. Ю.С. Нетребина, Н.В. Ершова. Воронеж: Изд-во ВГТУ,  
2022. 39 с.

Ил. 18. Табл. 8. Прил.: 3.

УДК 332.3  
ББК 65.9 (2) 32-5

**Рецензент** – Н. И. Самбулов, доцент кафедры кадастра недвижимости,  
землеустройства и геодезии ВГТУ

## Оглавление

Введение .....	4
Задание 1. Определение параметров перехода между двумя плоскими прямоугольными системами координат .....	5
Задание 2. Создание съемочного обоснования методом проложения теодолитного хода с координатной привязкой .....	11
2.1 Определение условных координат конечной точки теодолитного хода и угла поворота на исходную базисную линию. ....	12
2.2 Уравнивание теодолитного хода .....	13
Задание 3. Определение координат поворотных точек границ земельного участка и координат границ объектов капитального строительства. Вычисление площади земельного участка .....	17
3.1 Полярная засечка.....	17
3.2 Линейная засечка .....	18
3.3 Створный метод .....	20
3.4 Метод перпендикуляров .....	20
3.5 Вычисление площади земельного участка .....	28
Приложение 1 .....	31
Приложение 2.....	32
Приложение 3.....	34

## Введение

В данных методических указаниях представлен пример комплекса геодезических работ, проведение которых является неотъемлемой частью процесса внесения в ЕГРН сведений о границах земельных участков, таких как:

- уточнение границ земельных участков (определение координат поворотных точек границ земельных участков);
- определение границ контуров ОКС;
- раздел земельных участков (проектирование границ земельных участков в соответствии с заявленной площадью);
- восстановление границ земельных участков (вынос проектных границ в натуру).

Для успешного выполнения поставленной задачи каждому студенту выдается индивидуальный вариант задания, включающий в себя сведения о координатах исходных пунктов, выполненных геодезических измерениях для создания съемочного обоснования и определения координат границ уточняемого земельного участка и ОКС, сведения о проектных площадях вновь образуемых земельных участков.

Все материалы вычислений вместе с исходными данными должны быть аккуратно оформлены на листах формата А4 или А3, и сгруппированы в соответствии с этапами выполнения задания.

Все расчеты необходимо производить при помощи калькулятора, так же допускается применение средств MS Office, при этом каждый этап расчетов необходимо сопровождать пояснениями. Конечные результаты расчетов должны быть сгруппированы в ведомости и каталоги в соответствии с приложениями, для облегчения взаимодействия с преподавателем при проверке правильности выполнения задания и допуска к защите.

Графические материалы (чертежи) подготавливаются на основании расчетов на бланках приложений «от руки», допускается применение графических редакторов и систем автоматизированного проектирования (САПР).

Объектом выполнения работ является земельный участок с кадастровым номером 90:23:0050203:100 и площадью 32.9 га, расположенный на землях сельскохозяйственного назначения. Граница земельного участка не установлена в соответствии с действующим законодательством. По техническому заданию на производство работ необходимо определить координаты поворотных точек границ земельного участка и его реальную площадь, произвести раздел земельного участка с последующим выносом на местность границ вновь образованных земельных участков.

## **Задание 1. Определение параметров перехода между двумя плоскими прямоугольными системами координат**

В соответствии с Постановлением Правительства РФ от 3 марта 2007 г. N 139 "Об утверждении Правил установления местных систем координат" внесение сведений в ЕГРН о положении границ земельный участков и ОКС должно осуществляться в каждом субъекте Российской Федерации в своей местной системе координат (МСК), единой для всего региона. До вступления в силу данного постановления ведение, тогда еще, государственного земельного кадастра (ГЗК) на территории всей страны в каждом муниципальном районе или городе регионального или федерального подчинения осуществлялось в разных системах координат. Помимо этого, различные крупные предприятия и государственные структуры могли вести инвентаризационный учет принадлежащего им недвижимого имущества в своих внутренних (ведомственных), зачастую, условных системах координат. Таким образом, в связи со вступлением в силу указанного выше постановления, возник вопрос о создании единой государственной основы кадастра, то есть определения координат всех исходных геодезических пунктов в единой МСК для каждого региона.

На практике процедура определения параметров перехода между различными системами координат, называемых так же «ключами» перехода, на больших территориях подчиняется сложным математическим законам, требующим привлечения знаний о фигуре Земли. В данной лабораторной работе будет рассмотрен простой пример преобразования двух плоских прямоугольных систем координат для небольшого участка земной поверхности с минимально необходимым набором исходных данных.

### **Цель задания:**

- научиться определять параметры перехода между двумя плоскими прямоугольными системами координат;
- научиться пересчитывать координаты точек из одной плоской прямоугольной системы координат в другую.

### **Исходные данные:**

Даны две точки на земной поверхности (А, В), координаты которых известны в МСК и условной системе координат (выдает преподаватель), координаты третьей точки (С) известны только в условной системе координат.

### **Задача:**

Определить параметры перехода между двумя системами координат по точкам А и В и вычислить координаты точки С в МСК.

**Порядок выполнения задания.**

Минимально необходимым набором данных для определения параметров перехода между двумя системами координат являются две точки, координаты которых известны в каждой системе координат (рис. 1.1)

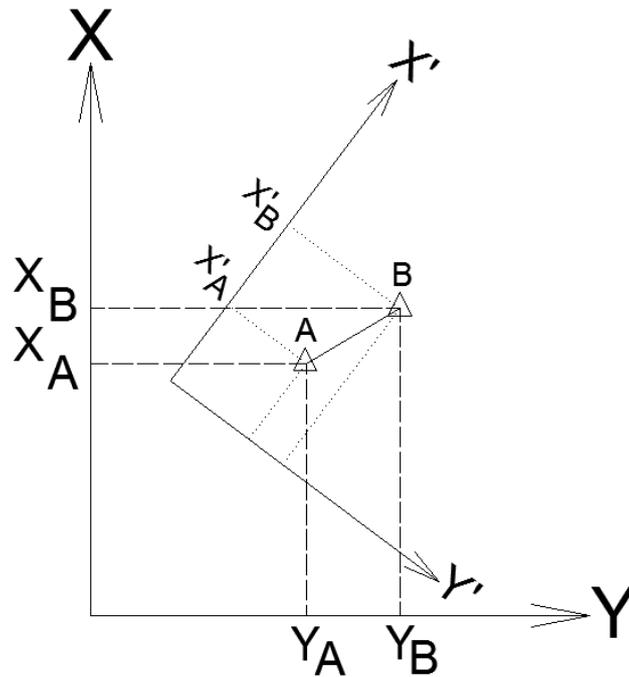


Рис. 1.1 Взаимное расположение осей МСК (X, Y) и условной СК (x', y')

Для пересчета координат из одной системы в другую (в нашем случае – условной СК в МСК) необходимо знать значения трёх параметров перехода:

- угол разворота осей условной СК относительно осей МСК (рис. 1.2);
- масштабный коэффициент (масштабный множитель);
- координаты начала условной СК в МСК (рис. 1.3).

## Определение угла разворота осей условной СК относительно осей МСК

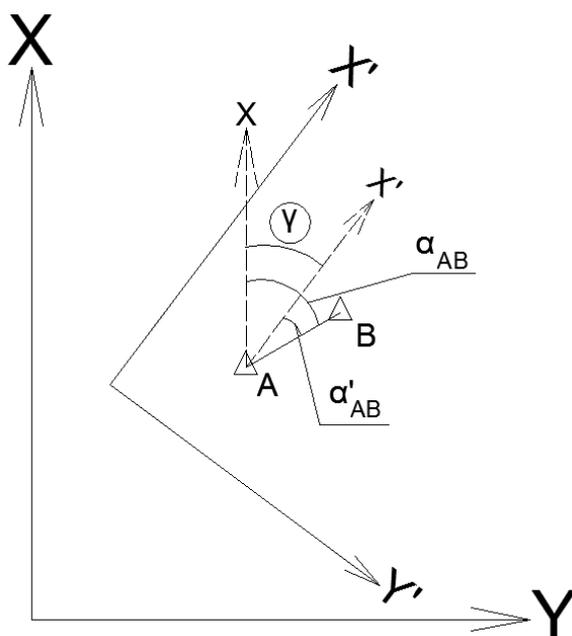


Рис. 1.2 Угол взаимного разворота осей систем координат

Угол взаимного разворота осей систем координат определяется как разность дирекционных углов одной и той же линии (формула 1.1), вычисленных в разных системах координат. Так как дирекционный угол – это угол, отсчитываемый от северного направления осевого меридиана (или, в нашем случае, от направления осей  $X$  и  $x'$ ), то вычислить данные дирекционные углы мы можем, решив обратную геодезическую задачу для линии  $AB$  по координатам точек  $A$  и  $B$  ( $X, Y$  и  $x', y'$ ) в местной и условной системах координат соответственно.

$$\gamma = \alpha_{AB} - \alpha'_{AB} \quad (1.1)$$

Где  $\alpha_{AB}$  и  $\alpha'_{AB}$  – дирекционные углы линии  $AB$  в местной и условной системах координат соответственно.

