

ЗАНИМАТЕЛЬНАЯ

МАНТА

ГЕОДЕЗИЯ

Курихара Норихико
Сато Ясую
Ёсино Харука



ДМК
издательство

ОНМ
Ohmsha

Занимательная манга

Геодезия

マンガでわかる

測量

栗原 哲彦・佐藤 安雄／共著

吉野 はるか／作画

ジーグレイブ／制作



OHM
Ohmsha

ЗАНИМАТЕЛЬНАЯ МАНГА

ГЕОДЕЗИЯ

Курихара Норихико, Сато Ясую

Художник Ёсино Харука

Перевод
А. С. Слащевой



ДМК
издательство

Москва
ДМК Пресс, 2021

УДК 528
ББК 26.1
К93

Курихара Н., Сато Я.

К93 Геодезия: манга / Курихара Норихико, Сато Ясую (авторы), Ёсино Харука (худ.); пер. с яп. А. С. Слащевой. — М.: ДМК Пресс, 2021. — 256 с. : ил. — (Серия «Образовательная манга»). — Доп. тит. л. яп.

ISBN 978-5-97060-892-0

Перед 18-летним принцем Исааком стоит нелегкая задача: построить замок и восстановить легендарную страну своих предков Гостляндию. А поскольку за обучение принца взялся знаменитый профессор Гогенхайм, успех гарантирован!

Вместе с героями манги читатель изучит основные принципы геодезической съемки, узнает, как измерять расстояние на местности при помощи рулетки, как работать с теодолитом, что такое нивелирование и как устранять погрешности при измерениях. Часть материала представлена в удобном табличном формате, который упрощает понимание расчетов.

Издание предназначено для студентов, изучающих геодезию в вузах, а также всех, кто интересуется географией, картографией и строительством.

УДК 528
ББК 26.1

Original Japanese Language edition.
Manga de wakaru: Sokuryo
by Norihiko Kurihara, Yasuo Sato (Authors), Illustration by Haruka Yoshino.
Published by Ohmsha, Ltd.
Russian translation rights arrangement with Ohmsha, Ltd.
through Japan UNI Agency, Inc., Tokyo

Все права защищены. Никакая часть этого издания не может быть воспроизведена в любой форме или любыми средствами, электронными или механическими, включая фотографирование, ксерокопирование или иные средства копирования или сохранения информации, без письменного разрешения издательства.

ISBN 978-4-274-06725-9 (яп.)
ISBN 978-5-97060-892-0 (рус.)

© Norihiko Kurihara, Yasuo Sato, 2008
© Издание, перевод, ДМК Пресс, 2021

ПРЕДИСЛОВИЕ

Любые строительные работы начинаются с геодезической съемки – первого этапа строительных работ. При постройке зданий, инженерных конструкций, таких как мосты и тоннели, других сооружений сначала необходимо точно определить площадь, форму строительного участка и разницу высот на нем. На основании полученных данных создается план сооружения или конструкции, а затем начинается строительство. Если в этих данных содержатся ошибки, то они могут оказать негативное влияние на весь процесс строительства. Поэтому необходимо постоянно проводить проверки, идет ли все в соответствии с планом. Для этого и необходима геодезия. А следовательно, знание ее совершенно необходимо при строительстве объектов общественной инфраструктуры.

Мы, авторы, расположили материал так, чтобы эта книга смогла стать введением в геодезию для тех, кто изучает ее в университетах и технических училищах. Из всех способов геодезической съемки в книге отобраны только основные методы, о которых говорится в курсах «Измерение расстояний», «Теодолитная съемка», «Мензульная съемка», «Нивелирование». Объяснения даются доступно, в формате манги. В добавок, чтобы объяснить базовые принципы геодезической съемки, герои книги проводят ее с помощью традиционных приборов и устройств, а не новейшего оборудования. Цель книги – дать общее понятие о геодезической съемке и помочь разобраться в процессе с помощью манги. Мы надеемся, что после знакомства с этой книгой читатель, который пожелает приобрести более прочные знания, обратится к специализированным изданиям.

Чтобы стать специалистом по геодезии, крайне важно понимать, почему случаются ошибки измерения. Задумывались ли вы когда-нибудь о том, что измерения, проводимые такими привычными средствами, как линейки, содержат ошибки? Действительно, измерения с помощью линеек не совсем точны. На точность измерения влияет даже температура материала. И это не единственный пример ошибок измерения: как говорят, в мире нет ничего совершенного, так и в измерении нельзя обойтись без ошибок. Поэтому геодезист должен обращать внимание на то, чтобы вовремя принимать меры, с целью свести вероятность ошибки к нулю.

Напоследок мы тепло благодарим Ёсино Харука, которая помогла сделать трудные словесные объяснения более доступными, в формате манги, продакшн-компанию Pulse Creative House и издательство Ohmsha за возможность написать эту книгу.

Сентябрь 2008
Курихара Норихико,
Само Ясую

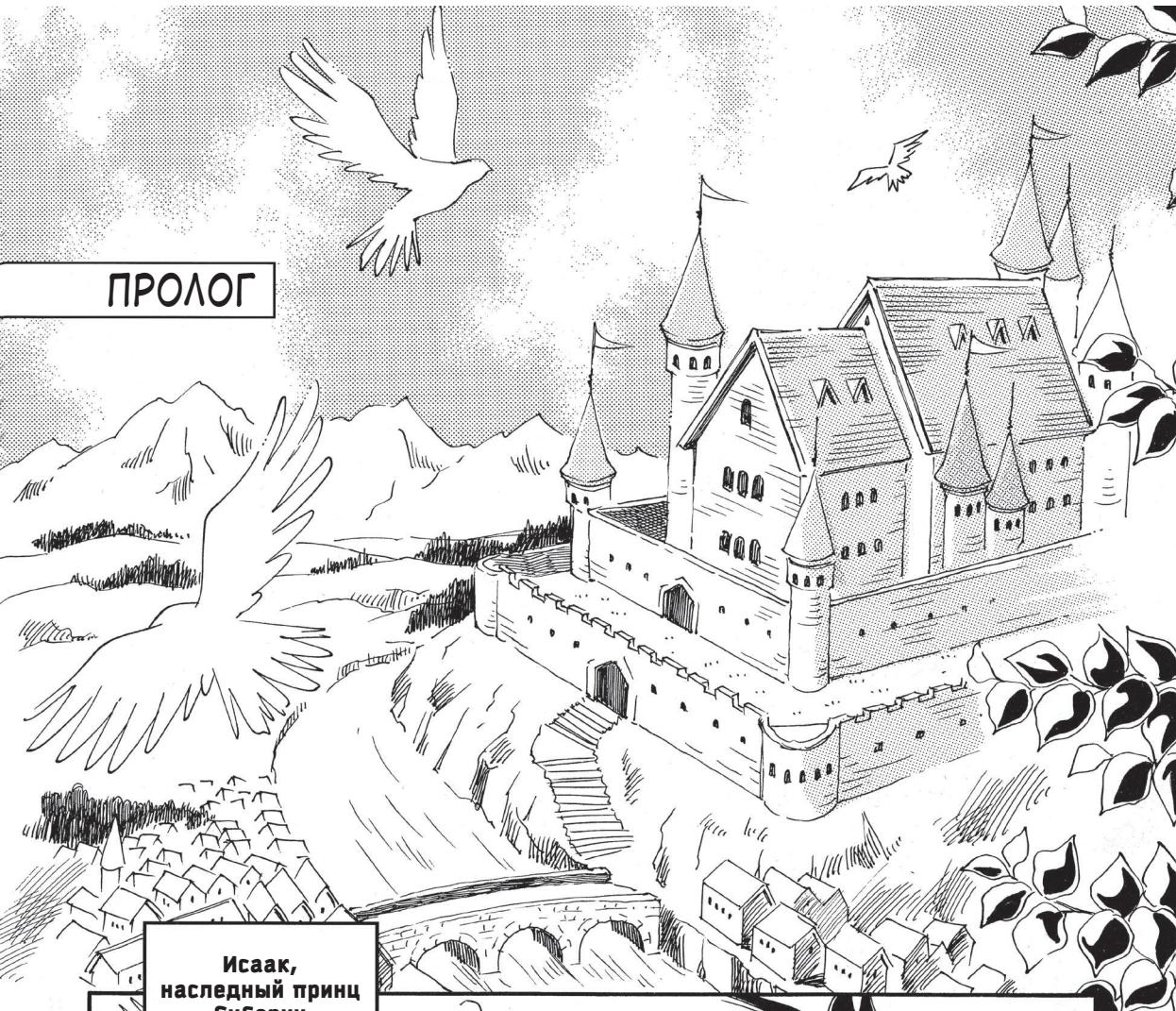
СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	V
Пролог	1
Глава 1. ОСНОВНЫЕ ЗНАНИЯ О СЪЕМКЕ.....	11
1.1. Что такое съемка?	12
Находим местоположение на координатной плоскости.....	19
Выражаем положение в пространственной системе отсчета.....	23
Три основных элемента съемки	24
1.2. Как выразить положение с помощью геодезических пунктов	28
Государственный стандарт: пункты триангуляции.....	28
Земной стандарт - широта и долгота	30
Стандарт высоты - реперные точки	32
1.3. Ошибки в измерении	36
Подведем итоги	
Форма и вид Земли	39
Меры длины.....	41
Геодезическая съемка в Японии	43
Стандарты измерения в Японии: пункты триангуляции и реперные точки	50
Глава 2. ИЗМЕРЕНИЕ РАССТОЯНИЙ.....	53
2.1. Как измерять расстояние	54
Подумаем о расстоянии.....	55
2.2. Как измерить расстояние на склоне	58
Непосредственное измерение горизонтального расстояния с помощью рулетки	58
Непосредственное измерение наклонного расстояния при помощи рулетки.....	60

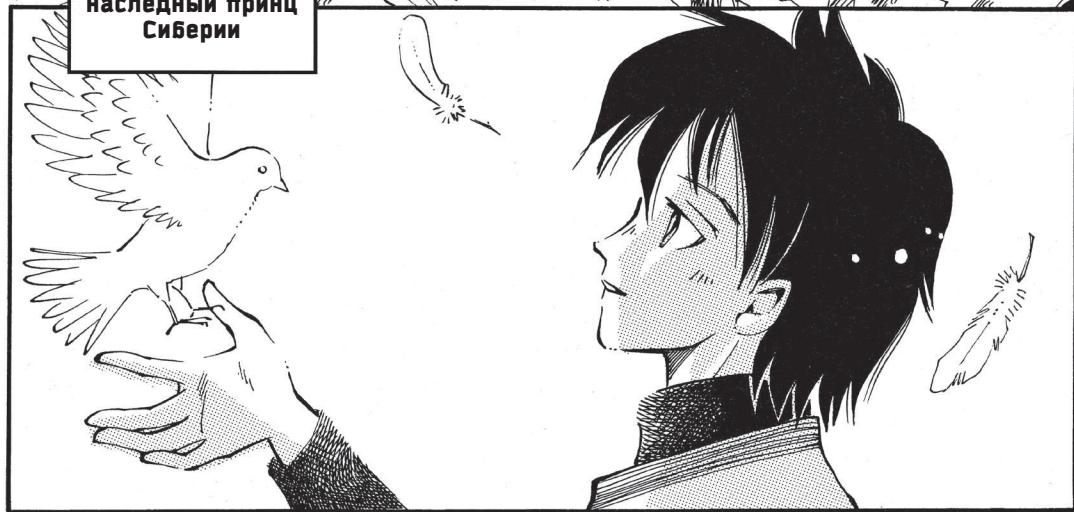
2.3. Как найти горизонтальное расстояние, зная наклонное	74
В кабинете у Ольги: исправляем ошибки	
Рулетки: ошибки и стандарты измерения	76
Поправки при измерении рулеткой	77
Подведем итоги	
Измерение расстояния при помощи света	81
Глава 3. ТЕОДОЛИТНАЯ СЪЕМКА	85
3.1. Что такое теодолитная съемка?	86
Порядок теодолитной съемки.....	88
Виды теодолитных ходов	90
3.2. Начинаем теодолитную съемку!	92
Виды углов и единицы измерения	110
Устанавливаем теодолит	113
Метод съемки	117
В кабинете у Ольги: исправляем ошибки	
Исправление ошибок в приведенном угле	126
Измеряем и вычисляем азимуты (дирекционные углы).....	128
Приращение абсцисс (широта) и ординат (отшествие; долгота).....	134
Вычисляем плановые координаты точек	137
В кабинете у Ольги: исправляем ошибки	
Исправляем невязки при проложении замкнутого хода.....	142
Ошибки при прокладке теодолитного хода	146
Подведем итоги	
Устройство теодолита	150
Теодолиты и тахеометры	152
Разомкнутый ход.....	154
Привязка координат к пунктам тиангуляции	160
Глава 4. МЕНЗУЛЬНАЯ СЪЕМКА	163
4.1. Что такое мензульная съемка.....	164
Цель мензульной съемки	165
Принципы мензульной съемки.....	166

4.2. Инструменты мензульной съемки	169
Устройства для мензульной съемки	169
4.3. Проверка мензулльного столика.....	172
Расчет поправки на центрирование	176
4.4. Съемка подробностей на практике.....	179
Полярный способ.....	179
Практика съемки подробностей	181
В кабинете у Ольги: исправляем ошибки	
Что делать с ошибками при мензульной съемке?	188
Подведем итоги	
Виды мензульной (плановой) съемки:	
контурная съемка и съемка подробностей	192
Электронные приборы и мензульная съемка.....	196
Глава 5. НИВЕЛИРОВАНИЕ	199
5.1. Что такое нивелирование.....	200
Разность высот	200
5.2. Принципы нивелирования	206
Оборудование для нивелирования	206
Принципы нивелирования	207
Основные понятия нивелирования.....	209
5.3. Практика геометрического нивелирования	210
План и измерения на практике	210
Как производить отсчет на рейках	215
Записываем результаты измерений	218
В кабинете у Ольги: исправляем ошибки	
Поправки при нивелировании	225
Невязки в измерении.....	229
Подведем итоги	
Что, если расстояние от земли на участке неизвестно?	231
Нивелирование через горизонт инструмента.....	232
Эпилог.....	237
Предметный указатель.....	244

ПРОЛОГ



Исаак,
наследный принц
Сибирии



ПРОЛОГ

КОГДА ОН
УЖЕ СТАНЕТ
САМОСТОЯТЕЛЬНЫМ?

ЗАВТРА ЕМУ УЖЕ 18.

Сибирь,
король Сибири

ВЫ О ПРИНЦЕ
ИСААКЕ?

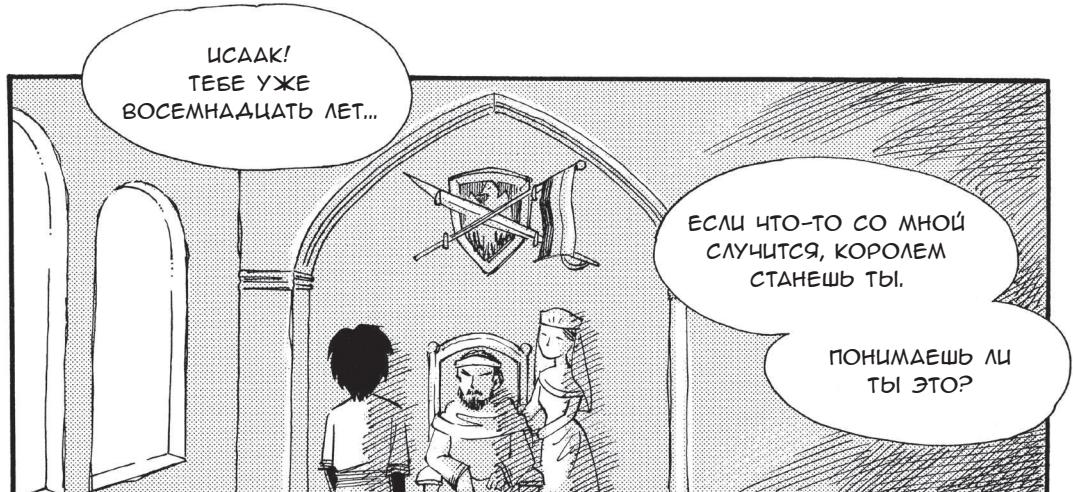
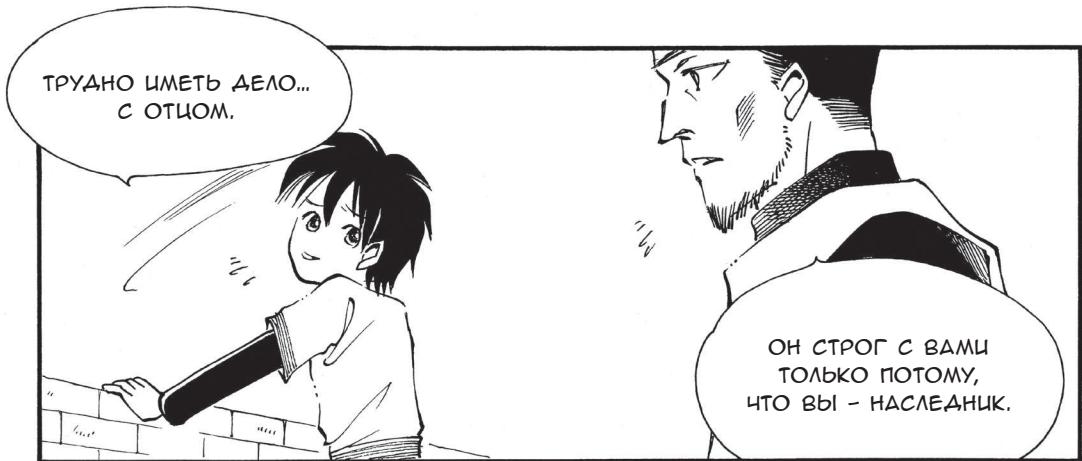
ОДНАКО
ОН ПОСТОЯННО КАЖЕТСЯ
НЕУВЕРЕННЫМ
В СЕБЕ.