### 1. Вычисление масштабного коэффициента (масштабного множителя)

Масштабный коэффициент, или как его еще называют – масштабный множитель, является соотношением горизонтальных проложений одной и той же линии, вычисленных по координатам одних и тех же точек в разных системах координат (1.2). Таким образом, аналогично пункту 1.1, из решения обратной геодезической задачи получают значения горизонтального проложения линии  $AB$  в местной ( $S_{AB}$ ) и условной ( $S'_{AB}$ ) системах координат.

$$m = \frac{S_{AB}}{S'_{AB}} \quad (1.2)$$

## 2. Вычисление координат начала условной СК в МСК

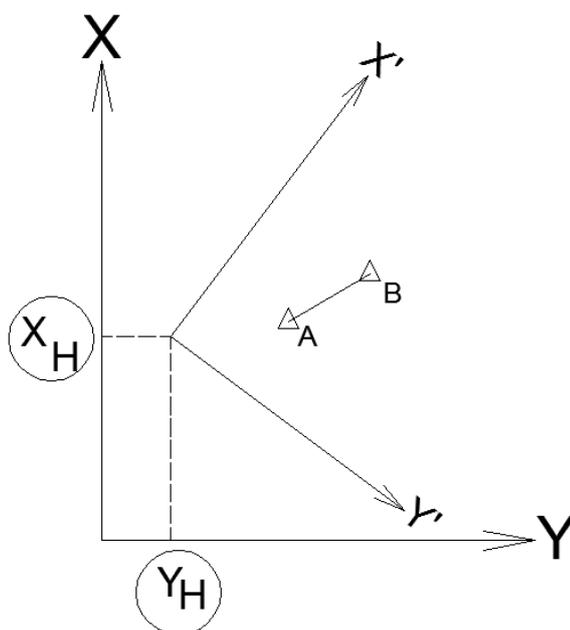


Рис. 1.3 Координаты начала условной системы координат в МСК

Координаты начала условной системы координат в МСК  $(X_H, Y_H)$  вычисляются по формуле (1.3), где  $(X, Y)$  – координаты точки в МСК,  $(x', y')$  – координаты этой же точки в условной системе координат.

$$\begin{bmatrix} X_H \\ Y_H \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix} - m \cdot \begin{bmatrix} \cos\gamma & -\sin\gamma \\ \sin\gamma & \cos\gamma \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} \quad (1.3)$$

Раскрыв скобки, получим следующие выражения:

$$X_H = X - x' \cdot m \cdot \cos\gamma + y' \cdot m \cdot \sin\gamma$$

$$Y_H = Y - x' \cdot m \cdot \sin\gamma - y' \cdot m \cdot \cos\gamma$$

### Пример выполнения задания

В процессе рекогносцировки в районе объекта работ обнаружены три исходных геодезических пункта (рп318, рп319, рп503) (рис.1.4). Координаты пунктов рп318 и рп503 известны в местной системе координат кадастрового округа и условной системе координат бывшего совхоза «Полевой», из земель которого ранее был выделен земельный участок. Координаты исходного геодезического пункта рп319 известны только в условной системе координат.

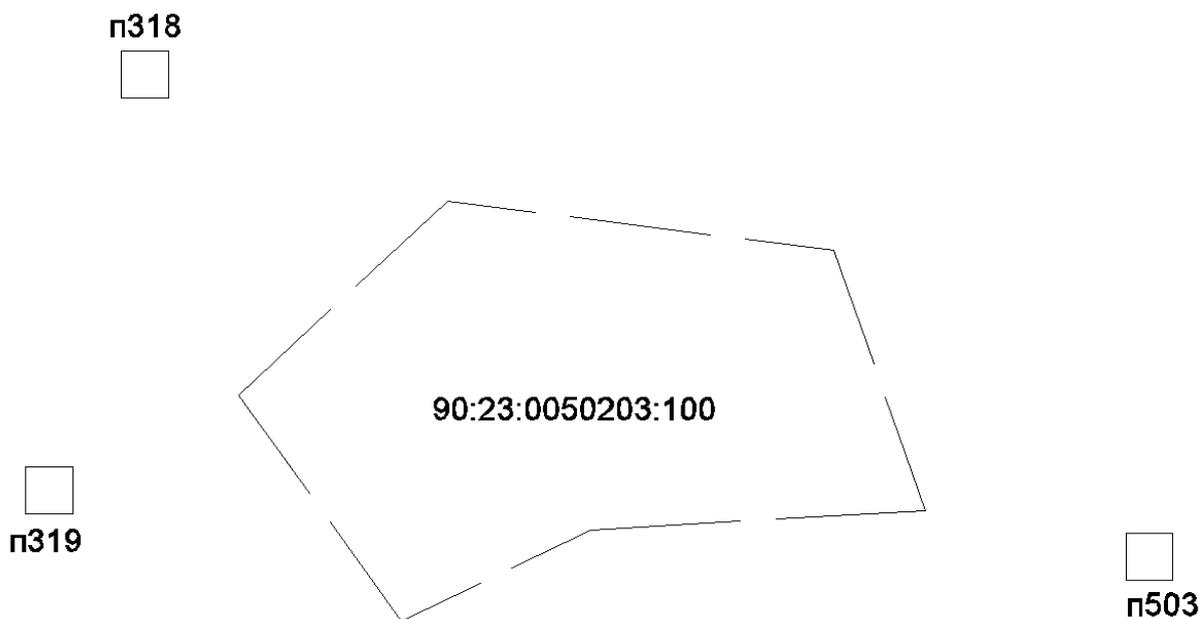


Рис. 1.4 Схема взаимного расположения объекта работ и исходных геодезических пунктов

**Задача:**

1. Определить параметры преобразования условной системы координат совхоза «Полевой» в местную систему координат кадастрового округа (МСК-90)
2. Определить координаты исходного геодезического пункта рп319 в системе координат МСК-90.

**Исходные данные:**

Таблица 1.1

Пункт	МСК-90		СК условная	
	X	Y	X'	Y'
п318	6556.39	12978.12	16148.27	29439.83
п319	-	-	15960.13	29365.94
п503	6265.70	13683.31	15879.43	30153.63

**Порядок выполнения:**

1. По координатам исходных пунктов п318 и п503 вычисляем приращения координат линии п318-п503 в системе координат МСК-90 и условной СК:

Линия	МСК-90		СК условная	
	$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta X'$	$\Delta Y'$
п318- п503	-290.69	705.19	-268.84	713.80

2. По вычисленным приращениям координат определяем дирекционные углы и горизонтальные проложения линии п318-п503 в местной и условной системах координат:

$$\alpha_{\text{п318-п503}} = 112^{\circ}24'07'', \alpha'_{\text{п318-п503}} = 110^{\circ}38'16''$$

$$S_{\text{п318-п503}} = 762.754\text{м}, S'_{\text{п318-п503}} = 762.749\text{м}$$

3. Вычисляем угол разворота осей условной СК относительно осей МСК-90 и масштабный коэффициент:

$$\gamma = 1^{\circ}45'51'', m = 1.00000655$$

4. Вычисляем координаты начала условной СК в МСК-90, по координатам пункта и318:

$$X_H = X_{\text{п318}} - X'_{\text{п318}} \cdot m \cdot \cos\gamma + Y'_{\text{п318}} \cdot m \cdot \sin\gamma = -8677.985$$

$$Y_H = Y_{\text{п318}} - X'_{\text{п318}} \cdot m \cdot \sin\gamma - Y'_{\text{п318}} \cdot m \cdot \cos\gamma = -16945.115$$

Для контроля вычисляем координаты начала условной СК по координатам пункта п503:

$$X_H = X_{\text{п503}} - X'_{\text{п503}} \cdot m \cdot \cos\gamma + Y'_{\text{п503}} \cdot m \cdot \sin\gamma = -8677.985$$

$$Y_H = Y_{\text{п503}} - X'_{\text{п503}} \cdot m \cdot \sin\gamma - Y'_{\text{п503}} \cdot m \cdot \cos\gamma = -16945.115$$

5. Вычисляем координаты п319, выразив их из формулы (1.3):

$$X_{\text{п319}} = X_H + X'_{\text{п319}} \cdot m \cdot \cos\gamma - Y'_{\text{п319}} \cdot m \cdot \sin\gamma = \mathbf{6370.613}$$

$$Y_{\text{п319}} = Y_H + X'_{\text{п319}} \cdot m \cdot \sin\gamma + Y'_{\text{п319}} \cdot m \cdot \cos\gamma = \mathbf{12898.472}$$

6. Для контроля вычислений по координатам п318 и п319 в системе координат МСК-90 ещё раз определяем некоторые параметры преобразования систем координат:

$$\alpha_{\text{п318-п319}} = 203^{\circ}12'21'', \alpha'_{\text{п318-п319}} = 201^{\circ}26'30''$$

$$S_{\text{п318-п503}} = 202.131\text{м}, S'_{\text{п318-п503}} = 202.130\text{м}$$

$$\gamma = 1^{\circ}45'51'', m = \mathbf{1.00000495}$$

Процесс вычислений и результаты оформить в соответствии с приложением №1.