ОН ДОБРЫЙ
МАЛЫШКА.

НЕ ОТПРАВИТЬ
ЛИ ЕГО...

ПРИНЦ!

ВАС ВЫЗЫВАЕТ
КОРОЛЬ.



Я, КОРОЛЕМ?
НО ЭТО ЕЩЕ НЕСКОРО!

СЛУШАЙ
ВНИМАТЕЛЬНО,
ИСААК!

Я ЕЩЕ НИКОМУ
ЭТО НЕ ГОВОРИЛ...

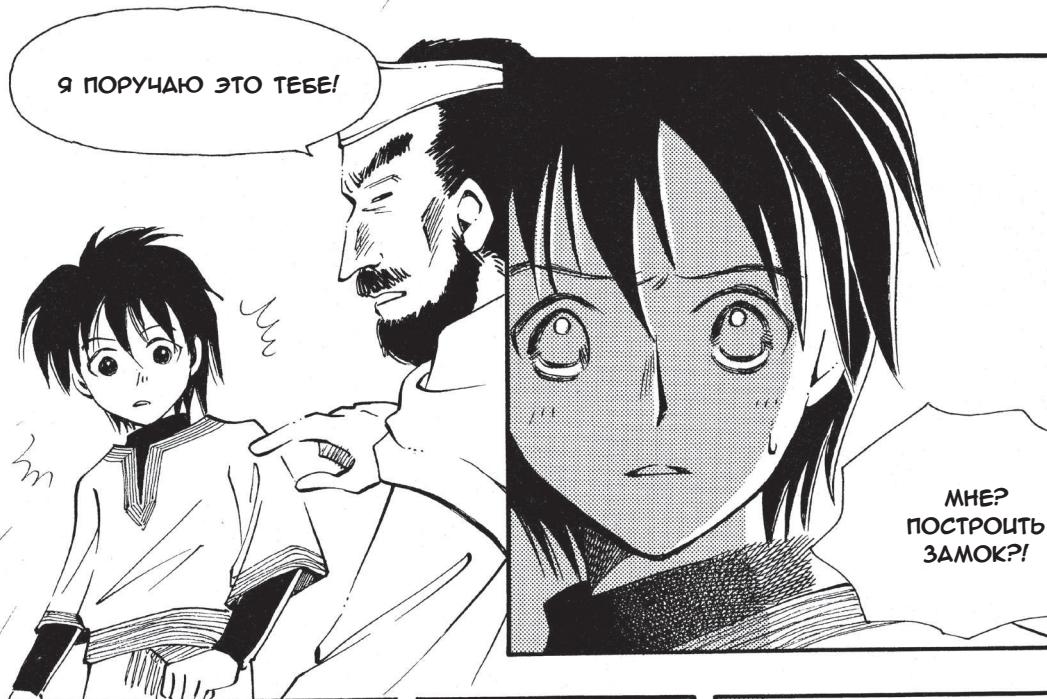
НО Я ПОДУМЫВАЮ
ВЫСТРОИТЬ ЗАМОК
В ГОСТЛЯНДИИ!

ГОСТЛЯНДИЙ?
ЭТО ПРИГРАНЧНАЯ ЗЕМЛЯ
НА САМОМ ЗАПАДЕ?

ДАВНЫМ-ДАВНО ТАМ ЖИЛИ ЛЮДИ,
НО ТЕПЕРЬ ОНА СОВЕРШЕННО
ОБЕЗЛЮДЕЛА! СТРОИТЬ ЗАМОК
В ТАКОМ МЕСТЕ...

ПОНЯМАЮ...
НО ЗАМОК ДОЛЖЕН
СТОЯТЬ ТАМ...

строго
ИТАК, ИСААК...



ДАВНЫМ-ДАВНО НА ТЕХ
ЗЕМЛЯХ РАСПОЛАГАЛСЬ
МАЛЕНЬКАЯ СТРАНА,
ГДЕ ЖИЛ ОЧЕНЬ ХРАБРЫЙ
НАРОД...



ЛЮДИ НАЗЫВАЛИ
ТУ СТРАНУ
ХРАБРОЛЯНДИЕЙ.

ХРАБРОЛЯНДИЕЙ?

КОРОЛЕМ
ХРАБРОЛЯНДИИ БЫЛ
СИБЕРИЙ ПЕРВЫЙ.



ТО ЕСТЬ НАШ
С ТОБОЙ ПРЕДОК.



НО НАСТАЛО СМУТНОЕ ВРЕМЯ.

И ПРИ СИБЕРИИ ТРЕТЬЕМ
ХРАБРОЛЯНДИЯ ПРОИГРАЛА
БИТВУ С СОСЕДНЕЙ СТРАНОЙ
И ИСЧЕЗЛА.



ВСКОРЕ И НАЗВАНИЕ ЭТОЙ СТРАНЫ
СТЕРЛОСЬ ИЗ ПАМЯТИ ЛЮДСКОЙ.

Я СОВЕРШЕННО
НЕ ЗНАЛ ОБ ЭТОМ...



СИБЕРИЙ ТРЕТИЙ ПРОИГРАЛ БИТВУ
И ЕЛЕ СПАССЯ... ОН БЕЖАЛ СЮДА,
В ЭТУ ХОЛОДНУЮ СТРАНУ...



И НАКОНЕЦ,
ОСНОВАЛ НОВОЕ
КОРОЛЕВСТВО.

ИМ СТАЛА
НАША СИБЕРИЯ.

ИТАК...

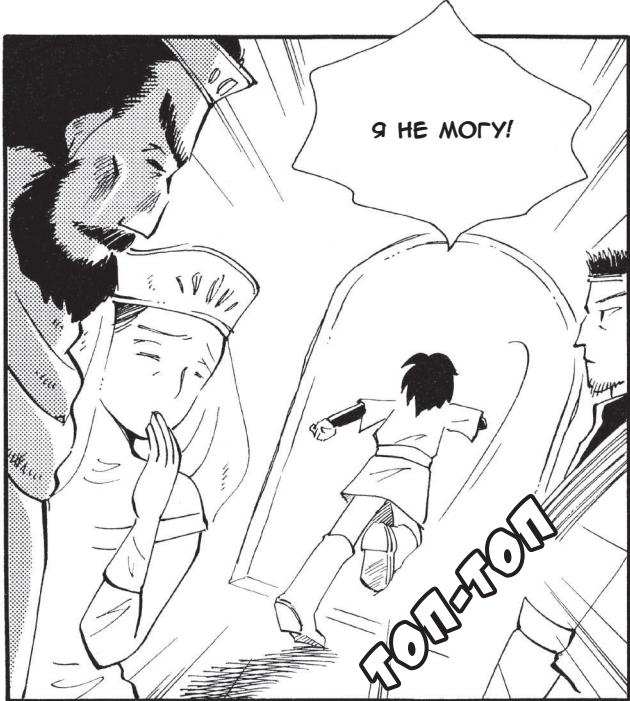
СИБЕРИЙ ТРЕТИЙ
ПРИЛОЖИЛ ВСЕ УСИЛИЯ,
ЧТОБЫ СИБЕРИЯ ПРОЦВЕТАЛА...

ОДНАКО В ГЛУБИНЕ ДУШИ
ОН НАДЕЯЛСЯ, ЧТО КОГДА-НИБУДЬ
ХРАБРОЛЯНДИЯ ВЕРНЕТСЯ
ИЗ НЕБЫТИЯ...

НО ЭТА МЕЧТА
О ВОССТАНОВЛЕНИИ ХРАБРОЛЯНДИИ
ТАК И НЕ ПРЕТВОРИЛАСЬ В ЖИЗНЬ
И ПОНЫНЕ, НЕСКОЛЬКО ПОКОЛЕНИЙ
СПУСТЯ...



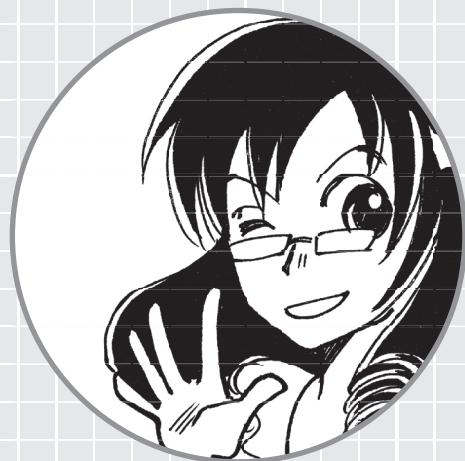




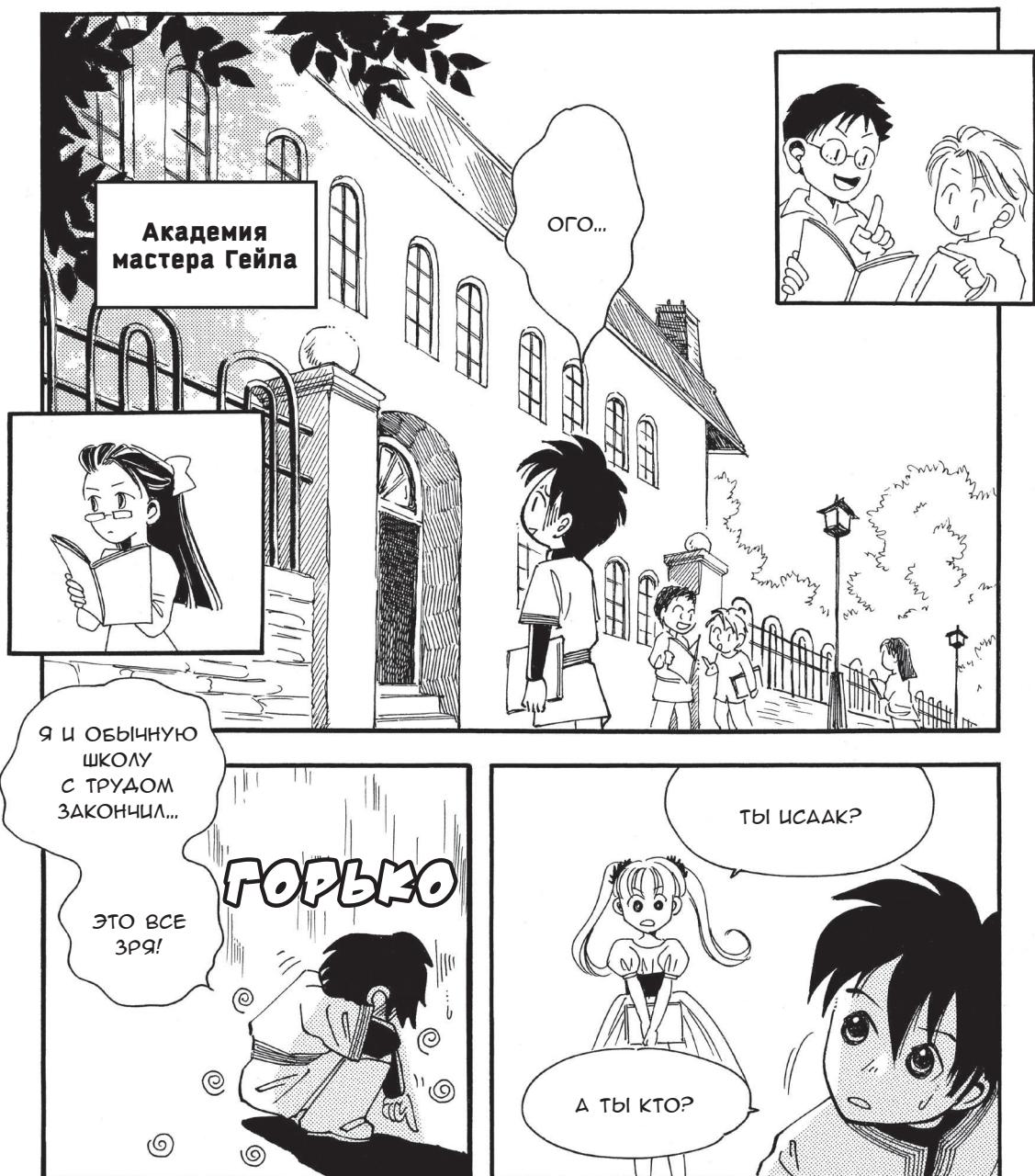


ГЛАВА 1

ОСНОВНЫЕ ЗНАНИЯ О СЪЕМКЕ



1.1. ЧТО ТАКОЕ СЪЕМКА?



МЕНЯ ЗОВУТ КЛАРА!
Я ДОЧЬ АРХИТЕКТОРА.

А...
ГРАФА?

ПАПА МНЕ РАССКАЗЫВАЛ
ПРО ТЕБЯ! ОН ПОСТОЯННО
ГОВОРИТ, ЧТО ПРИНЦ
“НЕ ХОЧЕТ БЫТЬ КОРОЛЕМ”!

Клара,
дочь графа

ты не поймешь,
что я чувствую...

КОНЕЧНО
НЕ ПОЙМУ!

БОЛЬНО ХОЧЕТСЯ ПОНИМАТЬ
ТАКОГО ТРУСИШКУ, КОТОРЫЙ
СОВСЕМ НЕ СТАРАЕТСЯ, А СРАЗУ ЖЕ
УБЕГАЕТ ОТ ПРОБЛЕМ!

ВЕДЬ ТЕБЕ ПРИДЕТСЯ
ЦЕЛОЙ СТРАНОЙ УПРАВЛЯТЬ!

КАК БЫ ТО НИ БЫЛО,
ПАПА НАКАЗАЛ МНЕ
НАВЕСТИТЬ
ПРОФЕССОРА
ГОГЕНХАЙМА.

ПРОФЕССОРА
ГОГЕНХАЙМА?

ВО ВРЕМЕНА,
КОГДА ЕЩЕ НЕ БЫЛО
СОВРЕМЕННЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ
ПРИБОРОВ, ОН В ОДИНОЧКУ
НАРИСОВАЛ ПОДРОБНУЮ КАРТУ
СИБЕРИИ И ПОМОГАЛ СТРОИТЬ
ЗАМКИ И ДРУГИЕ ЗДАНИЯ.

В МИРЕ СТРОИТЕЛЬСТВА
ЕГО НАЗЫВАЮТ
ЛЕГЕНДАРНЫМ
МАСТЕРОМ!

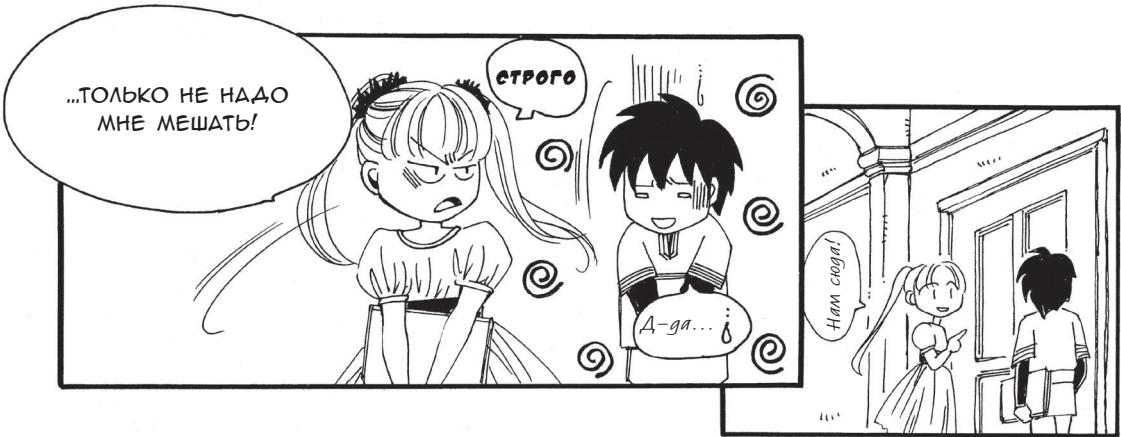
И Я БУДУ ХОДИТЬ
НА ЕГО ЛЕКЦИИ!

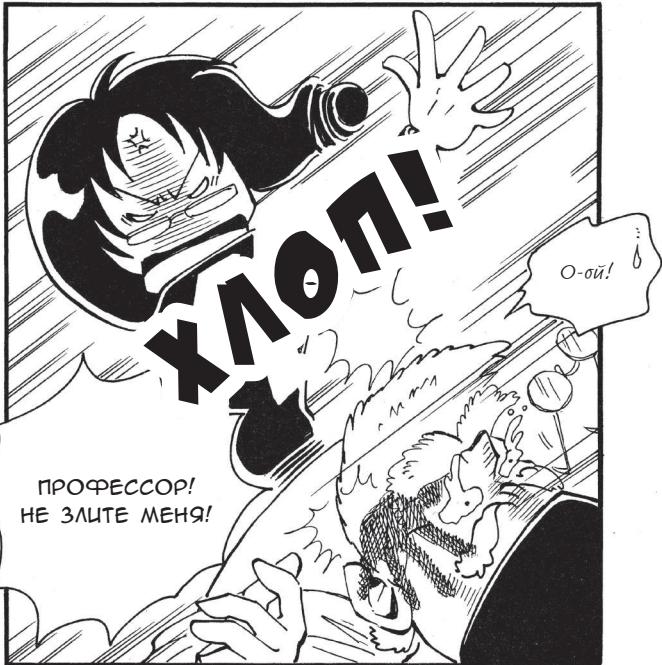
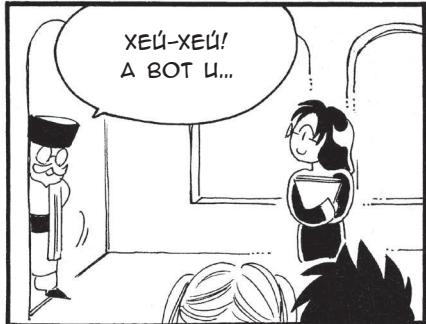
Я ВЫУЧУСЬ У ЛЕГЕНДАРНОГО
МАСТЕРА И СМОГУ ПРИНЕСТИ
ПОЛЬЗУ ВСЕМУ КОРОЛЕВСТВУ!

ЛЕГЕНДАРНЫМ
МАСТЕРОМ...

Клара...

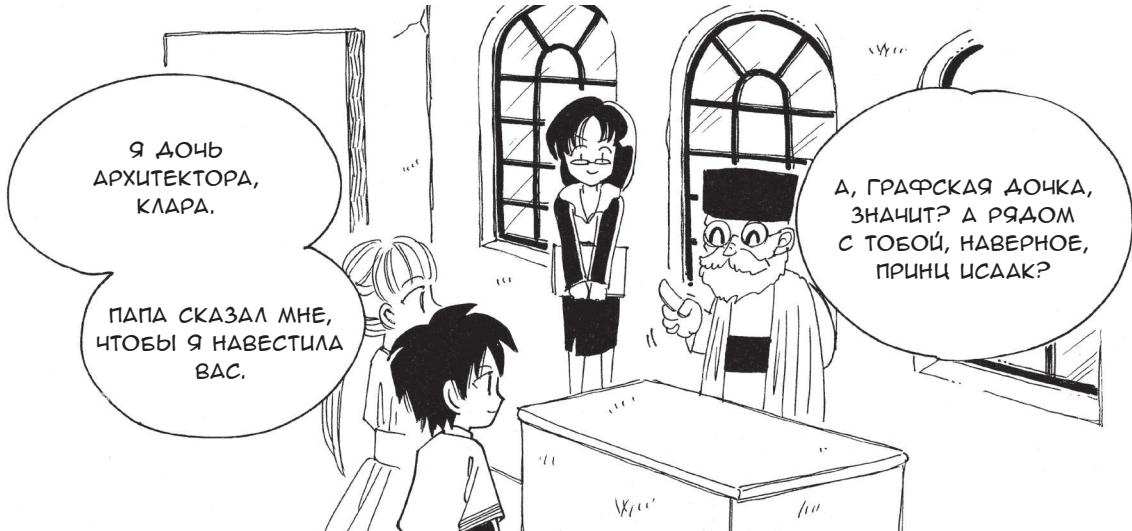
ПОЭТОМУ...





ПРОФЕССОР!
НЕ ЗЛИТЕ МЕНЯ!





1.1. ЧТО ТАКОЕ СЪЕМКА?

ТАМ ЖЕ СТЕНЫ, ВОРОТА,
СМОТРОВЫЕ БАШНИ,
ПРУДЫ... НАДО СНАЧАЛА
ПОНЯТЬ, ГДЕ ТЫ БУДЕШЬ
ИХ СТРОИТЬ!

ПОЭТОМУ СНАЧАЛА
НУЖНО СДЕЛАТЬ ПЛАН!



Успокойся,
пожалуйста

А КАК ТОГДА
СДЕЛАТЬ ЭТЫЙ
ПЛАН?

С ПОМОЩЬЮ
ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ
СЪЕМКИ!

Пристальный
взгляд

СЪЕМКИ?

ТАК ТОЧНО!

ВАМ
ПОНАДОБИТСЯ
ПОМОЩЬ
МАСТЕРА-
ГЕОДЕЗИСТА!

И Я, ЛЕГЕНДАРНЫЙ МАСТЕР,
ПОМОГУ ВАМ СТАТЬ
ЗАПРАВСКИМИ ГЕОДЕЗИСТАМИ!

ТАК-С, РАЗ ВСЕ РЕШЕНО,
НАЧНЕМ-КА ЛЕКЦИЮ!

ОЛЬГА, ДОРОГАЯ,
ДО ВСТРЕЧИ!

ПО-ВИДАНИЮ,
ПРИДАЕТСЯ МНЕ...

Находим местоположение на координатной плоскости

КСТАТИ, ИСААК!
ГДЕ ТЫ СЕЙЧАС
НАХОДИШЬСЯ?

ЧТО?!

В СИБЕРИИ,
В АКАДЕМИИ МАСТЕРА ГЕЙЛА,
В КАБИНЕТЕ ПРОФЕССОРА
ГОГЕНХАЙМА, КОНЕЧНО.

ТАК. А КЛАРА?

ГДЕ НАХОДИТСЯ
КЛАРА?

сторого

Ну...

В СИБЕРИИ,
В АКАДЕМИИ МАСТЕРА ГЕЙЛА,
В КАБИНЕТЕ ПРОФЕССОРА
ГОГЕНХАЙМА...

ТАМ ЖЕ,
ЗНАЧИТ.

Хм...

НО РАССТОЯНИЕ
МЕЖДУ ТОБОЙ, ИСААК, И КЛАРОЙ
РАВНЯЕТСЯ ПРИМЕРНО 1 МЕТРУ,
ПОЭТОМУ ВЫ ОБА ТОЧНО НЕ НАХОДИТЕСЬ
В ОДНОМ И ТОМ ЖЕ МЕСТЕ.

КАК, УЧИТЫВАЯ РАЗНИЦУ В 1 МЕТР
МЕЖДУ ВАМИ, МОЖНО ТОЧНО
ВЫРАЗИТЬ, ГДЕ ВЫ НАХОДИТЕСЬ?

ВОТ ОНО КАК!

ЕСЛИ ПРИНЯТЬ ВАШЕ
ПОЛОЖЕНИЕ ЗА ТОЧКУ,
ТО ЕГО МОЖНО ВЫРАЗИТЬ
КООРДИНАТАМИ!

1.1. ЧТО ТАКОЕ СЪЕМКА?

КАКИМ ОБРАЗОМ
МОЖНО ВЫРАЗИТЬ,
НАПРИМЕР,
ОТНОСИТЕЛЬНОЕ
ПОЛОЖЕНИЕ
ПРОФЕССОРА
И ИСААКА?



ИНЬМИ СЛОВАМИ,
РАССТОЯНИЕМ МЕЖДУ ДВУМЯ ТОЧКАМИ,
В КОТОРЫХ ВЫ ОБА СТОИТЕ. ПУСТЬ
ПРОФЕССОР СТОИТ В ТОЧКЕ НАЧАЛА
КООРАДИНАТ 0, А ИСААК В ТОЧКЕ Р.

ТОГДА МОЖНО СКАЗАТЬ
ЧТО ОТНОСИТЕЛЬНОЕ
ПОЛОЖЕНИЕ МЕЖДУ
ДВУМЯ ТОЧКАМИ
ВЫРАЖЕНО
РАССТОЯНИЕМ
В 3 МЕТРА.



ОДНАКО
ОТ НАЧАЛА КООРАДИНАТ 0
МОЖНО НАЙТИ МНОГО ТОЧЕК
НА РАССТОЯНИИ В 3 МЕТРА!

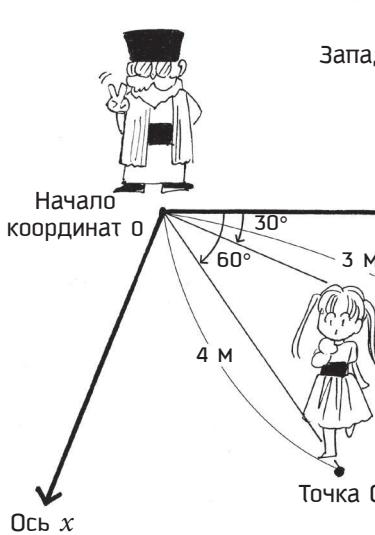
ИМЕННО,
ПОЭТУЮ ТАКИМ
ОБРАЗОМ НЕЛЬЗЯ ОПИСАТЬ
ОТНОСИТЕЛЬНОЕ
ПОЛОЖЕНИЕ МЕЖДУ
ДВУМЯ ТОЧКАМИ.

ЕЩЕ ВАЖНАЯ ВЕШЬ –
ЭТО НАПРАВЛЕНИЕ, ИЛИ ЖЕ УГОЛ.

РАССЧИТАВ УГОЛ,
МОЖНО ВЫРАЗИТЬ ПОЛОЖЕНИЕ
ПРИ ПОМОЩИ КООРДИНАТ.

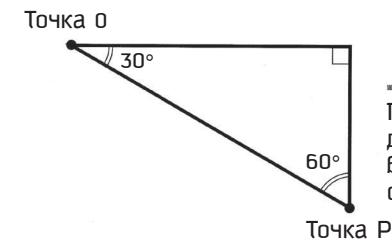
ДОПУСТИМ, ПРОФЕССОР
СТОИТ В ТОЧКЕ НАЧАЛА
КООРДИНАТ 0.

А ТЕПЕРЬ ПОПРОБУЕМ
ОПРЕДЕЛИТЬ ПОЛОЖЕНИЕ
ИСААКА И КЛАРЫ В СИСТЕМЕ
КООРДИНАТ С ОСЯМИ x И y .

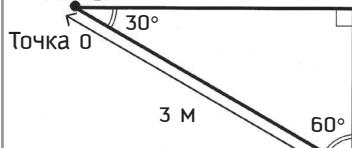
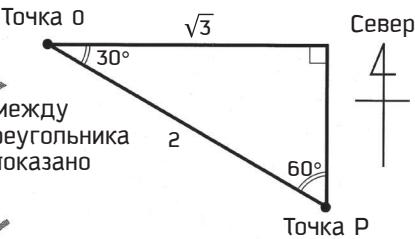


ТОЧКА Р,
В КОТОРОЙ СТОИТ ИСААК,
НАХОДИТСЯ НА РАССТОЯНИИ
3 МЕТРОВ ОТ ПРОФЕССОРА
ПОД УГЛОМ 30°.

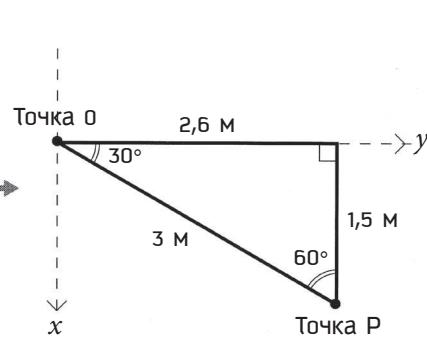
А ТЕПЕРЬ
ДАВАЙТЕ ВСПОМНИМ,
КАК ПРЕОБРАЗОВАТЬ
УГЛЫ В КООРДИНАТЫ.



Пусть отношение между
длинами сторон треугольника
будет таким, как показано
справа



Если расстояние
от точки О до точки Р
составит 3 метра...



Соотношение длин сторон прямоугольного треугольника – 1:2: $\sqrt{3}$. Если гипотенуза равна 3 м, то остальные стороны – 1,5 и 2,6 м.



Просто подставили в формулу.



Именно. Это и будут координаты на плоскости $(x, y) = (1,5, 2,6)$.



Но разве оси x и y не должны быть расположены наоборот?



В геодезии ось, которая ведет с севера на юг, – это ось x , а с востока на запад – ось y . В математике оси x и y расположены наоборот. Важно обращать на это внимание.



Понятно!

!!!

НО ЕСЛИ МЫ ВЫРАЖАЕМ ПОЛОЖЕНИЕ
ПРИ ПОМОЩИ КООРДИНАТНЫХ ОСЕЙ,
НИ ОДНА ДРУГАЯ ТОЧКА НЕ МОЖЕТ ЗАНИМАТЬ
ПОЛОЖЕНИЕ ТОЧКИ Р.

САМО СОБОЙ
ПОНЯТНО...

ПФ

ИМЕННО!

ПРИ ПОМОЩИ ЗНАЧЕНИЙ
КООРДИНАТ МЫ МОЖЕМ
УКАЗАТЬ УНИКАЛЬНОЕ
ПОЛОЖЕНИЕ ТОЧКИ
В ПРОСТРАНСТВЕ.

Выражаем положение в пространственной системе отсчета

выражаем
положение?

Вопрос!

Ух!

А КАК МЫ
ВЫРАЗИМ
ПОЛОЖЕНИЕ
ОТНОСИТЕЛЬНО
ПРОФЕССОРА
В ЭТОМ
СЛУЧАЕ?

Точка О

Ось x

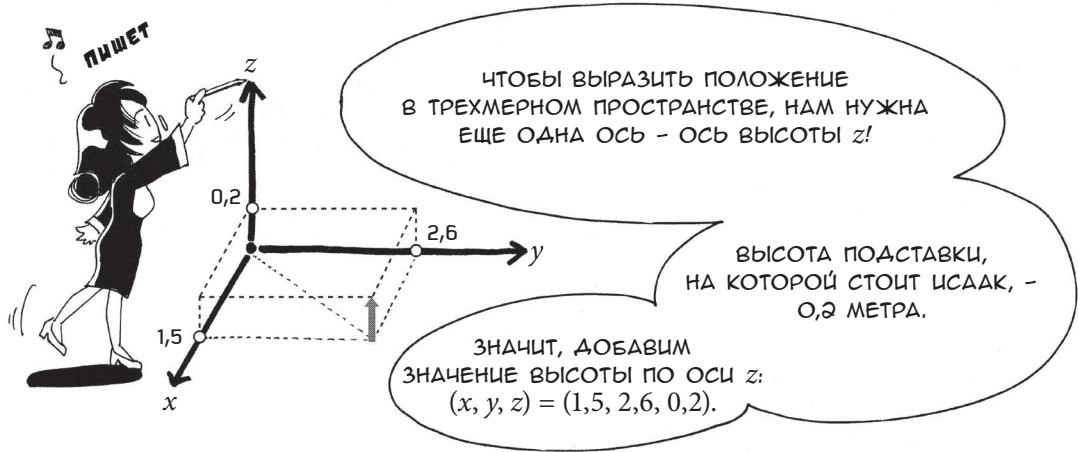
Ура! —

Ось у

Точка Р

конечно, и в этом
случае можно
выразить его
положение
координатами.

У НАС ДОБАВЛЯЕТСЯ
ВЫСОТА.



Три основных элемента съемки

БУ-У-М!

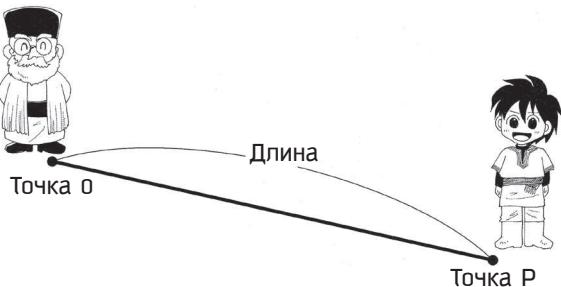
ДЛИНА, УГЛЫ И ВЫСОТА - ТРИ ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТА, С ПОМОЩЬЮ КОТОРЫХ МОЖНО ТОЧНО ВЫРАЗИТЬ ПОЛОЖЕНИЕ ОБЪЕКТА В ПРОСТРАНСТВЕ.

КРЕПКО ЗАПОМНИТЕ, ЧТО ЭТИ ТРИ ЭЛЕМЕНТА ВЫРАЖАЮТ ПОЛОЖЕНИЕ ОБЪЕКТА В ПРОСТРАНСТВЕ, ПОТОМУ ЧТО ЭТО - ОСНОВА ГЕОДЕЗИИ!