## Задание 2. Создание съемочного обоснования методом проложения теодолитного хода с координатной привязкой

Для проведения теодолитной или тахеометрической съемки съемочное обоснование обычно создается методом проложения теодолитного хода, опирающегося на исходные геодезические пункты. Классический теодолитный ход опирается на две базисные линии в начале и конце хода или на одну и ту же базисную линию в начале и конце хода (теодолитный полигон). В этом случае возникает так называемое «условие дирекционных углов», и мы можем вычислить угловую невязку теодолитного хода. В современных условиях, ввиду состояния геодезических сетей, в особенности на застроенных территориях, далеко не всегда существует возможность замыкания теодолитного хода на базисные линии, так как часто между исходными пунктами отсутствует взаимная видимость. В таких случаях теодолитный ход замыкают на отдельные исходные геодезические пункты, а уравнивание осуществляют методом координатной привязки (рис. 2.1).

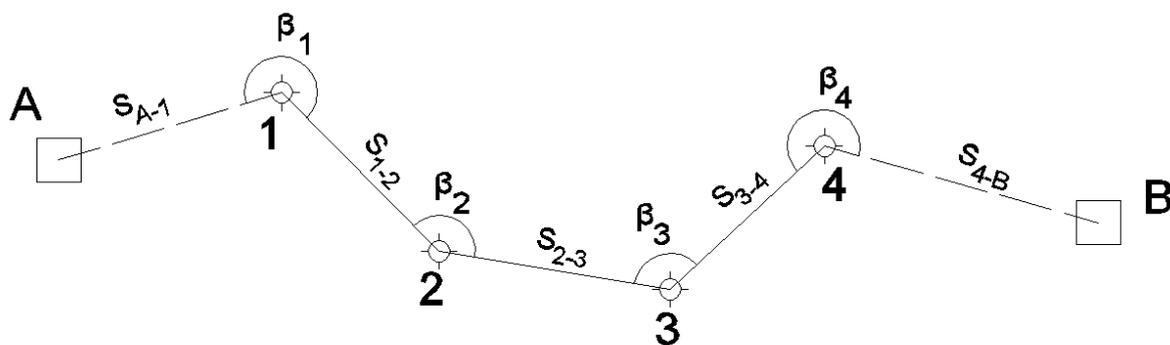


Рис. 2.1 Теодолитный ход с координатной привязкой

Особенностью обработки такого теодолитного хода является отсутствие угловой невязки, так как вычислить теоретическое значение суммы горизонтальных углов в теодолитном ходе не представляется возможным ввиду отсутствия у начальной и конечной линий хода известных значений дирекционных углов и взаимной видимости между исходными пунктами.

### Цель задания:

- научиться обрабатывать результаты геодезических наблюдений при уравнивании теодолитный ход с координатной привязкой;

### Исходные данные:

- два исходных геодезических пункта (A, B), координаты которых известны, но взаимная видимость между пунктами отсутствует;

- результаты геодезических измерений, выполненных при проложении теодолитного хода (измеренные горизонтальные углы (левые), измеренные горизонтальные проложения линий хода).

### Задача:

Уравнять теодолитный ход и вычислить координаты станций хода (пунктов съемочного обоснования).

### Порядок выполнения задания.

Обработку теодолитного хода с координатной привязкой осуществляют в несколько этапов:

- определение условных координат конечной точки теодолитного хода;
- вычисление угла поворота условного теодолитного хода на исходную базисную линию;
- уравнивание теодолитного хода с оценкой точности.

#### 2.1 Определение условных координат конечной точки теодолитного хода и угла поворота на исходную базисную линию.

Для определения условных координат конечной точки теодолитного хода ( $B'$ ), начальной линии теодолитного хода необходимо задать условный дирекционный угол. Как правило, этот угол принимают равным нулю, и направление начальной линии теодолитного хода будет соответствовать северному направлению осевого меридиана (рис. 2.2).

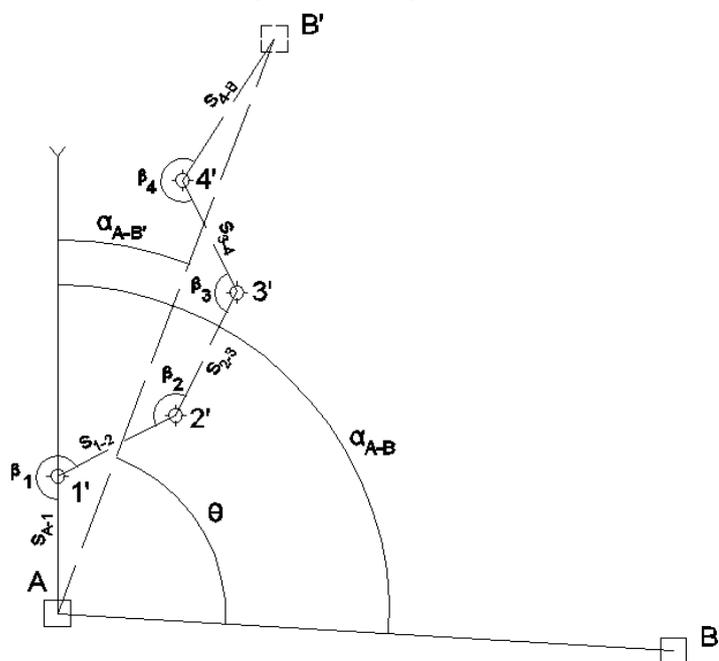


Рис. 2.2 Определение условных координат конечной точки теодолитного хода

Последовательно передавая дирекционный угол от начальной линии теодолитного хода к конечной линии по измеренным значениям горизонтальных углов, и последовательно решая прямую геодезическую задачу, используя измеренные горизонтальные проложения линий хода, получаем условные приращения координат между всеми точками хода. Условные координаты конечной точки хода при этом вычисляются по формуле (2.1), как сумма вычисленных приращений координат и координат начальной точки хода.

$$\begin{aligned} X_{B'} &= X_A + \Sigma(\Delta X_{A-1'} \dots \Delta X_{n-B'}) \\ Y_{B'} &= Y_A + \Sigma(\Delta Y_{A-1'} \dots \Delta Y_{n-B'}) \end{aligned} \quad (2.1)$$

Угол поворота условного теодолитного хода на исходную базисную линию (рис. 2.2) вычисляют как разность направлений из начального исходного пункта (А) на истинный конечный исходный пункт (В) и условный (В'), то есть как разность дирекционных углов линий А-В и А-В' по формуле (2.2) фита

$$\Theta = \alpha_{A-B} - \alpha_{A-B'} \quad (2.2)$$

## 2.2 Уравнивание теодолитного хода

Вычислив значение угла поворота условного теодолитного хода, исправляем значение дирекционного угла начальной линии теодолитного хода А-1 по формуле (2.3). В случае, если условный дирекционный угол данной линии был выбран равным нулю, значение исправленного дирекционного угла будет численно равно углу поворота (рис. 2.3).

$$\alpha_{A-1}^{\text{испр.}} = \alpha_{A-1}^{\text{усл.}} + \Theta \quad (2.3)$$

Следует отметить, что после разворота теодолитного хода точки В и В' окажутся на одной линии, но их местоположение не совпадет, причиной этого являются неизбежные ошибки в линейных и угловых полевых измерениях. Разность значений горизонтальных проложений линий А-В и А-В' будет являться линейной невязкой теодолитного хода ( $f_s$ ) (рис.2.3). Перед продолжением уравнивания теодолитного хода необходимо убедиться в допустимости данной невязки по формуле (2.4)

$$f_{s_{\text{отн.}}} = \frac{f_s}{\Sigma S} \leq \frac{1}{2000} \quad (2.4)$$

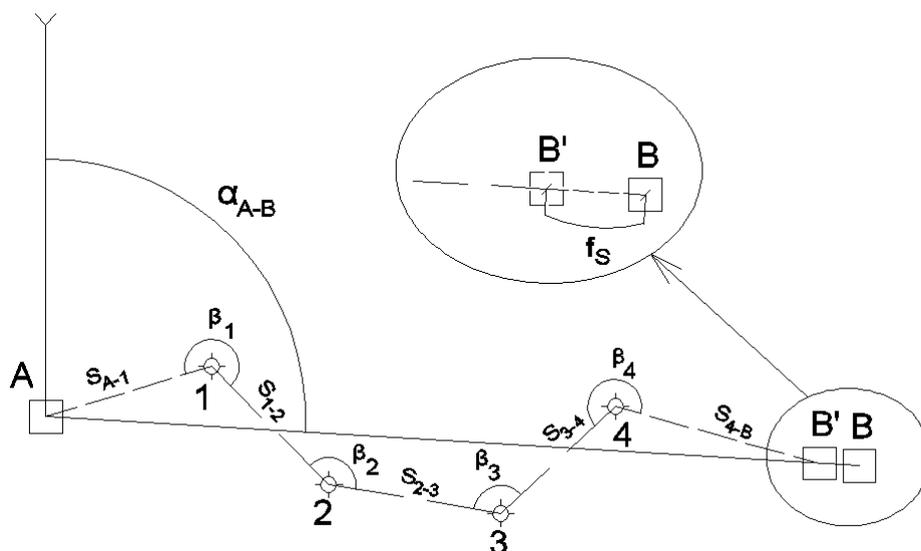


Рис. 2.3 Уравнивание теодолитного хода

Дальнейшее уравнивание теодолитного хода осуществляется следующим образом:

- аналогично пункту 2.1, по исправленному дирекционному гуду линии А-1 и измеренным горизонтальным углам вычисляются исправленные значения дирекционных углов всех линий теодолитного хода;
- по измеренным значениям горизонтальных проложений и исправленным дирекционным углам вычисляются приращения координат между всеми точками теодолитного хода;
- дальнейшая обработка и оценка точности осуществляются по классическому алгоритму уравнивания теодолитного хода.