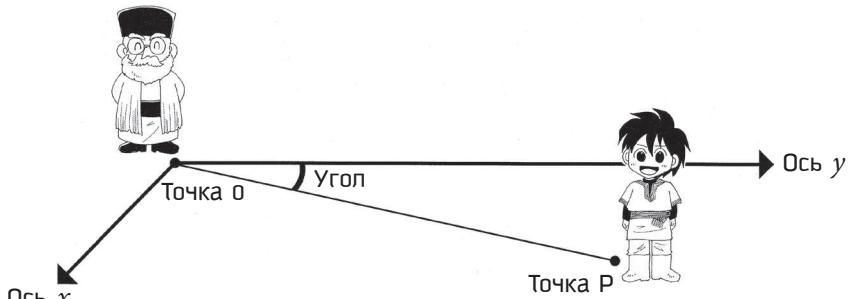


● Три основных элемента геодезии

1. Измерение длины – измерение расстояния от точки начала координат.

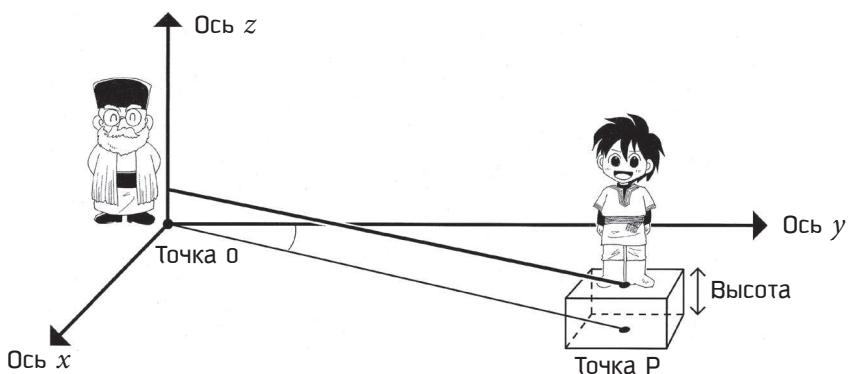


2. Измерение угла – измерение угла между координатной осью и отрезком, соединяющим точку отсчета с другой точкой.



Найдя угол, можно узнать направление отрезка ОР по отношению к северу. Если вам известно расстояние и направление отрезка от точки 0 до точки Р, вы можете узнать координаты точки Р

3. Измерение высоты – измерение высоты объекта по отношению к точке отсчета.





ПОЛЬЗУЯСЬ
КООРДИНАТАМИ,
МОЖНО ТОЧНО
ПОКАЗАТЬ, ГДЕ ТЫ
НАХОДИШЬСЯ.

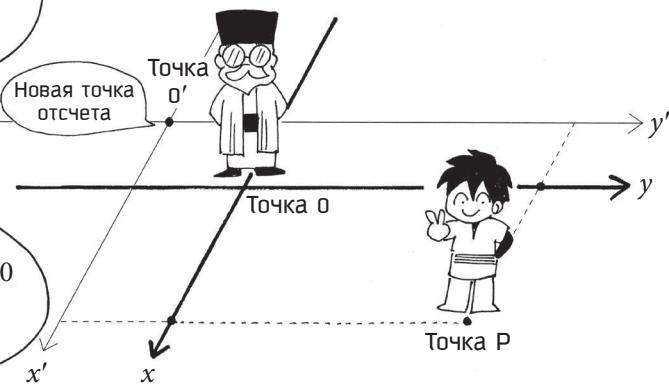
ОДНАКО У НАС ТУТ В КАЧЕСТВЕ
ТОЧКИ ОТСЧЕТА – ПРОФЕССОР.
ОЛЬГА, ЭТО ВЕДЬ ВЫ САМИ
РЕШИЛИ?

А ЕСЛИ МЫ ВЫБЕРЕМ
ДРУГУЮ ТОЧКУ ОТСЧЕТА,
ТО НАШЕ ПОЛОЖЕНИЕ
С ИСААКОМ ТОЖЕ
ИЗМЕНИТСЯ?

ХОРОШИЙ
ВОПРОС!



Например, если мы
выберем в качестве точки
отсчета точку $0'$,
то положение Исаака,
выражаемое точкой P ,
тоже изменится.



ОДНАКО ПОЛОЖЕНИЕ ТОЧКИ 0
ОТНОСИТЕЛЬНО ТОЧКИ P
НЕ ИЗМЕНИЛОСЬ.

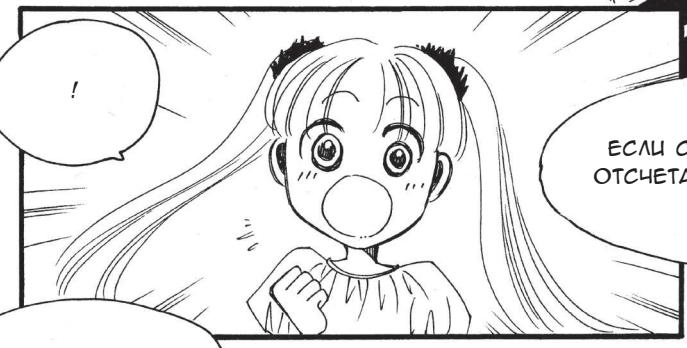
ОТНОСИТЕЛЬНОЕ
ПОЛОЖЕНИЕ
НЕ ИЗМЕНИЛОСЬ...





ПРИ ВЫРАЖЕНИИ ПОЛОЖЕНИЯ
С ПОМОЩЬЮ КООРДИНАТ
НЕОБХОДИМО ТОЧНО
УСТАНОВИТЬ ТОЧКУ ОТСЧЕТА.

КАК ПО-ВАШЕМУ ЛУЧШЕ
ВЫРАЗИТЬ ПОЛОЖЕНИЕ
ДВУХ ЧЕЛОВЕК ОТНОСИТЕЛЬНО
ВСЕЙ СИБЕРИИ?



ЕСЛИ СИБЕРИЯ БУДЕТ ТОЧКОЙ
ОТСЧЕТА, ТО ЕГО НЕЛЬЗЯ БУДЕТ
ВЫРАЗИТЬ!

ИМЕННО!



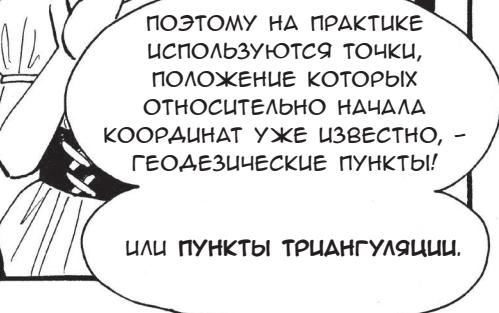
В СИБЕРИИ ЕСТЬ ТОЧКА
ОТСЧЕТА, КОТОРАЯ
ИСПОЛЬЗУЕТСЯ
ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЙ ВНУТРИ
КОРОЛЕВСТВА.

♥ Ура!



???

ОДНАКО ОЧЕНЬ ТРУДНО НАЙТИ
КООРДИНАТНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ
НА ОГРОМНОЙ ТЕРРИТОРИИ,
ИСПОЛЬЗУЯ ИСКЛЮЧИТЕЛЬНО
ОДНУ ТОЧКУ ОТСЧЕТА!



ПОЭТОМУ НА ПРАКТИКЕ
ИСПОЛЬЗУЮТСЯ ТОЧКИ,
ПОЛОЖЕНИЕ КОТОРЫХ
ОТНОСИТЕЛЬНО НАЧАЛА
КООРДИНАТ УЖЕ ИЗВЕСТНО, -
ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ПУНКТЫ!

ИЛИ ПУНКТЫ ТРИАНГУЛЯЦИИ.

1.2. КАК ВЫРАЗИТЬ ПОЛОЖЕНИЕ С ПОМОЩЬЮ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ПУНКТОВ

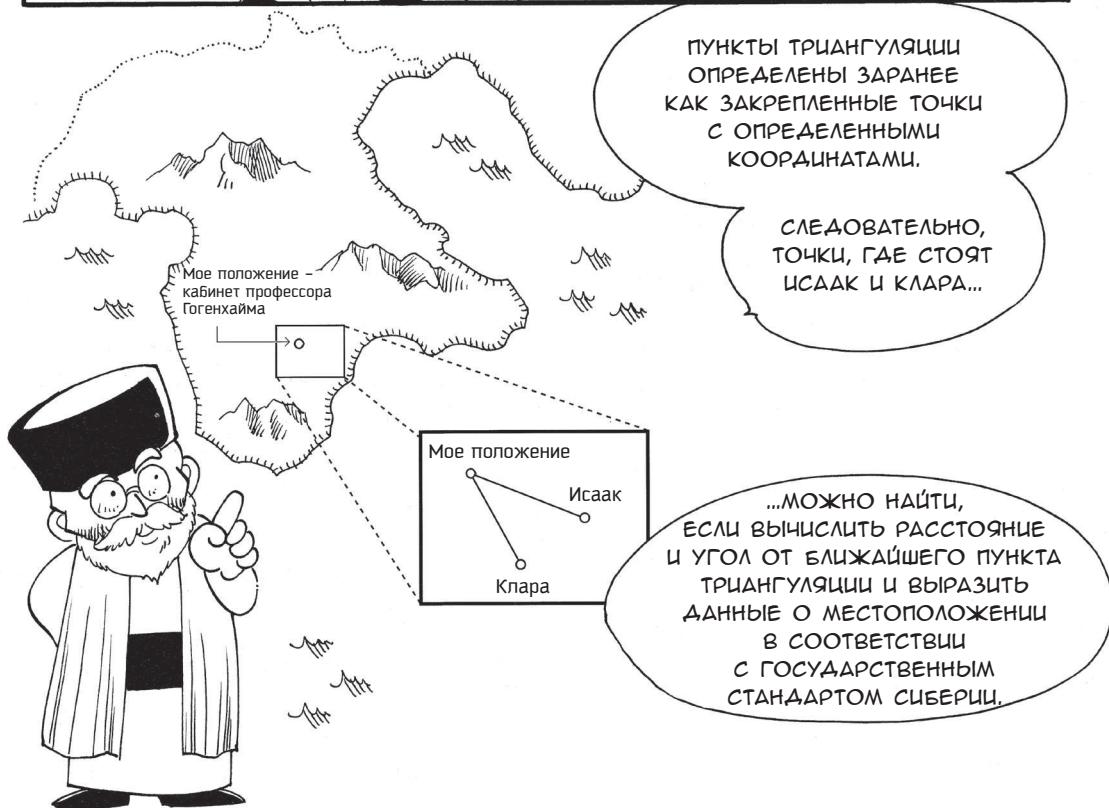
Государственный стандарт: пункты триангуляции

НЕОБХОДИМЫЕ КООРДИНАТЫ ТОЧКИ МОЖНО НАЙТИ ПУТЕМ ИЗМЕРЕНИЯ РАССТОЯНИЯ И УГЛА ОТ ПУНКТА ТРИАНГУЛЯЦИИ, КОТОРЫЙ НАХОДИТСЯ БЛИЖЕ ВСЕГО К ДАННОЙ ТОЧКЕ.

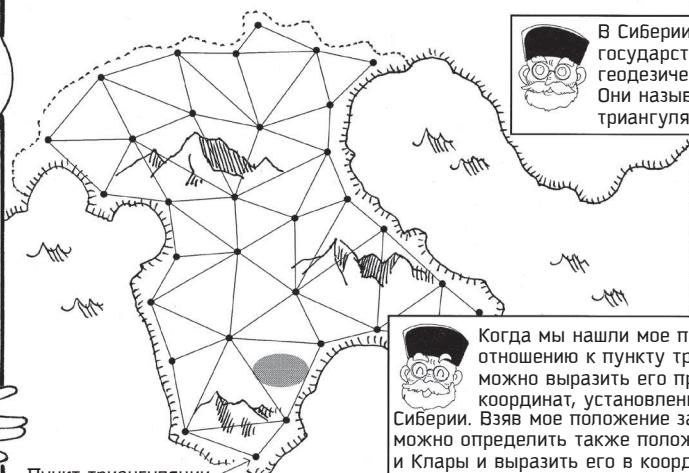


ПУНКТЫ ТРИАНГУЛЯЦИИ ОПРЕДЕЛЕНЫ ЗАРАНЕЕ КАК ЗАКРЕПЛЕННЫЕ ТОЧКИ С ОПРЕДЕЛЕННЫМИ КООРДИНАТАМИ.

СЛЕДОВАТЕЛЬНО, ТОЧКИ, ГДЕ СТОЯТ ИСААК И КЛАРА...



ПУНКТЫ
ТРИАНГУЛЯЦИИ
В КОРОЛЕВСТВЕ
СИБЕРИЯ
РАСПОЛОЖЕНЫ
ТАКИМ ОБРАЗОМ.



В Сибири есть
государственный стандарт
геодезических пунктов.
Они называются пунктами
триангуляции.

Когда мы нашли мое положение по
отношению к пункту триангуляции,
можно выразить его при помощи
координат, установленных стандартами
Сибири. Взяв мое положение за точку отсчета,
можно определить также положение Исаака
и Клары и выразить его в координатах,
основанных на этом стандарте.

А ТЕПЕРЬ, КОГДА МЫ ПОЗНАКОМИЛИСЬ
С ВНУТРЕННИМ СТАНДАРТОМ,
ПОПРОБУЕМ ПОСМОТРЕТЬ
ЧУТЬ-ЧУТЬ ПОШИРЕ!
КАК УЗНАТЬ МЕСТОПОЛОЖЕНИЕ
СИБЕРИИ ОТНОСИТЕЛЬНО
ЗЕМНОГО ШАРА?



НУ, ЗДЕСЬ
НУЖНА ДРУГАЯ
ТОЧКА ОТСЧЕТА.

ЕСЛИ НАМ НАДО
НАЙТИ ПОЛОЖЕНИЕ
НА ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ,
ТО СТАНДАРТ БУДЕТ УСТАНОВЛЕН
ОТНОСИТЕЛЬНО САМОЙ ЗЕМЛИ!
ВЫ СЛЫШАЛИ О ТАКОМ?





Земной стандарт – широта и долгота



Широта и долгота выражаются относительно центра Земли как точки отсчета. Значение широты составляет от 0° на экваторе до 90° на Северном и Южном полюсах. Долгота отсчитывается от нулевого **меридиана** 0° , который проходит через Гринвичскую обсерваторию (на самом деле через Лондон); к востоку от него – восточная долгота, к западу – западная.

Если мы мысленно разделим Землю как арбуз, то линии, параллельные экватору, будут **широтами**, а линии, перпендикулярные экватору, – **долготами**.

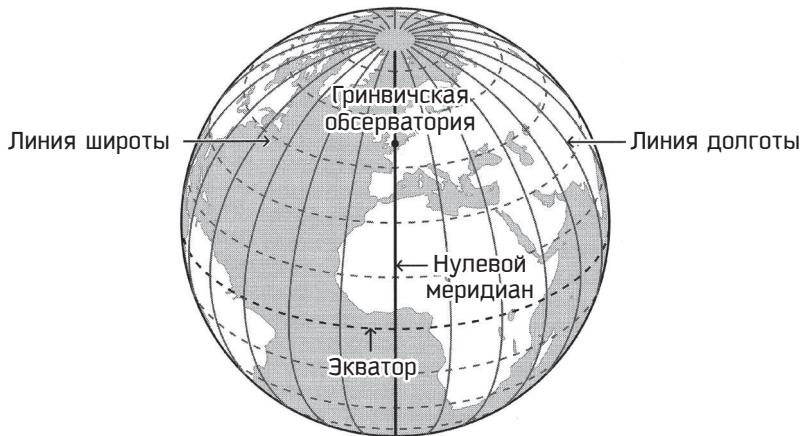


Рис. 1.1. Широта и долгота



Широта и долгота входят в мировую систему мер, которая помогает определить положение на поверхности Земли.



На поверхности Земли мы выражаем положение при помощи координат.



А на уровне Земли эти координаты называются широтой и долготой!



Поскольку обычно съемка ведется на очень небольшом участке, поверхность Земли обычно считается плоской, без учета кривизны.



Однако бывают случаи, когда ради точности съемки на большом участке следует учитывать то, что Земля – круглая.



Положение Сибири относительно широты и долготы выглядит так. Если выразить широту и долготу пунктов триангуляции в Сибири, можно выразить положение на поверхности Земли с помощью координат.



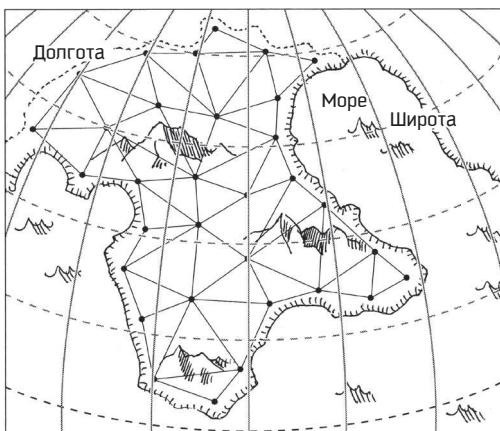
Рис. 1.2. Широта и долгота Сибири



Когда я думал, зачем нужны широта и долгота, я понял, что они необходимы для определения местоположения!



Именно!



Если узнать широту и долготу пункта триангуляции, то можно рассчитать положение на поверхности Земли

Рис. 1.3. Пункты триангуляции Сибири, широта и долгота

1.2. КАК ВЫРАЗИТЬ ПОЛОЖЕНИЕ С ПОМОЩЬЮ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ПУНКТОВ



На поверхности Земли... Круто!



Угу!



Стандарт высоты – реперные точки



Но... Пункты триангуляции – это стандарт на поверхности земли. А есть ли такой стандарт относительно высоты?



Конечно, существует такой стандарт. Высоту, относительно которой определяют, «высоко» или «низко» находится точка, называют **стандартным уровнем моря**. В качестве стандартного уровня моря часто используют средний уровень моря, измеряемый на протяжении длительного времени. Абсолютная высота над уровнем моря (м) – это высота, отсчитываемая от этого уровня вверх или вниз.

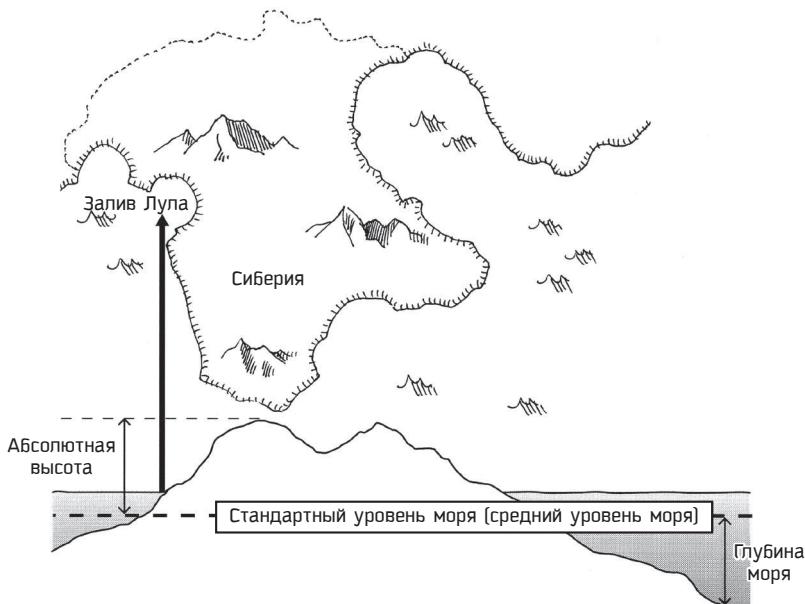


Рис. 1.4. Стандартный уровень моря



Однако среднее значение уровня моря меняется! Хотелось бы иметь какой-то неподвижный стандарт.



Именно. Вдобавок, даже если отсчитывать высоту от среднего уровня моря, на морской поверхности нельзя установить никакой отметки. И это неудобно, когда начинаются измерения. Поэтому устанавливают **неподвижную точку**, и когда вычисляют ее абсолютную высоту от уровня моря, то ведут отсчеты от этой неподвижной точки.

В Сибири стандартный уровень моря (средний уровень моря) залива Лула принят за ± 0 , и на высоте 24,414 метра от него на материке установлена исходная реперная точка.



Рис. 1.5. Точки отсчета реперных точек



Точки отсчета триангуляционных пунктов и реперных точек находятся в саду королевского замка.



Правда?



Да. А разве ты не знал? Посмотри, что там находится рядом со статуей Сибиря Тринадцатого? Это точки отсчета пунктов триангуляции и реперных точек...



Совсем не знал...

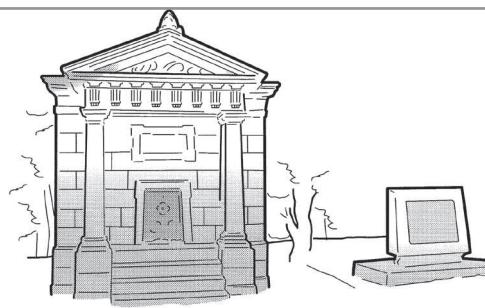


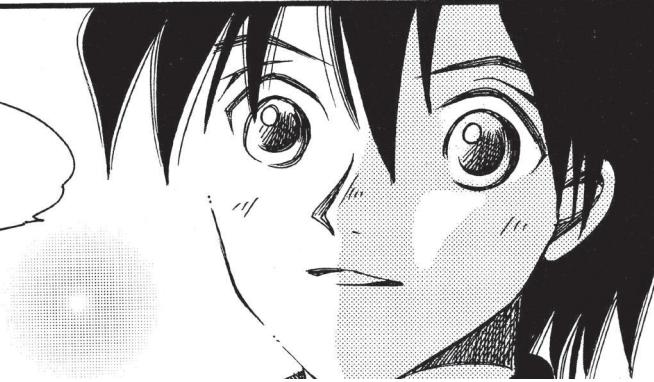
Рис. 1.6. Точки отсчета реперных точек и пунктов триангуляции



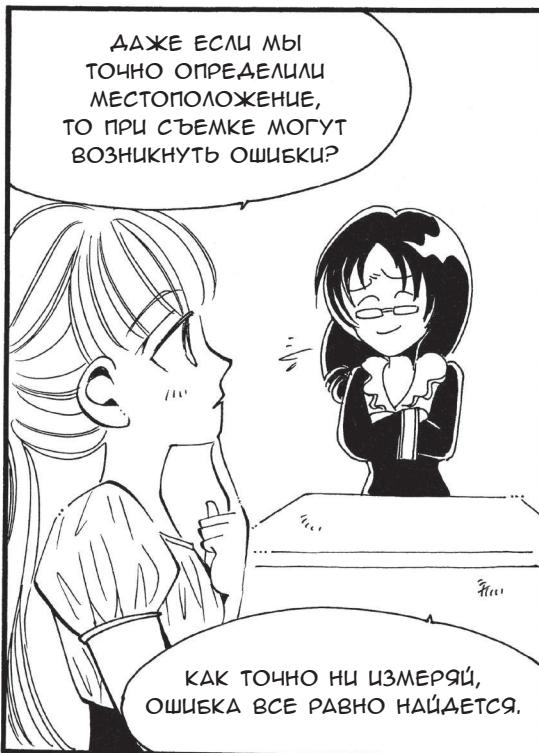
Хо-хо-хо, ну ты даешь! Ты не обращал на них внимания, потому что они не казались важными.



А теперь я на них обязательно посмотрю!



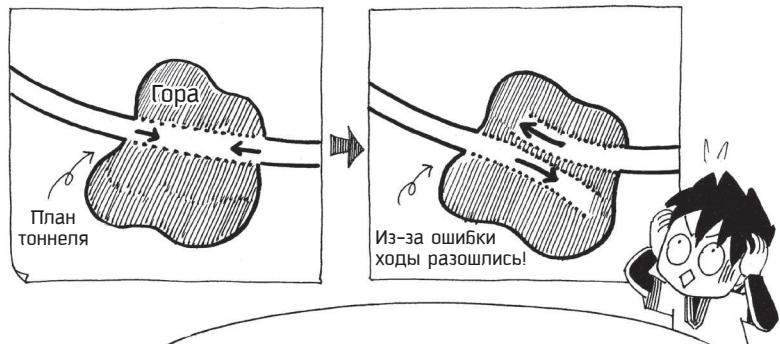
1.3. ОШИБКИ В ИЗМЕРЕНИИ



1. Ошибки измерительных приборов – ошибки, которые изначально содержатся в приборах или инструментах, используемых для съемки.
2. Естественные ошибки – ошибки, вызванные погодными условиями, влажностью, температурой и т. п.
3. Человеческий фактор – ошибки из-за индивидуальных различий съемщиков.
4. Искасжения – ошибки из-за невнимательности или неподготовленности человека, который проводит измерения.

НАПРИМЕР, КАК-ТО РАЗ МЫ СТРОИЛИ ТОННЕЛЬ, ПРОВЕЛИ СКРУПУЛЕЗНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ И СТАЛИ ПРОРЫВАТЬ ЕГО С ДВУХ СТОРОН.

Ошибка была большой



ОДНАКО ОШИБКА ОКАЗАЛАСЬ БОЛЬШОЙ, И ПРОРЫТАЕ НАМИ ХОДЫ НЕ СМОГЛИ СОЕДИНЯТЬСЯ. ПОЭТОМУ НАДО СТАРАТЬСЯ, ЧТОБЫ ОШИБКИ БЫЛИ МАЛЕНЬКИЕ.

ТО ЕСТЬ ЧЕМ МЕНЬШЕ ОШИБКА, ТЕМ ЛУЧШЕ?

Ужас!

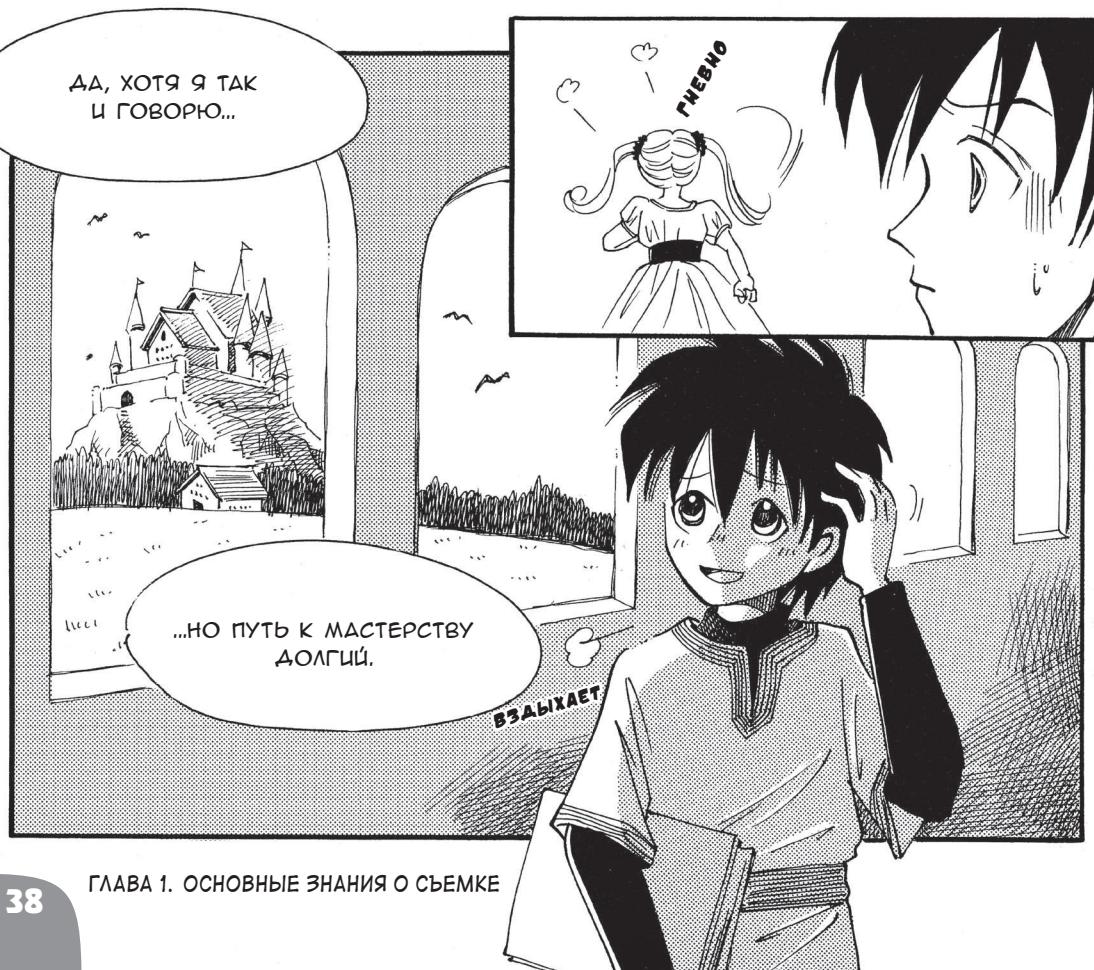
ВСЕ ТАК.
ОДНАКО ВСЕ НЕ ТАК-ТО И ПРОСТО, ЧТО И ДЕЛАЕТ ГЕОДЕЗИЮ ИНТЕРЕСНОЙ.

ЧТОБЫ УМЕНЬШИТЬ ОШИБКУ, НАДО НЕСКОЛЬКО РАЗ ТЩАТЕЛЬНО ПРОВОДИТЬ ИЗМЕРЕНИЯ... ИНЫМИ СЛОВАМИ, НА ЭТО НУЖНО ВРЕМЯ.

Сложно-то

Угу

А РАЗ НА ЭТО НУЖНО ВРЕМЯ, ТО ТРЕБУЮТСЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ЗАТРАТЫ. ПОЭТОМУ НЕОБХОДИМАЯ ТОЧНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ МЕНЯЕТСЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТОГО, ДЛЯ ЧЕГО ОНИ ПРОВОДЯТСЯ.



ПОДВЕДЕМ ИТОГИ

Форма и вид Земли

Как древние люди представляли себе форму Земли?

Давайте подумаем о форме и размере Земли, которую можно назвать точкой отсчета любой геодезической съемки. Когда вы стоите и смотрите в небо, какой вам кажется Земля? В древние времена считалось, что Земля плоская и где она кончается, кончается и мир.

В Древней Греции и древнем Вавилоне полагали, что плоская, как диск, Земля окружена океаном, а небо окружает ее, словно чаша (рис. 1.7). До эпохи Великих географических открытий считалось, что море – плоское и на его краю есть водопады (рис. 1.8). То, что Земля круглая (точнее говоря, эллипсоидная), поняли относительно недавно. Первые доказательства были получены во время экспедиции Колумба (1492) и первого кругосветного плавания Магеллана (1522).

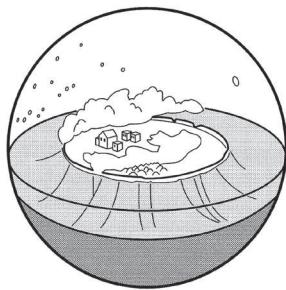


Рис. 1.7. Представление о форме земли в Вавилоне

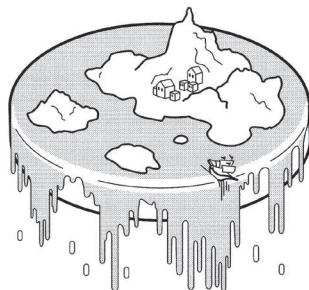


Рис. 1.8. Представление о форме Земли до эпохи Великих географических открытий

Круглая ли Земля?

Доказательства того, что Земля круглая, были получены в XIV веке, но задолго до этого, в 300 году до н. э., древние греки уже отмечали, что Земля – шар. Одним из них был Пифагор (582–496 до н. э.). Тезис о том, что земля конечна и имеет форму шара, был выдвинут Аристотелем, жившим в IV веке до н. э. (384–322 до н. э.). В теории о шарообразности земли Аристотель привел три доказательства этому тезису:

- 1) во время лунных затмений форма тени Земли всегда сферическая;
- 2) если идти на юг или на север, появляются невидимые звезды;
- 3) у корабля, который плывет в открытом море, видны только мачты.

Основываясь на том, что Земля – шар, греческий математик и астроном Эратосфен (275–194 до н. э.) измерил расстояние между двумя точками и в результате узнал размер окружности Земли.

Давайте посмотрим, как считал Эратосфен.

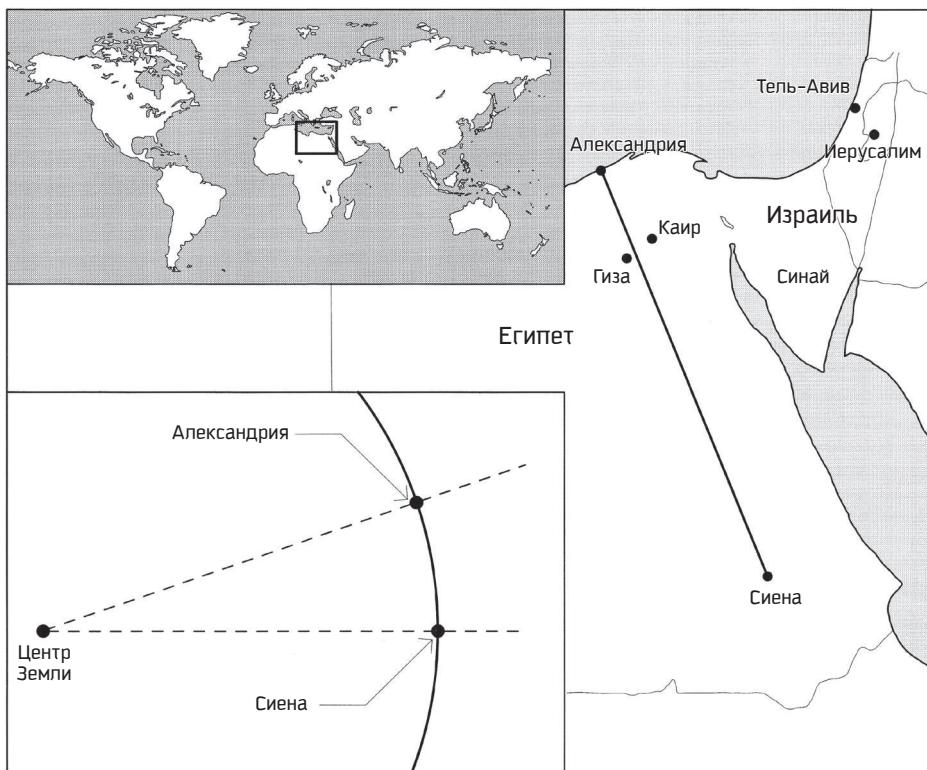


Рис. 1.9. Александрия и Сиена

Прежде всего Эратосфен, как показано на рис. 1.10а, находясь в Сиене (ныне Асуан), увидел, как солнечные лучи в день летнего солнцестояния падают на дно колодца, и заметил, что они падают вертикально (Солнце находится в зените).