### Пример выполнения задания

Для определения координат поворотных точек границ и для проведения последующих геодезических работ на земельном участке 90:23:0050203:100 между исходными пунктами п319 и п503 была создана сеть съёмочного обоснования методом проложения теодолитного хода. Ввиду того, что между всеми близлежащими исходными геодезическими пунктами отсутствует взаимная видимость, проложение теодолитного хода было решено осуществлять методом координатной привязки (рис. 2.4).

#### Задача:

Определить координаты пунктов съёмочного обоснования

#### Исходные данные:

Координаты исходных пунктов (из результатов выполнения задания 1), результаты геодезических наблюдений (выдает преподаватель).

п318

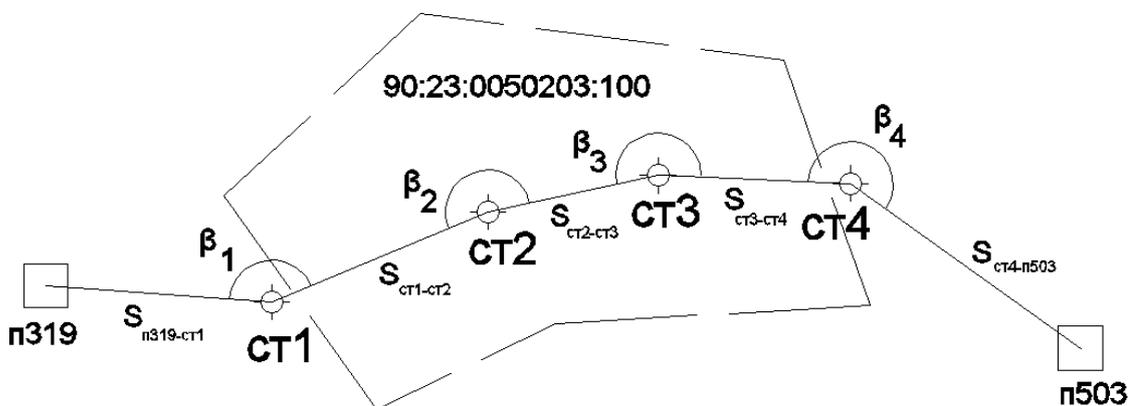


Рис. 2.4 Схема хода съемочного обоснования

**Порядок выполнения:**

Все вычисления выполняются на бланках ведомости обработки теодолитного хода.

Определение условных координат конечной точки теодолитного хода

Таблица 2.1

станция	β изм.			α изм.			S м	ΔX м	ΔY м	X	Y
	°	'	“	°	'	“					
<b>п319</b>				<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>				<b>6370.613</b>	<b>12898.472</b>
ст1	153	9	22	333	9	22	173.007	173.007	0.000		
ст2	190	35	33	343	44	55	178.827	159.557	-80.751		
ст3	194	27	3	358	11	58	132.815	127.508	-37.169		
ст4	213	20	40	31	32	37	146.969	146.896	-4.618		
							216.823	184.785	113.431		
<b>п503'</b>							<b>Σ</b>	<b>791.753</b>	<b>-9.106</b>	<b>7162.366</b>	<b>12889.366</b>

Вычисление угла поворота условного теодолитного хода на исходную базисную линию

$$\alpha_{п319-п503} = 97^{\circ} 36' 49''$$

$$\alpha_{п319-п503}' = 359^{\circ} 20' 27''$$

$$\theta = 98^{\circ} 16' 22''$$

Уравнивание теодолитного хода

Таблица 2.2

станция	β изм.			α испр.			S м	ΔX м	VΔX м	ΔY м	VΔY м	ΔX ур. м	ΔY ур. м	X	Y
	°	'	“	°	'	“									
<b>п319</b>														<b>6370.613</b>	<b>12898.472</b>
				<b>98</b>	<b>16</b>	<b>22</b>	173.007	-24.893	-0.004	171.207	0.002	-24.897	171.209		
ст1	153	9	12											6345.716	13069.681
				71	25	34	178.827	56.961	-0.004	169.513	0.002	56.957	169.514		
ст2	190	35	43											6402.673	13239.195
				82	1	17	132.815	18.435	-0.003	131.529	0.001	18.432	131.531		
ст3	194	27	3											6421.105	13370.726
				96	28	20	146.969	-16.567	-0.003	146.032	0.002	-16.570	146.034		
ст4	213	20	30											6404.536	13516.760
				129	48	50	216.823	-138.831	-0.005	166.548	0.002	-138.836	166.550		
<b>п503</b>														<b>6265.700</b>	<b>13683.310</b>
						ΣS	848.441								
							ΣΔX п.	-104.895	ΣΔY п.	784.829					
							ΣΔX т.	-104.913	ΣΔY т.	784.838					
							fΔX	0.018	fΔY	-0.009					
							fs	0.020	fs/ΣS	1/42207					

Результаты обработки оформить в соответствии с приложением № 2

### **Задание 3. Определение координат поворотных точек границ земельного участка и координат границ объектов капитального строительства.**

#### **Вычисление площади земельного участка**

В данном разделе учебного пособия будут рассмотрены методы определения координат точек, применяющиеся в геодезических, кадастровых и землеустроительных работах. В настоящее время данные методы не только не потеряли актуальность в связи с активным развитием ГНСС - технологий, но и остались во многих случаях единственно возможными к применению.

#### **Цель задания:**

- научиться обрабатывать результаты геодезических наблюдений при определении координат точек методом полярной засечки, линейной засечки, методом створов и перпендикуляров;

#### **Исходные данные:**

- координаты пунктов съемочного обоснования;
- результаты геодезических измерений..

#### **Задача:**

- Определить координаты поворотных точек границ земельного участка и его площадь.
- Определить координаты границ объектов капитального строительства и площади застройки.

#### **Порядок выполнения задания.**

Рассмотрим подробно каждый из методов

##### **3.1 Полярная засечка**

Метод полярной засечки, так же известный как «метод полярных координат», является основным методом определения координат точек при помощи электронного тахеометра, так как в основу его заложено измерение горизонтального угла между направлениями на исходный пункт и определяемую точку и горизонтального проложения между определяемой точкой и точкой установки тахеометра (станцией) (рис 3.1)

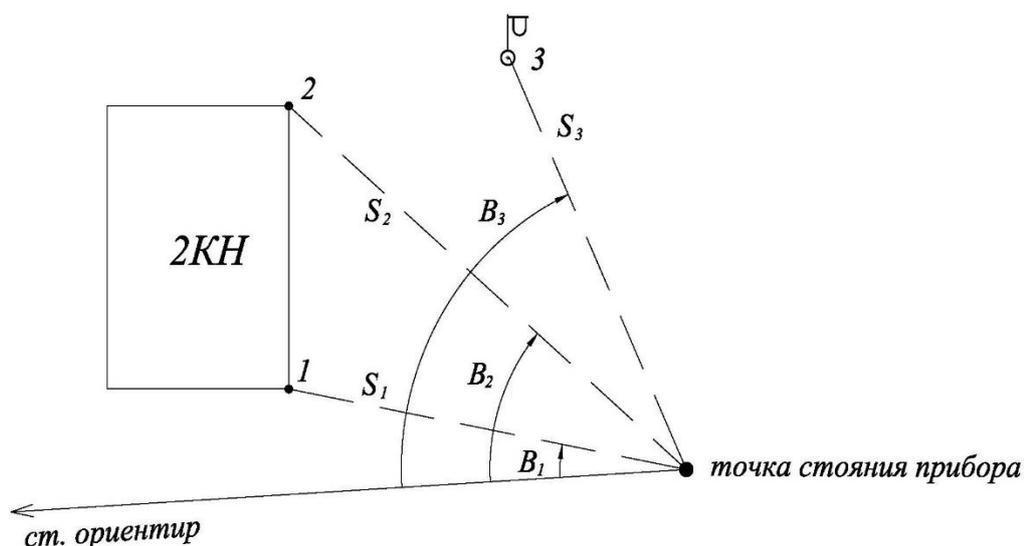


Рис. 3.1 Метод полярной засечки

Вычисление координат определяемой точки осуществляется по следующему алгоритму:

- передача дирекционного угла от линии ориентирования к линии направления на определяемую точку (3.1);
- решение прямой геодезической задачи между станцией установки тахеометра и определяемой точкой (3.2)
- вычисление координат определяемой точки (3.3)

$$\alpha_{\text{ст.-опр.т.}} = \alpha_{\text{ориент.-ст.}} + \beta(\text{левый}) \pm 180^\circ \quad (3.1)$$

$$\begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \end{bmatrix}_{\text{ст.-опр.т.}} = S \cdot \begin{bmatrix} \cos \alpha_{\text{ст.-опр.т.}} \\ \sin \alpha_{\text{ст.-опр.т.}} \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

$$\begin{bmatrix} X_{\text{опр.т.}} \\ Y_{\text{опр.т.}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_{\text{ст.}} \\ Y_{\text{ст.}} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \end{bmatrix}_{\text{ст.-опр.т.}} \quad (3.3)$$