Затем он обнаружил, что в тот же день солнцестояния в другом городе, Александре, солнце находится немного к югу от зенита. Тогда он измерил угол падения тени от вертикального шеста (отклонение от зенита), который составил $7,2^\circ$ (рис. 1.10б).

Поскольку солнечные лучи падают вертикально, а Земля – (предположительно) сфера, то величина угла с вершиной в центре Земли будет также равняться $7,2^\circ$, как показано на рис. 1.11.



Рис. 1.10. Наблюдения в Сиене и Александрии:
а – наблюдения в Сиене; б – наблюдения в Александрии

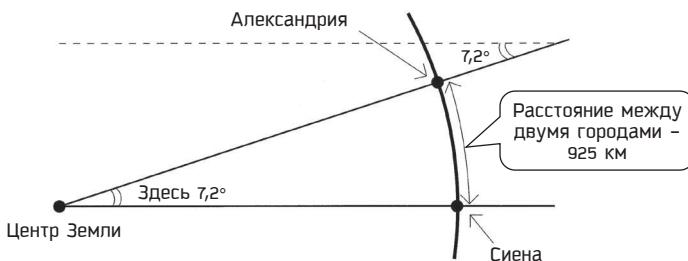


Рис. 1.11. Центральный угол

Затем было найдено расстояние от Сиены до Александрии, которое составило 925 км. Так как в окружности 360° , то есть 50 раз по $7,2^\circ$, при умножении 925 км на 50 получится, что длина окружности Земли составляет 46 250 км. Следовательно, радиус Земли – 7361 км.

Но каков радиус Земли на самом деле? Благодаря измерениям, проведенным при помощи современной техники, стало ясно, что Земля представляет собой шар, немного сплюснутый с полюсов. Самый длинный радиус (экваториальный) составляет 6377,397 км, а самый короткий (полярный) – 6356,079 км. С учетом того, что Эратосфен производил измерения в те времена, когда не существовало современных измерительных приборов, точность измерения можно назвать хорошей.

Меры длины

Разные меры длины в каждом регионе

Конечно, слово «измерение» происходит от глагола «мерить».

И раньше, когда измеряли количество принадлежащей тому или другому человеку земли, и сейчас, когда измеряют параметры тела для создания одежды, оно остается важным.

Итак, в прошлом существовали различные единицы для измерения длины. Часто измерение длины проводили, используя части тела. Например, в некоторых азиатских странах в качестве единицы измерения использовалось сяку (примерно 30,3 см), расстояние от среднего пальца до локтя, а в некоторых европейских странах использовались футы (примерно 30,48 см), длина ступни. Свои меры длины появились в разных странах и регионах.

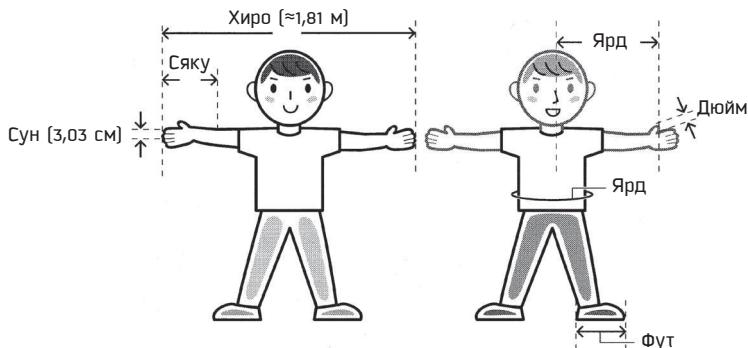


Рис. 1.12. Разные единицы измерения длины

Неудобства существования различных мер

В отдельном регионе или стране, где сфера человеческой деятельности была узкой, разные меры длины не причиняли особых неудобств. Однако, когда началась торговля между странами и территориями, возникли проблемы. Во время торговли местными товарами приходилось делать сложные расчеты по переводу одних мер длины в другие, что было неудобно.



Рис. 1.13. Неудобство из-за разных мер длины

Кроме того, точные измерения длины были крайне важны для производства оружия и промышленных товаров. Дело в том, что калибр пушек, которые из-

готавливались в одной стране, мог не совпадать с калибром ядер, которые делались в другой. Такие неудобства помогли проложить дорогу к унификации единиц измерения.

Унификация единиц измерения и их распространение

В марте 1790 года французский парламент принял решение о разработке новых единиц длины с целью их унификации. В следующем году было решено принять одну десятимиллионную часть длины земного меридиана от экватора до Северного полюса за один метр. Так появилась метрическая система, определяющая единицы измерения, которыми мы пользуемся и сейчас.

Может показаться, что рождение метрической системы мер приветствовалось людьми по всему миру, однако распространение новых единиц измерения было делом нелегким. Переход на метрическую систему мер встретил огромное сопротивление, так как люди привыкли к своим уникальным системам измерения.

В результате правительства разных стран сделали использование унифицированных систем измерения обязательным, и это позволило, наконец, перейти от старых единиц измерения к новым. Польза от введения единой системы мер длины огромна, хотя и поныне существуют страны, которые не приняли метрическую систему.

Геодезическая съемка в Японии

История геодезической съемки

Считается, что искусство измерения земли появилось в Японии примерно в середине VI века благодаря японским посольствам к династиям Сун и Тан. С того времени в Японии действовал закон о выдаче земельных наделов. В соответствии с ним в 646 году был введен налог на землю.

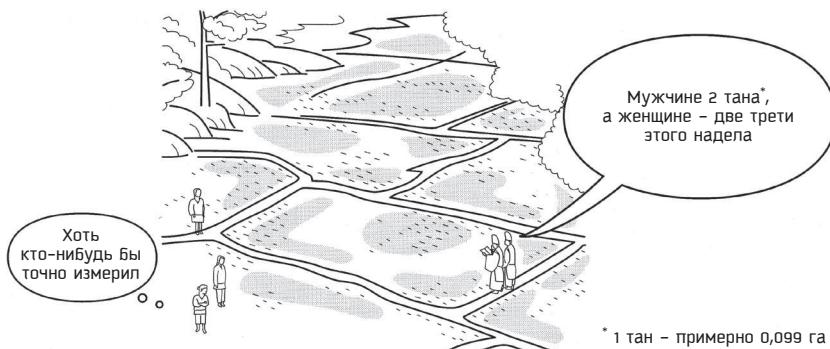


Рис. 1-14. Закон о выдаче земельных наделов

Суть этого закона: при достижении человеком определенного возраста государство выдавало ему участок земли для обработки, с которого уплачивался налог (со). Для измерения площади земли использовались некоторые методы съемки.

В 708 году был провозглашен императорский указ о строительстве города Хэйдзё-кё (Нара), а в 710 году туда была перенесена столица. Хэйдзё-кё была разделена на правильные участки, словно клеточки для игры в го (см. рис. 1.15). При строительстве столицы использовались определенные методы съемки для проведения дорог и т. д.

Таким образом, геодезическая съемка не только использовалась для строительства столицы, культурного и политического центра государства, но и была важным инструментом для пополнения бюджета страны благодаря сбору ежегодного налога с участков (со).

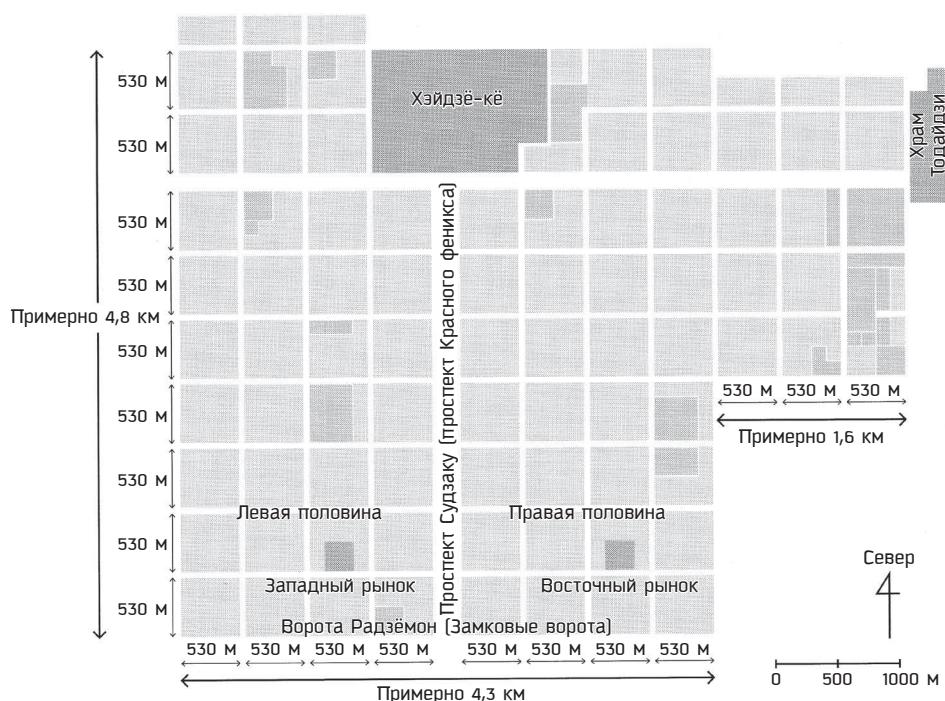


Рис. 1.15. План столицы Хэйдзё-кё

Измерения и карта Японии

Считается, что самая древняя дошедшая до нас карта Японии «Кайдодзу» («Гёкидзу») («Карта морских путей» или «Карта монаха Гёки») была создана в эпоху Нара (710–794 гг.), в середине VIII века (в годы правления императора Сёму) мо-

нахом Гёки. Гёки не был профессиональным геодезистом, поэтому на этой карте углы и расстояния обозначены неточно.

Гёки родился в 668 году в провинции Идзути, в 14 лет принял монашество. Проповедуя, он путешествовал по разным провинциям, где помогал местным жителям строить дороги, мосты, каналы и дамбы. Когда в 723 году был принят закон о выдаче новых целинных земель в пользование на три поколения, Гёки уже имел опыт строительных работ. В соответствии с этим законом целинные земли передавались в пользование на три поколения (человеку, его детям и внукам или же ребенку, внукам и правнукам) при условии их разработки и создания системы каналов и прудов, а если такая система водоснабжения уже существовала, то позволялось брать землю в пользование на одно поколение – так поощрялась разработка целины.

Под прикрытием этого закона аристократы и знать стремились получить большое количество земли в собственное пользование. Считается, что Гёки провел много строительных работ им в помощь. Он проводил геодезическую съемку при строительстве прудов и каналов, дорог и мостов, а также она оказалась незаменимой, когда он создавал карты для надзора над целинными землями. Таким образом, он оказал огромное влияние на развитие геодезии в Японии.

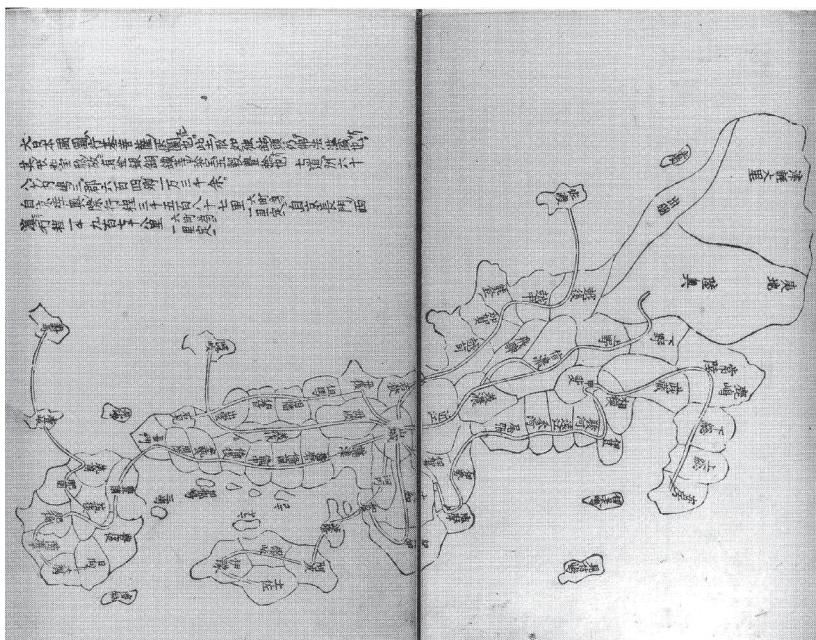


Рис. 1.16. Созданная монахом Гёки карта (Гёки-дзу)
(источник: архив библиотеки университета Цукуба,
из «Сюгайсё», Мураками Ёхэй (1656))

Геодезия и «кадастр Хидэёси»

Проходили годы, и уже во времена правления сегунов¹ составленной монахом Гёки карты было недостаточно. Но только во второй половине XVI века в результате кадастра Тоётоми Хидэёси² была составлена карта эры Бунроку (1593–1596).

Тоётоми Хидэёси (1537–1598) родился в деревне Накамура уезда Айти провинции Овари (ныне район Накамура города Нагоя) в крестьянской семье, служил у Оды Нобунаги, получил звание генерала, а после успешной осады замка Одавара и гибели клана Го-Ходзё смог объединить всю страну. Тоётоми продолжил начатое Одой Нобунага разделение сословий – крестьян от самураев, провел по всей стране охоту за мечами³ и создал **кадастр Хидэёси**. За время кадастра Хидэёси была определена площадь земельных участков и проведен расчет количества урожая – и это был первый кадастр, проведенный по всей Японии. Измерение количества урожая и обмер участков проводились с использованием единой системы мер. До этого меры измерения были разными, что доставляло неудобства. В ходе кадастра шесть сяку и три суна составляли 1 кэн, квадрат стороной в 1 кэн – 1 бу; 30 бу образовывали 1 унэ, 10 унэ составляли 1 тан, а 10 тан – 1 тё.

В те годы процветала торговля и с европейскими странами, но изготовление карт было государственным секретом и послужило важной мерой для объединения страны.

Карты Японии в эпоху Эдо

В эпоху Эдо карты Японии составлялись шесть раз (табл. 1.1). В каждом случае правящий сегун приказывал нарисовать карту всех земель, и эти карты составлялись на основе информации, поступавшей от каждой провинции.

Таблица 1.1. Карты Японии, составленные в эпоху Эдо

Название карты	Сегун
Карта годов Кэйтё (1596–1615)	Токугава Иэясу
Карта годов Сёхо (1645–1648)	Токугава Иэмицу
Карта годов Гэнроку (1688–1704)	Токугава Цунаёси
Карта годов Кёхо (1716–1736)	Токугава Ёсимунэ
Полная карта Земель Японии	Токугава Иэхару
Карта прибрежных земель Японии	Токугава Иэнари

Полную карту земель Японии составил в 1778 году живописец из княжества Мито по имени Нагикубо Сэкисуй. Эта карта основывалась на многих материа-

¹ Сёгун – так называли правителей Японии в период с 1192 до 1868 года.

² Японский военный и политический деятель, один из трех объединителей Японии.

³ Охота за мечами (катанагари) – конфискация оружия у населения, которое не принадлежало к самурайскому сословию. Самая известная началась в 1588 году по указу Тоётоми Хидэёси.

лах и иллюстрациях, в частности на более ранней карте эпохи Кёхо. Карта прибрежных земель Японии, созданная Ино Тадатака, о котором пойдет речь ниже, была секретной картой сегуната и не была открыта для публики. Поэтому только полная карта земель Японии Нагикубо Сэкисуй оставалась доступной для всех картой Японии вплоть до конца сегуната.

Ино Тадатака и съемка в Новое время

1. Кто такой Ино Тадатака?

Ино Тадатака (1745–1818) родился в деревне Одзэки уезда Ямабэ провинции Кадзуса (ныне деревня Кудзюкури префектуры Тиба). Он был усыновлен семьей Ино из Савара в провинции Симоса и унаследовал их дело. Тадатака восстановил семейное предприятие и, передав дела старшему сыну, отправился на покой.

Удалившись от дел, Ино заинтересовался астрономией и геодезией и в 1795 году переехал в Эдо (сейчас – Токио), где стал учеником астронома Такахаси Ёситоки. Во время изучения астрономии также приобрел геодезические познания. Затем Ино получил разрешение от правительства на проведение работ по картографированию Эдзо (сейчас – о. Хоккайдо). Воспользовавшись случаем, в 1800 году в возрасте 55 лет он начал составлять карту прибрежных земель Японии.

Экспедиции Тадатака приведены в табл. 1.2.

Таблица 1.2. Составление карты прибрежных земель Японии

	Период съемки	Местность
1 съемка	Апрель–октябрь 1800	Дорога Осю-кайдо, Эдзо
2 съемка	Апрель–декабрь 1801	Идзу, восточное побережье Хонсю, Осюю
3 съемка	Июнь–октябрь 1802	Дэва, Этиго
4 съемка	Февраль–октябрь 1803	Суруга, Овари, Хокурику, Садо
5 съемка	Февраль 1805 – октябрь 1806	Токайдо, Кинки, Санъё, Сэтонай, Санъин
6 съемка	Январь 1808 – январь 1809	Авадзи, Сикоку, Исэ
7 съемка	Август 1809 – ноябрь 1811	Накаяма-до, Тюгоку, Кюсю, Каи-дорога
8 съемка	Ноябрь 1811 – май 1814	Кюсю, Тюгоку, Кинки, Тюбу
9 съемка	Февраль 1815 – апрель 1816	Эдо, Идзу (архипелаг)
10 съемка	1816	Эдо

2. Методы и техники съемки

Давайте вкратце познакомимся с методами съемки, которые применял Тадатака. Например, когда он измерял прибрежную линию, то на изгибах выставлялись бонтэнзы (бамбуковые шесты с закрепленными на них бумажными полосками), а затем он измерял расстояния между бонтэнзами и азимуты (угол от направления к северу) между ними по направлению движения.

Расстояние измерялось при помощи тогдашней «рулетки» гэннава (конопляной веревки) и цепей (рис. 1.18).

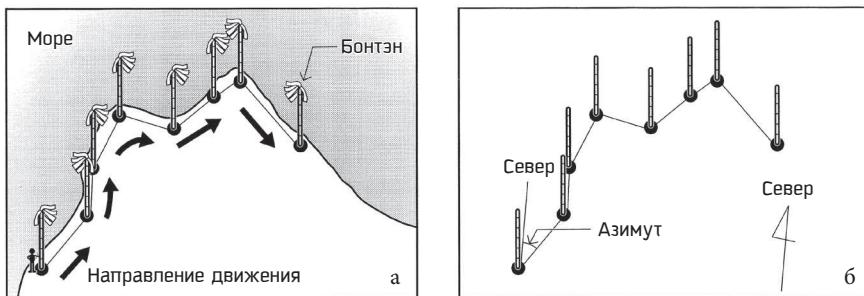


Рис. 1.17. Метод съемки, используемый Тадатака:
а – установка бонтэн; б – измерение угла

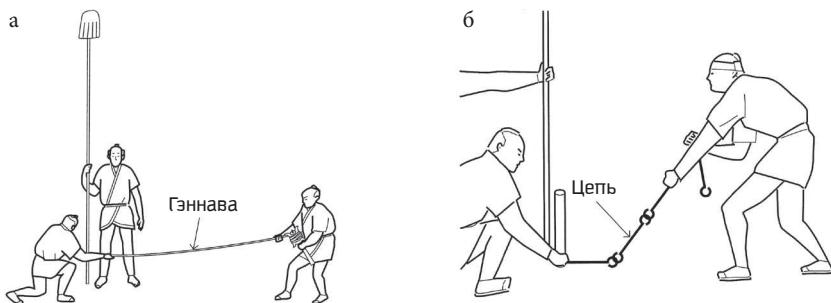


Рис. 1.18. Измерение расстояния:
а – измерение расстояния при помощи гэннава;
б – измерение расстояния при помощи цепи

Возможно, иногда расстояния измерялись шагами. Измерялась длина шага, а затем расстояние вычислялось, исходя из количества шагов до цели. Например, если длина шага 70 сантиметров, а до цели 1000 шагов, то расстояние будет равно $70 \text{ см} \times 1000 \text{ шагов} = 70\,000 \text{ см} = 700 \text{ м}$.

Для измерения углов использовались специальные инструменты. Это прикрепленный к трости компас, стрелка которого благодаря магниту всегда указывала на север, который использовался для измерения угла от севера (азимута) (рис. 1.19).

Чтобы минимизировать ошибки, Тадатака искал способы и проводил коррекцию ошибок. Он корректировал полученные данные, вычисляя угловые размеры гор или других целей, вроде горы Фудзи или небесных объектов, таких как неподвижные звезды, стоя на позиции, где были установлены шесты.

3. Завершение карты прибрежных местностей Японии

Удивительно, в карте, составленной при помощи таких методов съемки, ошибок было немного даже по сравнению с современными спутниковыми картами.

Она и поныне считается важным географическим источником. Однако Тадатака не смог увидеть свою работу завершенной. После его смерти составлением карты занялись ученики, и через три года, в 1821 году, карта прибрежных местностей Японии наконец-то была завершена и представлена сегуну.

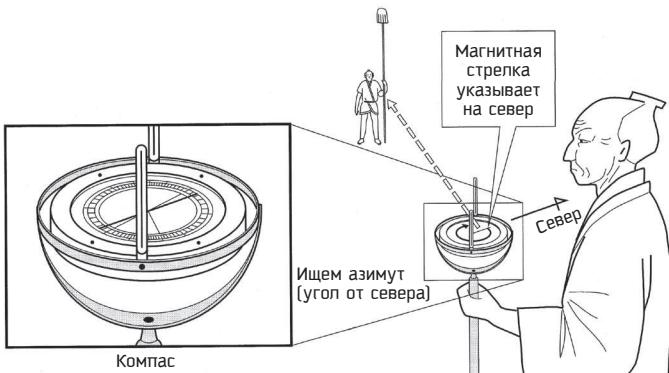


Рис. 1.19. Японский компас

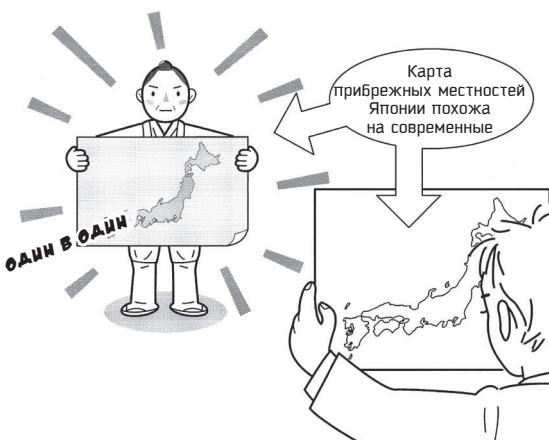


Рис. 1.20. Точность карты, составленной Ино Тадатака

Представленная карта прибрежных местностей Японии оставалась государственной тайной до конца сегуната, и за ее разглашение строго наказывали. В 1828 году, когда эту карту обнаружили у Зибольда¹, он и причастные лица были строго наказаны, что получило название «инцидент Зибольда».

¹ Зибольд Филипп (1796–1866) – немецкий медик, ботаник и исследователь Японии. После покупки у придворного астронома карты Японии был арестован, обвинен в измене и выслан из страны.

Стандарты измерения в Японии: пункты триангуляции и реперные точки

Пункты триангуляции

Пункты триангуляции, которые являются стандартными геодезическими точками в Японии, делятся на четыре класса. Пункты триангуляции первого класса расположены на расстоянии 45 км. Их точность поддерживается благодаря пересъемке, которая проводится в установленные сроки. Все пункты триангуляции покрывают страну, словно сеть, поэтому их еще называют **сетью триангуляции**. Карта пунктов триангуляции первого класса приведена на рис. 1.21.

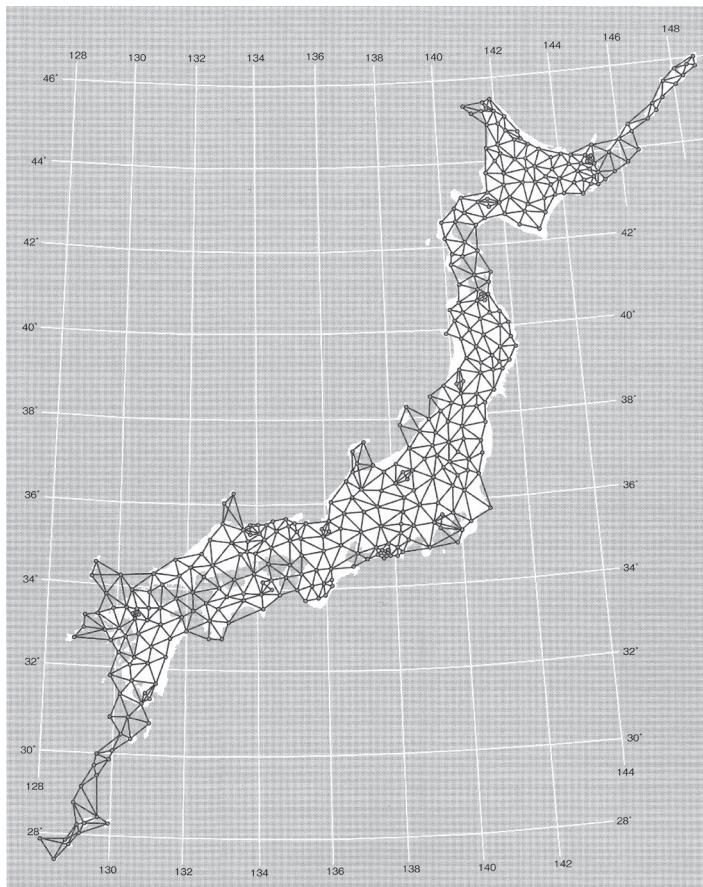


Рис. 1.21. Сеть пунктов триангуляции первого класса в Японии
(источник: Топографическое агентство)

Точка отсчета сети триангуляции Японии находится там, где ранее находилась Токийская обсерватория, у посольства России в Адзабудай, район Минато, Токио. Эта точка также называется японский геодезический датум. Ранее там проводились астрономические измерения. Ее координаты: $35^{\circ} 39' 29,1572''$ с. ш. и $139^{\circ} 44' 28,8869''$ в. д.

Реперные точки

В отличие от пунктов триангуляции, **реперные точки**, которые указывают высоту, установлены по всей стране. Точку отсчета реперных точек называют **футштоком**. Футшток в Японии находится в Нагататё, район Тиёда, Токио, и его высота относительно среднего уровня моря составляет 24,414 м. Этот футшток является основой для измерения высот по всей стране.

Средний уровень моря в Японии определялся путем многолетних измерений уровня моря на приливной станции в Токийском заливе. (В качестве стандартного уровня воды Токийского залива используется уровень, который измерялся с 1873 по 1879 год на приливной станции в Токио на острове Рэйтандзима.) Высота (над уровнем моря) – это расстояние, которое измеряется перпендикулярно стандартному уровню моря. Например, высота горы Фудзи, 3776 метров, вычисляется относительно среднего уровня моря.

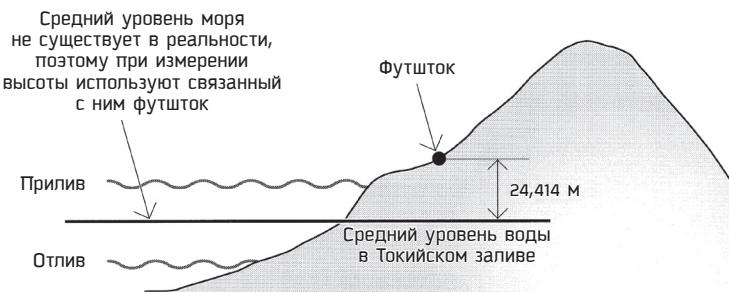


Рис. 1.22. Стандарт высоты

Однако средний уровень моря в заливе, который принят за стандарт, был получен в результате измерений и не существует в реальности (уровень моря на самом деле отличается во время прилива и отлива и постоянно меняется). Поэтому для измерений на практике используют неподвижную точку, высота которой зафиксирована. Эта точка называется футштоком.

Однако на далеких островах, где соотношение высоты не может быть напрямую установлено, средний уровень моря определяется по результатам измерения уровня прилива на приливных станциях, которые находятся на этих островах, и эта высота используется в качестве стандарта. При речном и портовом строительстве более удобным может оказаться использование уровня высот,

рассчитанного для данной реки или порта, а не средний уровень моря в заливе. В каждом из этих случаев был установлен специальный стандарт.

Существует два типа реперных точек: реперные точки класса, устанавливаемые и управляемые Институтом географических исследований Министерства земледелия, инфраструктуры, транспорта и туризма, и реперные точки уровня, устанавливаемые и управляемые местными органами власти. Чем меньше номер класса, тем выше точность этой точки. Реперные точки обычно указываются в виде свай или металлических знаков у основных дорог.

При установке вдоль дорог с интенсивным движением реперная точка может быть повреждена в ходе строительства или аварии, поэтому ее наполовину закапывают в землю. Дорога, на которой установлен этот ориентир, называется **нивелирным ходом**. Кроме того, как и сеть триангуляции, реперные точки часто устанавливаются в виде сети по всей стране, поэтому их иногда называют **нивелирными сетями**. На рис. 1.23 показана нивелирная сеть пунктов первого класса Японии.

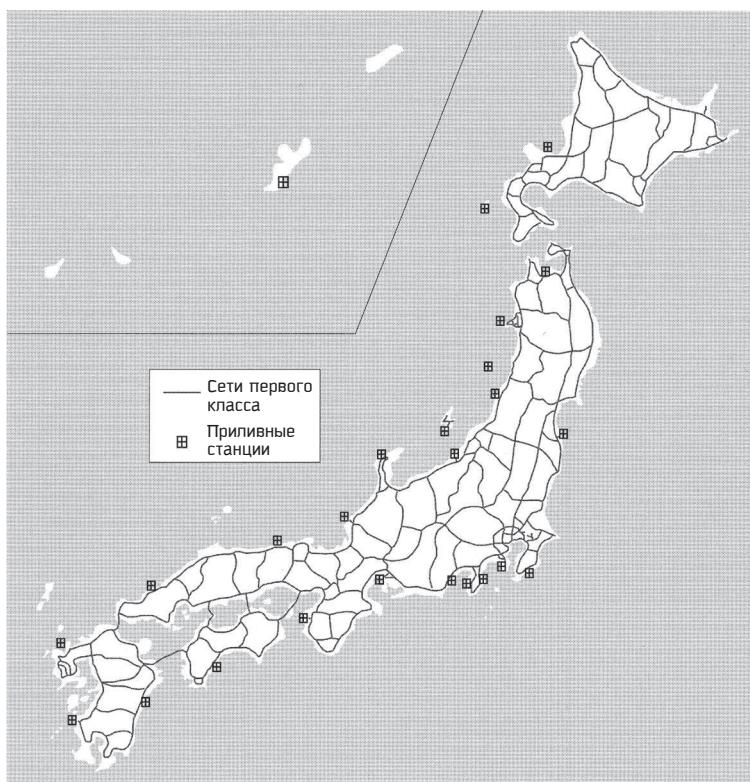
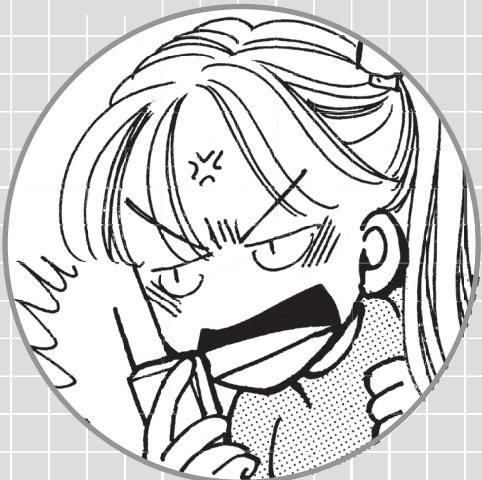