### 3.2 Линейная засечка

Метод линейной засечки обычно используется в условиях, при которых возможность применения метода полярной засечки для определения координат точки отсутствует, например, нет прямой видимости с пункта съёмочного обоснования на определяемую точку. В таких случаях с пункта съёмочного обоснования методом полярной координируются нескольких точек рядом с определяемой (минимум – две, для контроля – три) и измеряются расстояния от них до определяемой точки (рис. 3.2)

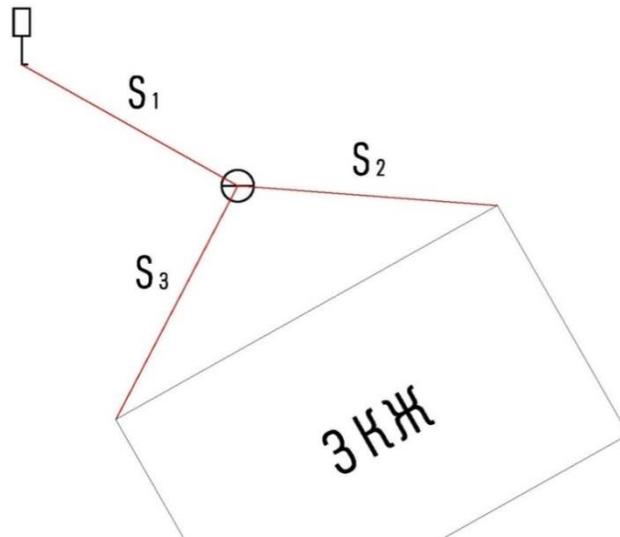


Рис. 3.2 Метод линейной засечки

Вычисление координат определяемой точки осуществляется по следующему алгоритму (рис. 3.3):

- определение дирекционного угла и горизонтального проложения линии АВ;
- по измеренным расстояниям  $S_1$  и  $S_2$  и вычисленному АВ с применением теоремы косинусов решают треугольник АВР и определяют углы  $\beta_1$  (3.4),  $\beta_2$ ,  $\gamma$ ;
- по вычисленным углам  $\beta_1$  и  $\beta_2$  и дирекционному углу линии АВ вычисляют дирекционные углы линий АР (3.5) и ВР;
- решая прямую геодезическую задачу по линиям АР и ВР, дважды определяют координаты точки Р.

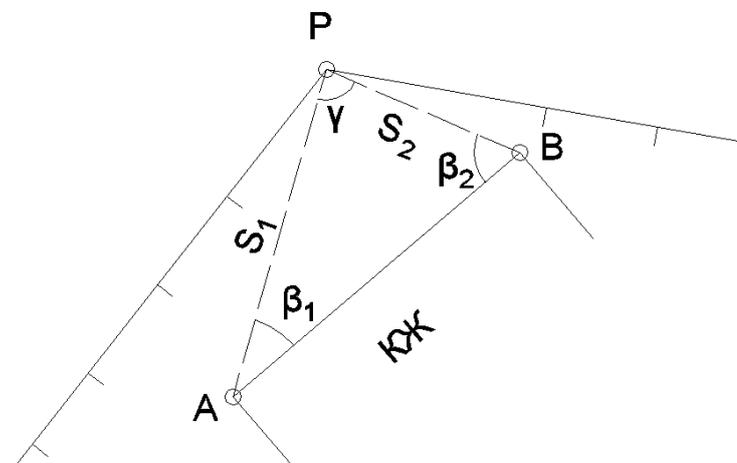


Рис 3.3 Процесс решения угловой засечки

$$\beta_1 = \arccos\left(\frac{S_2^2 - S_{AB}^2 - S_1^2}{-2 \cdot S_{AB} \cdot S_1}\right) \quad (3.4)$$

$$\alpha_{AP} = \alpha_{AB} - \beta_1 \quad (3.5)$$

### 3.3 Створный метод

Аналогично предыдущему методу, применяется в случае отсутствия прямой видимости на определяемую с точки съемочного обоснования, при этом определяемая точка находится на прямой линии, видимость на которую есть с точки съемочного обоснования. Например, данный способ крайне удобен в случае съемки угла здания, если сам угол не виден, но практически полностью видна стена здания.

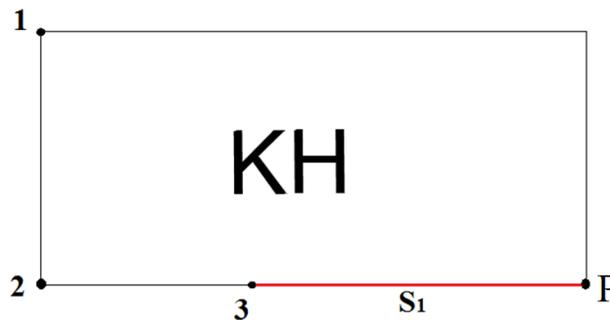


Рис. 3.4 Створный метод

Для практической реализации данного метода (рис. 3.4) на прямой линии выбираются две точки, координаты которых можно определить при помощи электронного тахеометра (2 и 3), затем измеряется расстояние ( $S_1$ ) от одной из этих точек до определяемой (P).

Математическая обработка данного метода крайне проста. Так как все три точки находятся на одной линии, то  $\alpha_{2-3}$  будет равен  $\alpha_{3-P}$ . Таким образом, решая обратную геодезическую задачу для точек 2 и 3, определяем  $\alpha_{2-3}$ , а затем, решая прямую геодезическую задачу для линии 3-P, определяем координаты точки P.

### 3.4 Метод перпендикуляров

Данный метод применяется в основном для съемки границ зданий (так как в большинстве случаев углы зданий являются прямыми).

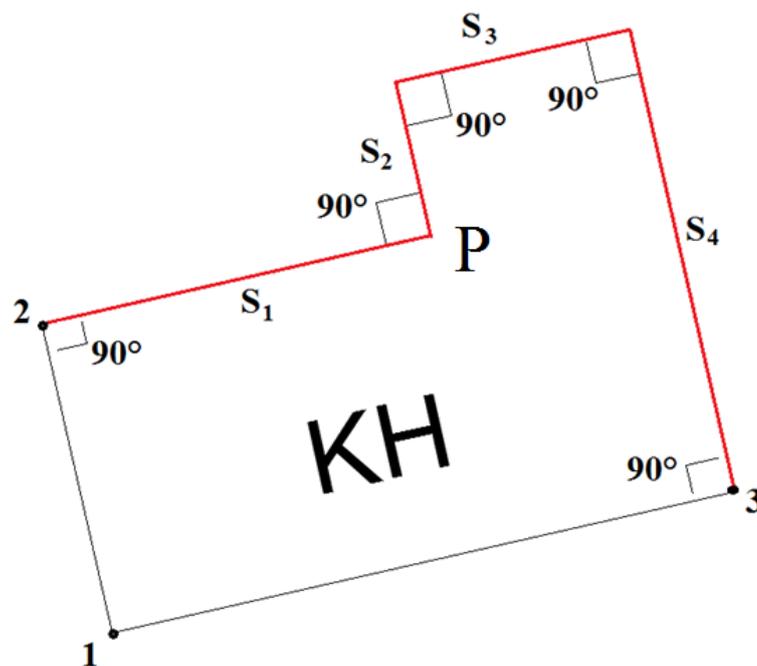


Рис. 3.5 Метод перпендикуляров

На практике, если все линии границы здания развернуты относительно друг друга на 90 градусов (рис.3.5), то для определения координат всех поворотных точек границы здания сначала полярным методом с пунктов съемочного обоснования определяют координаты максимально возможного количества видимых углов здания (1, 2, 3). Затем лазерным дальномером или обычной рулеткой измеряют длины остальных стен здания ( $S_1 - S_4$ ).

Математическая обработка данного метода сходна с методом створов. По координатам определенных ранее углов здания (1, 2, 3) (рис. 3.5) решаем обратные геодезические задачи для линий, образованных этими углами (1-2, 1-3), а затем, последовательно прибавляя или вычитая углы поворота границ здания ( $90^\circ$ ), вычисляем дирекционные углы данных линий (3.6). Решая прямые геодезические задачи по этим линиям, определяем приращения координат всех оставшихся границ здания. Последовательно прибавляя полученные приращения координат к известным координатам углов здания, определяем координаты оставшихся углов здания.

$$\alpha_{2-P} = \alpha_{1-2} \pm 90^\circ \quad (3.6)$$

### Пример выполнения задания

По условию задания необходимо определить координаты поворотных точек границ участка 90:23:0050203:100 и углов двух зданий (ОКС), расположенных на территории участка. На предыдущем этапе через участок был проложен теодолитный ход, две точки которого (ст2, ст3) находятся непосредственно на

территории земельного участка (рис.2.4) и будут являться точками съёмочного обоснования для выполнения всех дальнейших геодезических работ.

С пункта ст2 были выполнены геодезические измерения методом полярной засечки точек границ земельного участка 1, 2, 3. Ввиду того, что на северный угол участка нет прямой видимости с точки ст2, так как он скрыт за зданием, на северо-западной и северо-восточной границе участка были «сняты» точки 4 и 5 соответственно для определения поворотной точки границы методом линейно засечки, так же с точки ст2 были выполнены наблюдения на все видимые углы здания 1, ориентирование осуществлялось на пункт ст3.

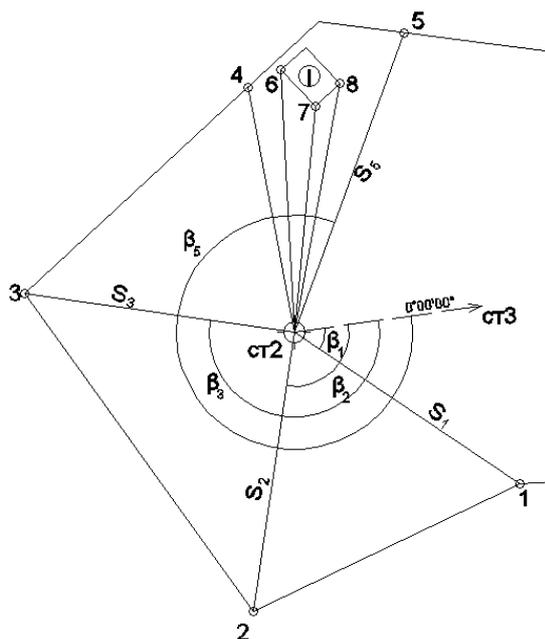


Рис. 3.6 Абрисы полевых измерений на станции 2

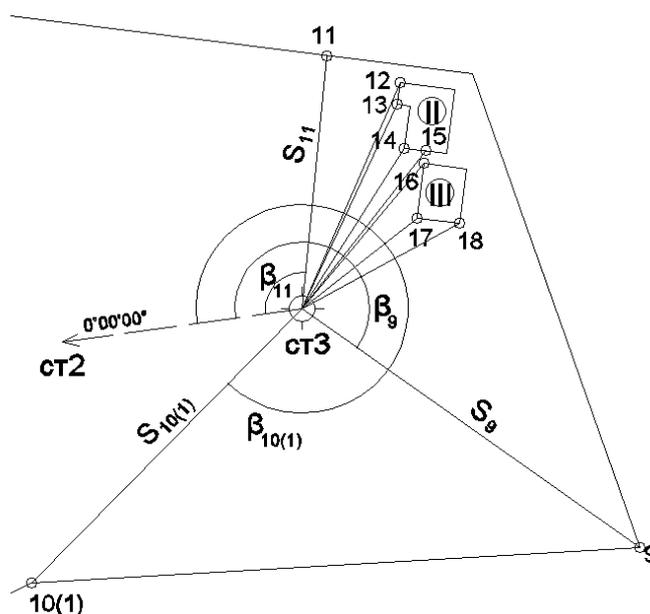


Рис. 3.7 Абрисы полевых измерений на станции 3

Затем тахеометр был перенесен на пункт ст3, выполнено ориентирование на пункт ст2, и продолжена съемка оставшихся точек границ участка и углов зданий 2 и 3.

Так как с пункта ст3 отсутствует прямая видимость на северо-восточный угол участка, на границе участка, в створе с точкой 5 была дополнительно «снята» точка 11 для определения координат угла участка створным методом. Так же, по причине отсутствия видимости на юго-восточный угол здания 2, на его стене была дополнительно «снята» точка 15. Для контроля со станции 3 были выполнены повторные измерения точки 1.

Результаты наблюдений занесены в полевой абрис (рис. 3.6, 3.7) и в журнал полевых наблюдений (таблица 3.1).

Таблица 3.1

### Журнал полевых наблюдений

точка	β			S	точка	B			S
	г	м	с	м		г	м	с	м
<b>ст2</b>					<b>ст3</b>				
<b>ст3</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>		<b>ст2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	
<b>1</b>	41	57	33	82.302	<b>9</b>	223	32	23	96.709
<b>2</b>	106	11	43	85.711	<b>10(1)</b>	322	27	42	90.313
<b>3</b>	196	7	38	82.050	<b>11</b>	119	36	34	61.487
<b>4</b>	274	21	25	82.751	<b>12</b>	121	12	30	57.585
<b>5</b>	289	42	54	94.833	<b>13</b>	122	41	55	52.795
					<b>14</b>	130	15	21	44.54
<b>6</b>	275	14	39	79.894	<b>15</b>	135	48	16	46.871
<b>7</b>	283	18	40	69.138	<b>16</b>	137	46	32	44.314
<b>8</b>	288	16	1	76.900	<b>17</b>	149	36	24	34.074
					<b>18</b>	159	29	18	41.681

Камеральная обработка результатов наблюдений представлена на примере определения координат точки 2.

$$\alpha_{ст2-2} = \alpha_{ст2-ст3} + \beta_2 = 82^\circ 01' 17'' + 106^\circ 11' 43'' = 188^\circ 13' 00''$$

$$\Delta X_{ст2-2} = 85.711 \cdot \cos 188^\circ 13' 00'' = -84.831$$

$$\Delta Y_{ст2-2} = 85.711 \cdot \sin 188^\circ 13' 00'' = -12.249$$

$$X_2 = 6402.673 - 84.831 = 6317.842$$

$$Y_2 = 13239.195 - 12.249 = 13226.946$$

Процесс вычисления координат оставшихся точек представлен в таблице 3.2

Таблица 3.2

## Ведомость вычисления координат точек участка и зданий

	β изм.			S м	α изм.			ΔX м	ΔY м	X	Y
	Г	М	с		Г	М	с				
<b>ст2</b>										<b>6402.67304</b>	<b>13239.1953</b>
<b>ст3</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>		<b>82</b>	<b>1</b>	<b>17</b>				
1	41	57	33	82.302	123	58	50	-46.000	68.247	6356.673	13307.442
2	106	11	43	85.711	188	13	0	-84.831	-12.250	6317.842	13226.946
3	196	7	38	82.050	278	8	55	11.630	-81.222	6414.303	13157.974
4	274	21	25	82.751	356	22	42	82.586	-5.227	6485.259	13233.968
5	289	42	54	94.833	11	44	11	92.850	19.290	6495.523	13258.485
6	275	14	39	79.894	357	15	56	79.803	-3.811	6482.476	13235.384
7	283	18	40	69.138	5	19	57	68.839	6.425	6471.512	13245.621
8	288	16	1	76.900	10	17	18	75.664	13.735	6478.337	13252.930
<b>ст3</b>										<b>6421.105</b>	<b>13370.726</b>
<b>ст2</b>					<b>262</b>	<b>1</b>	<b>17</b>				
9	223	32	23	96.709	125	33	40	-56.243	78.672	6364.862	13449.398
10(1)	322	27	42	90.313	224	28	59	-64.434	-63.282	6356.671	13307.444
11	119	36	34	61.487	21	37	51	57.157	22.666	6478.262	13393.392
12	121	12	30	57.585	23	13	47	52.917	22.713	6474.022	13393.439
13	122	41	55	52.795	24	43	12	47.957	22.078	6469.062	13392.804
14	130	15	21	44.54	32	16	38	37.657	23.785	6458.763	13394.511
15	135	48	16	46.871	37	49	33	37.022	28.744	6458.128	13399.470
16	137	46	32	44.314	39	47	49	34.047	28.364	6455.153	13399.090
17	149	36	24	34.074	51	37	41	21.152	26.714	6442.257	13397.440
18	159	29	18	41.681	61	30	35	19.882	36.633	6440.988	13407.359

После выполнения съемки электронным тахеометром, лазерной рулеткой были произведены линейные домеры, необходимые для определения координат оставшихся точек.

Для определения координат угловой точки 19 земельного участка методом линейной засечки были измерены расстояния от точек 4 и 5 (рис. 3.8)

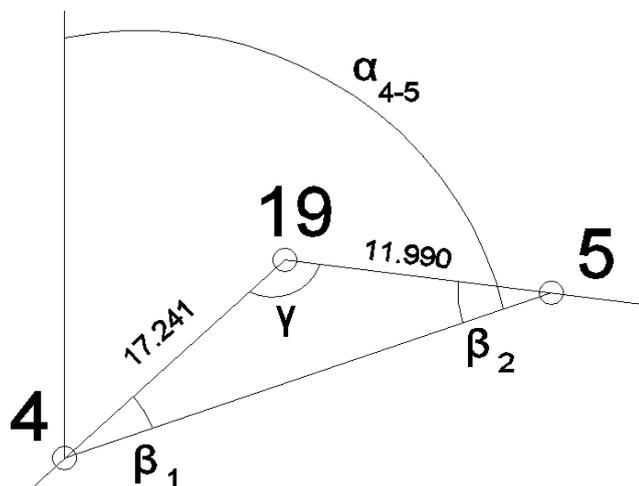


Рис. 3.8 Линейная засечка точки 19

Вычисления координат выполняются в следующем порядке:

$$\alpha_{4-5} = 67^{\circ}16'56", S_{4-5} = 26.579\text{м}$$

$$\beta_1 = 20^{\circ}19'00", \beta_2 = 30^{\circ}00'33", \gamma = 129^{\circ}40'28"$$

$$\alpha_{4-19} = 46^{\circ}57'56", \alpha_{5-19} = 277^{\circ}17'29"$$

$$\text{От точки 4: } X_{19} = 6497.045, Y_{19} = 13246.592$$

Контроль:

$$\text{От точки 5: } X_{19} = 6497.045, Y_{19} = 13246.592$$

Координаты последней точки 20 границы земельного участка и точки 21 – угла здания 2 были определены створным методом. Для этого были выполнены измерения двух расстояний: от точки 11 до угла участка и длины стены здания, на которой расположены точки 14 и 15 (рис. 3.9).

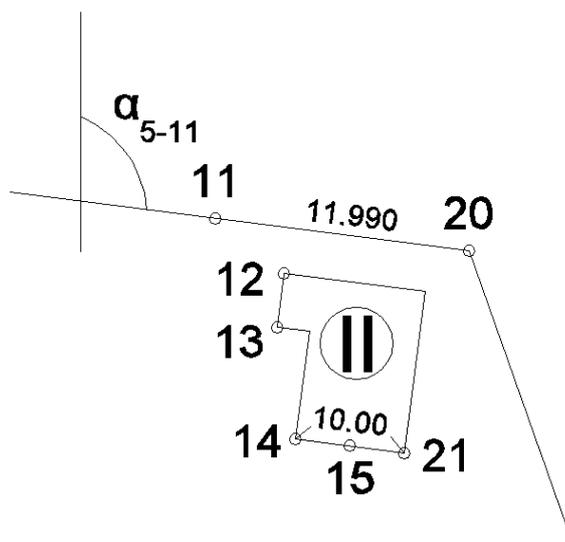


Рис. 3.9 Створный метод для определения координат точек 20 и 21

Рассмотрим пример вычисления координат для точки 20:

$$\alpha_{11-20} = \alpha_{5-11} = 97^{\circ}17'28''$$

$$\Delta X_{11-20} = 11.990 \cdot \cos 97^{\circ}17'28'' = -2.168$$

$$\Delta Y_{11-20} = 11.990 \cdot \sin 97^{\circ}17'28'' = 16.947$$

$$X_{20} = 6476.094, Y_{20} = 13410.339$$

Проведя аналогичные вычисления для точки 21, где  $\alpha_{14-15} = \alpha_{14-21}$ , и приняв в качестве исходных координаты точки 14, так как именно от неё измерялось расстояние, получим координаты точки 21:

$$X_{21} = 6457.493, Y_{21} = 13404.430$$

Определение координат оставшихся углов зданий (точки 22, 23, 24, 25) производилось методом перпендикуляров, для этого были измерены длины всех стен зданий, видимости на которые не было с точек съёмочного обоснования. Дополнительно были произведены контрольные промеры от углов зданий до ближайших углов границы земельного участка (рис. 3.10).

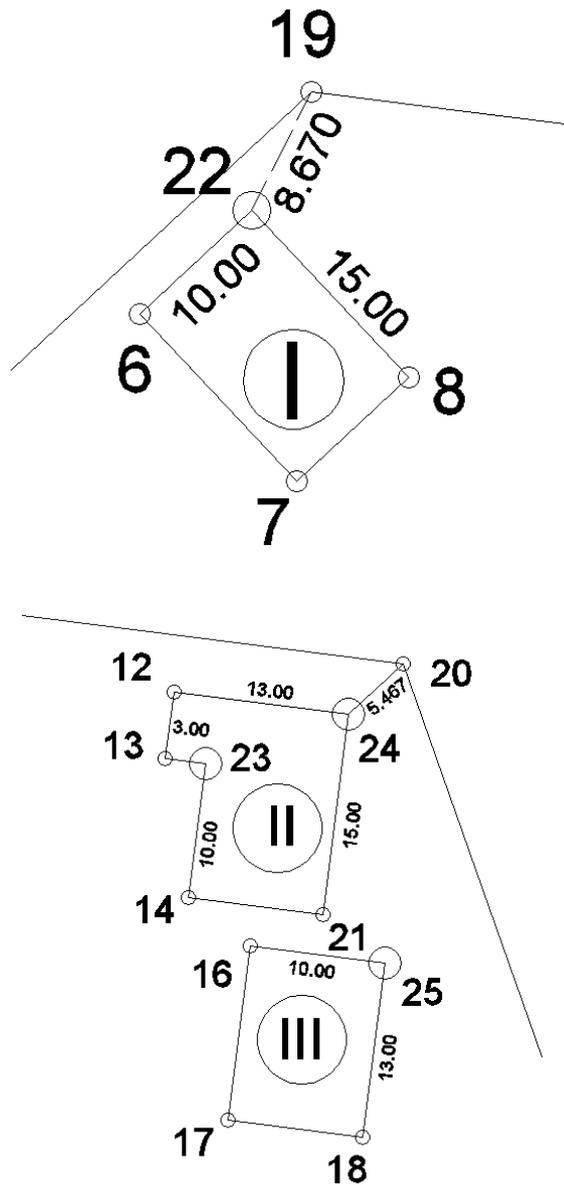


Рис. 3.10 Метод перпендикуляров для определения координат точек 22-25.

Рассмотрим применение метода перпендикуляров на примере точки 22:

$$\alpha_{6-22} = \alpha_{6-7} - 90^\circ = 46^\circ 57' 54''$$

$$\Delta X_{6-22} = 10.00 \cdot \cos 46^\circ 57' 54'' = 6.824$$

$$\Delta Y_{6-22} = 10.00 \cdot \sin 46^\circ 57' 54'' = 7.309$$

$$X_{22} = 6489.301, Y_{22} = 13242.693$$

Для контроля правильности вычислений необходимо решить обратные геодезические задачи для пар точек 22-19 и 22-8 и сравнить полученные горизонтальные проложения данных линий с их измеренными значениями.

Для вычисления координат точки 23 в качестве исходной линии принять линию 12-13, контроль – линия 14-23, для точки 24 так же линия 12-13, контроль – линии 21-24 и 24-20, для точки 25 исходная линия – 16-17, контроль – линия 18-25.

*Следует обратить внимание*, что, контролируя измеренные расстояния 22-19 и 24-22, мы так же контролируем правильность определения координат поворотных точек границ земельного участка.

Все вычисленные координаты поворотных точек границ участка и объектов капитального строительства сводятся в каталог (таблицы 3.3, 3.4), в котором должна быть указана площадь земельного участка.

Всем вновь образованным точкам границы земельного участка присваивается префикс «н» (в соответствии с требованиями приказа Минэкономразвития №921 «Об утверждении формы межевого плана, требований к его подготовке»), нумерацию следует производить, начиная с северной – северо-западной точки границы участка.

### 3.5 Вычисление площади земельного участка

Существует ряд способов определения площадей земельных участков, наиболее удобным и часто используемым является аналитический способ вычисления площади по плоским прямоугольным координатам. Вычисление в данном способе проводятся по двум взаимозаменяемым формулам (3.7) или (3.8).

$$P = \frac{1}{2} \cdot \sum_{i=1}^n Y_n \cdot (X_{n-1} - X_{n+1}) \quad (3.7)$$

$$P = \frac{1}{2} \cdot \sum_{i=1}^n X_n \cdot (Y_{n+1} - Y_{n-1}) \quad (3.8)$$

При проведении кадастровых работ фактическая площадь земельного участка в большинстве случаев отличается от площади, указанной в правоустанавливающих документах. Причинами таких расхождений (3.9) наиболее часто являются ошибки в фактическом положении межевых знаков границ земельных участков на местности, недостаточная точность методов применявшихся для определения площадей земельных участков в прошлом, а так же неизбежные погрешности геодезических измерений. Для урегулирования таких расхождений площадей в правовом поле было введено понятие «допустимого расхождения площадей», величина которого определяется по формуле (3.10), где  $P_{\text{док}}$  – площадь земельного участка в соответствии с правоустанавливающим документом,  $M_t$  – нормативная средняя квадратическая погрешность (СКП) положения межевого знака. Нормативная СКП будет

отличаться от «практической» СКП положения межевого знака, вычисленной по методике оценки точности результатов геодезических измерений. Более того, практическая СКП для каждого межевого знака одного и того же земельного участка будет разной, в зависимости от методов определения координат и удаленности от исходных геодезических пунктов. Нормативная СКП устанавливается в законодательном порядке (Приказ Минэкономразвития №90 от 01.03.2016) в соответствии с категорией земель, на которых расположен земельный участок и принимается одинаковой для каждой поворотной точки границы земельного участка.

$$\Delta P = P_{\text{факт.}} - P_{\text{док.}} \quad (3.9)$$

$$\Delta P_{\text{доп.}} = 3.5 \cdot M_t \cdot \sqrt{P_{\text{док.}}} \quad (3.10)$$

Если посчитанная по формуле (3.9) разность площадей не превышает допустимого расхождения, то проведение кадастровых работ по данному земельному участку продолжается, если превышает – кадастровые работы приостанавливаются для выяснения причин данного расхождения.

### Пример выполнения задания

Таблица 3.3

Каталог координат границ и площадь земельного участка

точка	X	Y
<b>90:23:0050203:100</b>		
н1(3)	6414.303	13157.974
н2(19)	6497.045	13246.592
н3(20)	6476.094	13410.339
н4(9)	6364.862	13449.398
н5(1)	6356.673	13307.442
н6(2)	6317.842	13226.946
<b>Площадь, кв.м</b>	<b>32869±126</b>	

$$P_{\text{факт.}} = 32869 \text{ кв.м}$$

$$\Delta P = 32869 \text{ кв.м} - 32900 \text{ кв.м} = -31 \text{ кв.м}$$

Для категории земель «Земли сельскохозяйственного назначения» нормативная СКП положения межевого знака равна 2.5 м, но, так как земельный участок 90:23:0050203:100 был выделен для ведения садоводства, то, в соответствии с приказом Минэкономразвития №90, нормативная СКП положения межевого знака для такого участка составляет 0.2 м.

$$\Delta P_{\text{доп.}} = 3.5 \cdot 0.2 \cdot \sqrt{32900} = 126 \text{ кв.м}$$

Таким образом, расхождение фактической площади земельного участка и площади по данным правоустанавливающих документов можно считать допустимым.

Таблица 3.4

Каталог координат границ объектов капитального строительства

точка	X	Y
здание 1		
6	6482.476	13235.384
22	6489.301	13242.693
8	6478.337	13252.930
7	6471.512	13245.621
здание 2		
12	6474.022	13393.439
13	6469.062	13392.804
23	6468.682	13395.780
14	6458.763	13394.511
21	6457.493	13404.430
24	6472.372	13406.334
здание 3		
16	6455.153	13399.090
17	6442.257	13397.440
18	6440.988	13407.359
25	6453.883	13409.009

Результаты вычислений должны быть оформлены в соответствии с приложением №3

Приложение 1

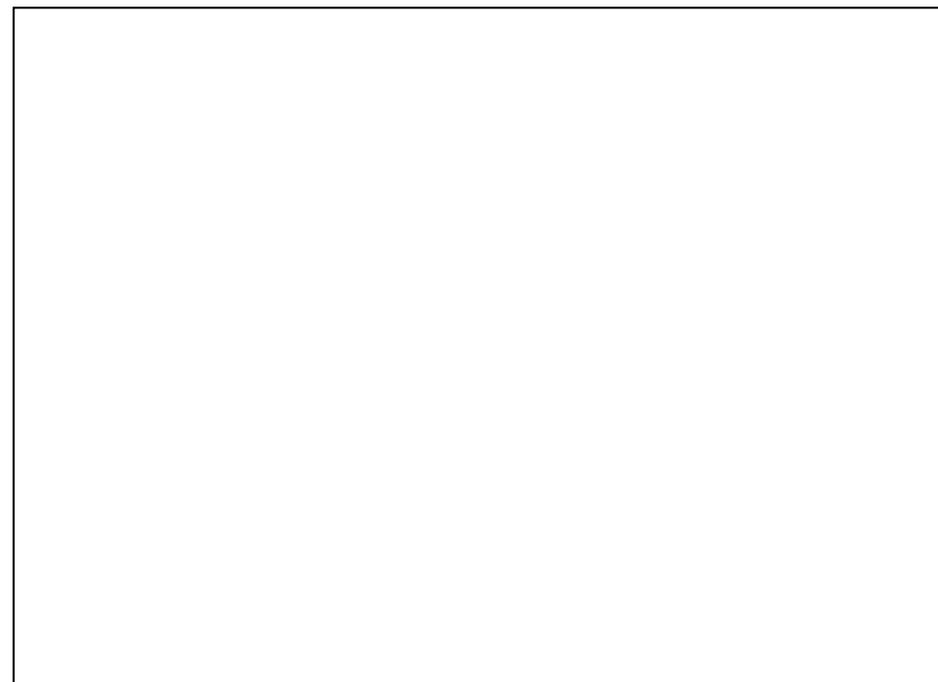
Схема взаимного расположения осей систем координат и параметров перехода СК

пункт	местные координаты		Условные координаты	
	X	Y	X'	Y'
п318				
п319				
п503				

п318- п503	$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta X'$	$\Delta Y'$

S	
S'	
<b>m</b>	

	Г	М	с
r			
r'			
$\alpha$			
$\alpha'$			
$\gamma$			



начало '	X <sub>н</sub>	Y <sub>н</sub>
через п318		
через п503		
<b>среднее</b>		

контроль	X	Y
п318		
<b>п319</b>		
п503		

Схема теодолитного хода



Определение условных координат конечной точки теодолитного хода

станция	β изм.			α изм.			S м	ΔX м	ΔY м	X	Y
	°	'	“	°	'	“					
<b>п319</b>											
				<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>					
ст1											
ст2											
ст3											
ст4											
<b>п503'</b>							<b>Σ</b>				

$\alpha_{п319-п503} =$   
 $\alpha_{п319-п503'} =$   
 $\theta =$

Уравнивание теодолитного хода

станция	β изм.			α испр.			S	ΔX	VΔX	ΔY	VΔY	ΔX ур.	ΔY ур.	X	Y
	°	'	“	°	'	“	м	м	м	м	м	м	м		
<b>п319</b>															
ст1															
ст2															
ст3															
ст4															
<b>п503</b>															
						ΣS									
							ΣΔX п.		ΣΔY п.						
							ΣΔX т.		ΣΔY т.						
							fΔX		fΔY						
							fs		fs/ΣS						

Ведомость вычисления координат точек участка и зданий методом полярных координат

	$\beta$ изм.			S м	$\alpha$ изм.			$\Delta X$ м	$\Delta Y$ м	X	Y
	г	м	с		г	м	с				
<b>ст2</b>											
<b>ст3</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>								
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
<b>ст3</b>											
<b>ст2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>								
9											
10(1)											
11											
12											
13											
14											
15											
16											
17											
18											

Ведомость вычисления координат точек участка и зданий методом линейной засечки

точка	X	Y	$\Delta X$	$\Delta Y$	r	$\alpha$	S
-------	---	---	------------	------------	---	----------	---

4							
5							
линия	S	$\alpha$	$\Delta X$	$\Delta Y$			
4-19							
5-19							
$\beta 1$		точка	X	Y			
$\beta 1$		19					
$\gamma$		19 контроль					

Ведомость вычисления координат точек участка и зданий методом створов

Точка	X	Y	$\alpha$	Точка	$\alpha$	S	$\Delta X$	$\Delta Y$	X	Y
5				11						
11				<b>20</b>						
14				14						
15				<b>21</b>						

Ведомость вычисления координат точек участка и зданий методом перпендикуляров

Точка	X	Y	$\alpha$		Точка	$\alpha$	S	$\Delta X$	$\Delta Y$	X	Y
6					6						
7					<b>22</b>						
Контроль											
				Точка	X	Y	$\Delta X$	$\Delta Y$	S		
				8							
				<b>22</b>							
				19							
				<b>22</b>							
Контроль											
Точка	X	Y	$\alpha$		Точка	$\alpha$	S	$\Delta X$	$\Delta Y$	X	Y
12					13						
13					<b>23</b>						
Контроль											
				Точка	X	Y	$\Delta X$	$\Delta Y$	S		
				14							
				<b>23</b>							

Ведомость вычисления координат точек участка и зданий методом перпендикуляров (продолжение)

Точка	X	Y	$\alpha$	Точка	$\alpha$	S	$\Delta X$	$\Delta Y$	X	Y
12				13						
13				<b>24</b>						
Контроль										
				Точка	X	Y	$\Delta X$	$\Delta Y$	S	
				21						
				<b>24</b>						
				20						
				<b>24</b>						

Точка	X	Y	$\alpha$	Точка	$\alpha$	S	$\Delta X$	$\Delta Y$	X	Y
16				16						
17				<b>25</b>						
Контроль										
				Точка	X	Y	$\Delta X$	$\Delta Y$	S	
				18						
				<b>25</b>						

Каталог координат и площадь земельного участка

точка	X	Y
<b>90:23:0050203:100</b>		
н1(3)		
н2(19)		
н3(20)		
н4(9)		
н5(1)		
н6(2)		
<b>Площадь, кв.м</b>		
Р факт.		
Р док.		
<b>ΔР</b>		
<b>ΔР доп.</b>		

Каталог координат границ ОКС

точка	X	Y
здание 1		
6		
22		
8		
7		
здание 2		
12		
13		
23		
14		
21		
24		
здание 3		
16		
17		
18		
25		

## **ЗЕМЕЛЬНО-КАДАСТРОВЫЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ**

Методические указания  
по выполнению курсового проекта по дисциплине  
«Геодезические работы при ведении кадастра» для студентов направления  
подготовки 21.03.03 «Геодезия и дистанционное зондирование»  
всех форм обучения

Составители:  
Нетребина Юлия Сергеевна  
Ершова Наталья Викторовна

Подписано к изданию  
Объем данных      Кб

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»  
394026 Воронеж, Московский проспект, 14