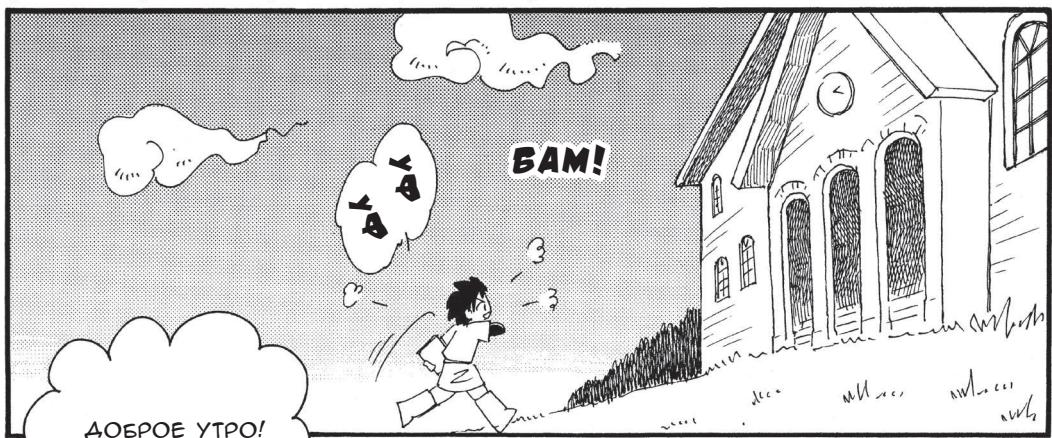
Рис. 1.23. Карта первоклассных сетей Японии
(источник: топографическое агентство)

ГЛАВА 2

ИЗМЕРЕНИЕ РАССТОЯНИЙ



2.1. КАК ИЗМЕРЯТЬ РАССТОЯНИЕ

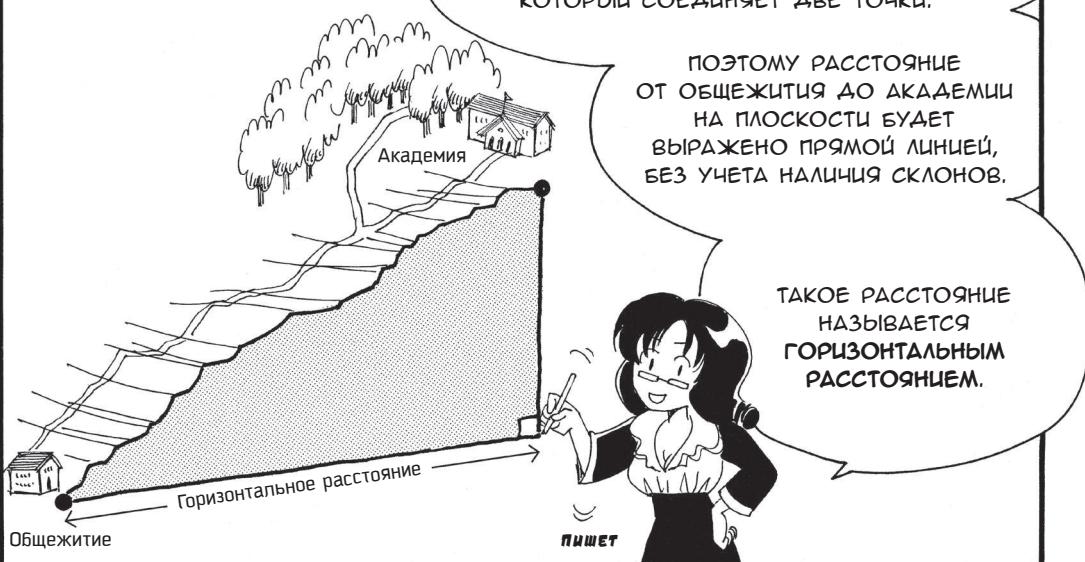




Подумаем о расстоянии

НА КАРТАХ И ДРУГИХ ДВУХМЕРНЫХ ПЛОСКОСТЯХ РАССТОЯНИЕ ОБЫЧНО ВЫРАЖАЕТСЯ КАК ОТРЕЗОК, КОТОРЫЙ СОЕДИНЯЕТ ДВЕ ТОЧКИ.

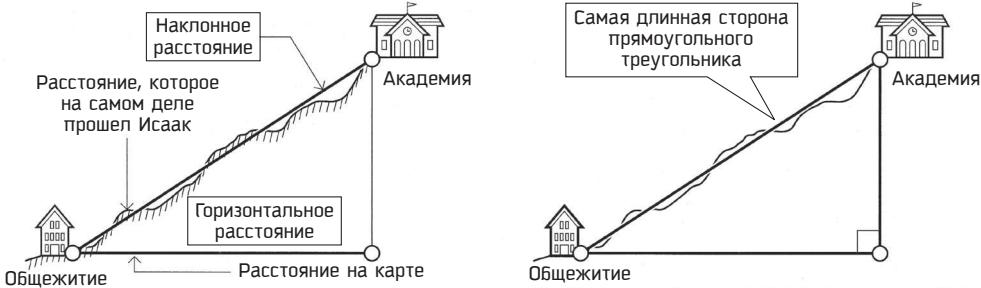
ПОЭТОМУ РАССТОЯНИЕ ОТ ОБЩЕЖИТИЯ ДО АКАДЕМИИ НА ПЛОСКОСТИ БУДЕТ ВЫРАЖЕНО ПРЯМОЙ ЛИНИЕЙ, БЕЗ УЧЕТА НАЛИЧИЯ СКЛОНОВ.



НО НА САМОМ-ТО ДЕЛЕ ОБЩЕЖИТИЕ НАХОДИТСЯ НИЖЕ, ЧЕМ АКАДЕМИЯ!

РАССТОЯНИЕ С УЧЕТОМ НЕРОВНОСТЕЙ ПОВЕРХНОСТИ, НАПРИМЕР СКЛОНОВ, ХОЛМОВ, НАЗЫВАЕТСЯ **НАКЛОННЫМ РАССТОЯНИЕМ**.

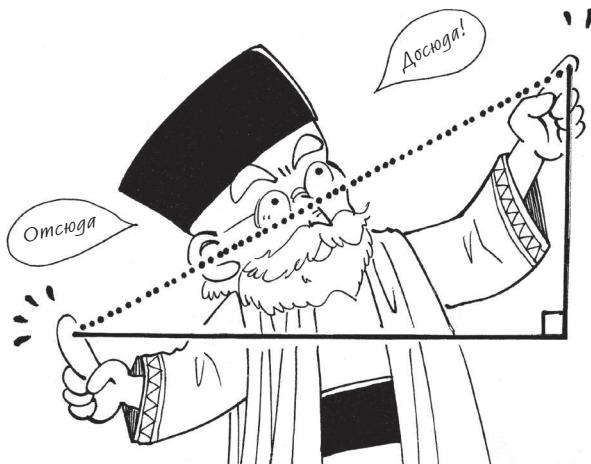
ТЕБЕ ЖЕ ИЗВЕСТНО, ЧТО В ПРЯМОУГОЛЬНОМ ТРЕУГОЛЬНИКЕ ГИПОТЕНУЗА - САМАЯ ДЛИННАЯ ИЗ СТОРОН? ПОЭТОМУ, САМО СОБОЙ, НАКЛОННОЕ РАССТОЯНИЕ БУДЕТ БОЛЬШЕ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО!



ЗНАЧИТ, НАДО ПОСТРОИТЬ ПРЯМОУГОЛЬНЫЙ ТРЕУГОЛЬНИК.

Что?

треугольник



РАССТОЯНИЕ - ЭТО ДЛИНА ОТРЕЗКА, КОТОРЫЙ СОЕДИНЯЕТ ДВЕ ТОЧКИ.

КРОМЕ НАКЛОННОГО И ГОРИЗОНТАЛЬНОГО РАССТОЯНИЙ, КОТОРЫЕ СОЕДИНЯЮТ ДВЕ ТОЧКИ, ЕСТЬ ЕЩЕ И РАЗНИЦА ВЫСОТ.

ЧТОК,
КОГДА МЫ ГОВОРIM ОБ
ИЗМЕРЕНИИ РАССТОЯНИЯ,
МЫ ГОВОРIM
О ГОРИЗОНТАЛЬНОМ
РАССТОЯНИИ.

ГРОЗИТ
ПАЛЬЦЕМ

Наклонное расстояние l [м]

Разница
высот h [м]

Горизонтальное
расстояние L [м]

А ТЕПЕРЬ ПОПРОБУЕМ
ИЗМЕРИТЬ РАССТОЯНИЕ
ОТ ОБЩЕЖИТИЯ
ДО АКАДЕМИИ
НА ПРАКТИКЕ!

Ура!

Практическое
занятие!

ПРОФЕССОР!

ВОЗЬМите,
Пожалуйста.

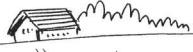
Эксплуататоры!

Ладно...

Давайте
я помогу

Снаружи-то
как хорошо!

Ммм...



2.2. КАК ИЗМЕРИТЬ РАССТОЯНИЕ НА СКЛОНЕ

Непосредственное измерение
горизонтального расстояния
с помощью рулетки

А ТЕПЕРЬ ПРИСТУПИМ
К ИЗМЕРЕНИЮ РАССТОЯНИЯ
ДО ОБЩЕЖИТИЯ. ПЕРЕД НАМИ
СКЛОН, ПОЭТОМУ ИЗМЕРИТЬ МЫ
БУДЕМ НАКЛОННОЕ РАССТОЯНИЕ.



ОДНАКО МЫ ЖЕ
ГОВОРИЛИ, ЧТО
БУДЕМ ИСКАТЬ
Горизонтальное
расстояние!

ДА, В КОНЦЕ
МЫ НАЙДЕМ
Горизонтальное
расстояние.

СУЩЕСТВУЕТ
ДВА СПОСОБА НАЙТИ
Горизонтальное расстояние,
когда перед нами склон.
Первый - взять рулетку
и прямо измерить
горизонтальное
расстояние.



НО ЭТО ЖЕ ПРЯМАЯ
ЛИНИЯ... ТОННЕЛЬ НАМ
НЕ ВЫКОПАТЬ. И В ВОЗДУХ
ТОЖЕ НЕ ПОДНЯТЬСЯ!

ХЛОП-ХЛОП!

Горизонтальное расстояние L [м]

У НАС НИЧЕГО
НЕ ПОЛУЧИТСЯ!

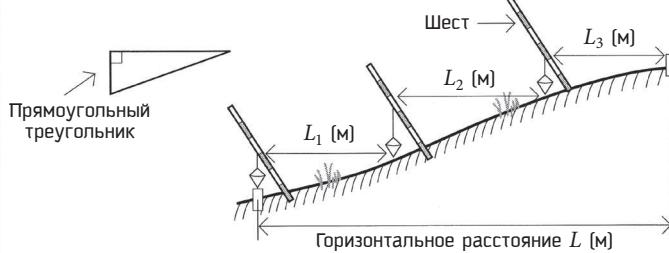
ДА НЕТ, ПОЛУЧИТСЯ,
МОЖНО ПРИДУМАТЬ
СПОСОБ ИЗМЕРИТЬ
ГОРИЗОНТАЛЬНОЕ
РАССТОЯНИЕ,
НАХОДЯСЬ
НА СКЛОНЕ.

ГОРИЗОНТАЛЬНОЕ
РАССТОЯНИЕ
НА СКЛОНЕ...

ПРЕДСТАВИМ, ЧТО СКЛОН
РАЗДЕЛЕН СЛЕДУЮЩИМ
ОБРАЗОМ.

МЫ СМОЖЕМ НАЙТИ
ГОРИЗОНТАЛЬНОЕ РАССТОЯНИЕ L ,
ЕСЛИ ИЗМЕРИМ И СЛОЖИМ
ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ РАССТОЯНИЯ
 L_1 , L_2 , L_3 . ТАК ЧТО ЕСЛИ МЫ
ВОСПОЛЬЗУЕМСЯ
ЭТИМ МЕТОДОМ...

$$\text{Горизонтальное расстояние } L \text{ [м]} = L_1 + L_2 + L_3$$



...ТО СМОЖЕМ ИЗМЕРИТЬ
ГОРИЗОНТАЛЬНОЕ
РАССТОЯНИЕ ДАЖЕ
НА СКЛОНЕ.

ЗДЕСЬ
КРАЙНЕ ВАЖНО
ПОСТРОИТЬ
ПРЯМОУГОЛЬНЫЙ
ТРЕУГОЛЬНИК!

ТРЕУГОЛЬНИК

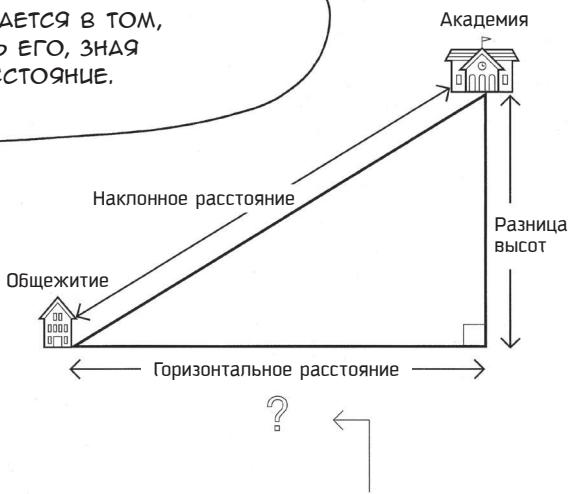
И правда...



Непосредственное измерение наклонного расстояния при помощи рулетки

ВТОРОЙ СПОСОБ НАЙТИ ГОРИЗОНТАЛЬНОЕ РАССТОЯНИЕ НА СКЛОНЕ ЗАКЛЮЧАЕТСЯ В ТОМ, ЧТОБЫ ВЫЧИСЛИТЬ ЕГО, ЗНАЯ НАКЛОННОЕ РАССТОЯНИЕ.

ТАК КАК МЫ ЗНАЕМ РАЗНИЦУ ВЫСОТ МЕЖДУ ОБЩЕЖИТИЕМ И АКАДЕМИЕЙ, ТО СМОЖЕМ НАЙТИ ГОРИЗОНТАЛЬНОЕ РАССТОЯНИЕ.



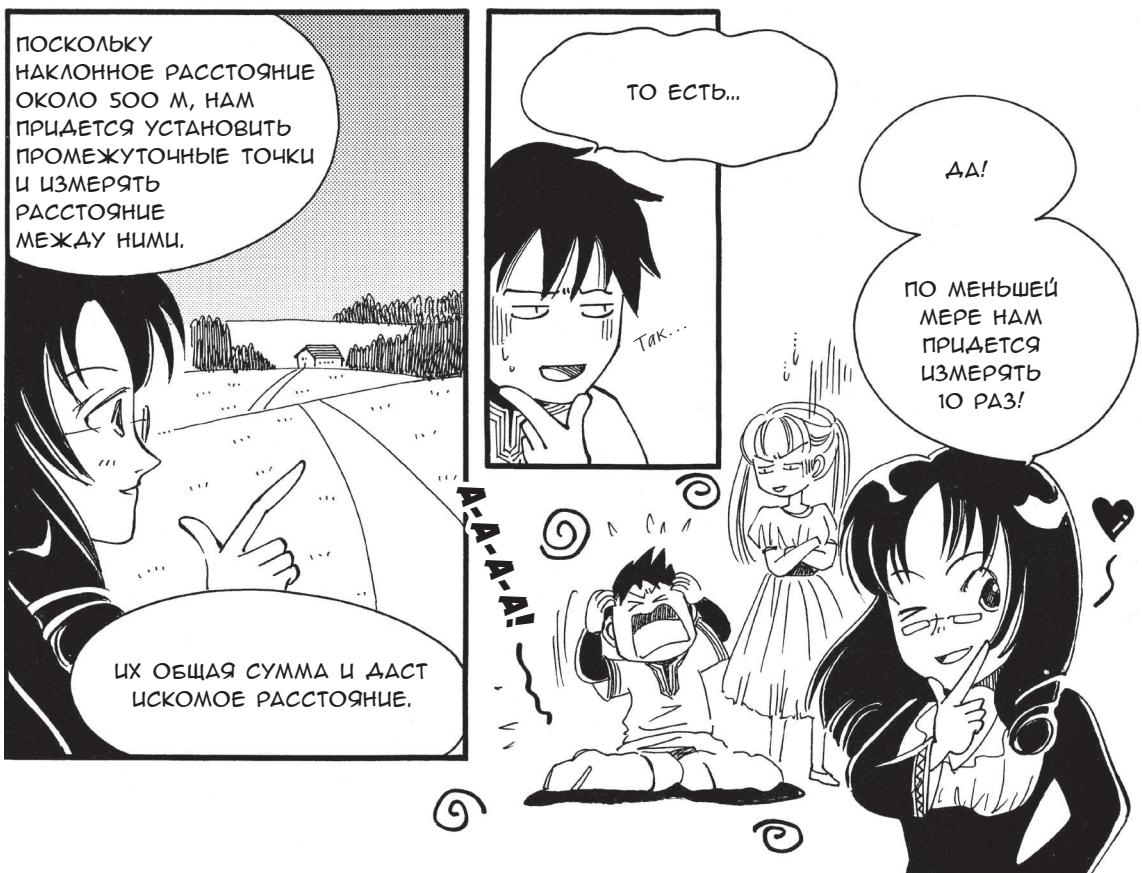
Искомое расстояние можно вычислить, зная наклонное расстояние и разницу высот

ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РУЛЕТКИ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ РАССТОЯНИЯ БЫВАЮТ СТАЛЬНЫМИ ИЛИ ФИБЕРГЛАССОВЫМИ.

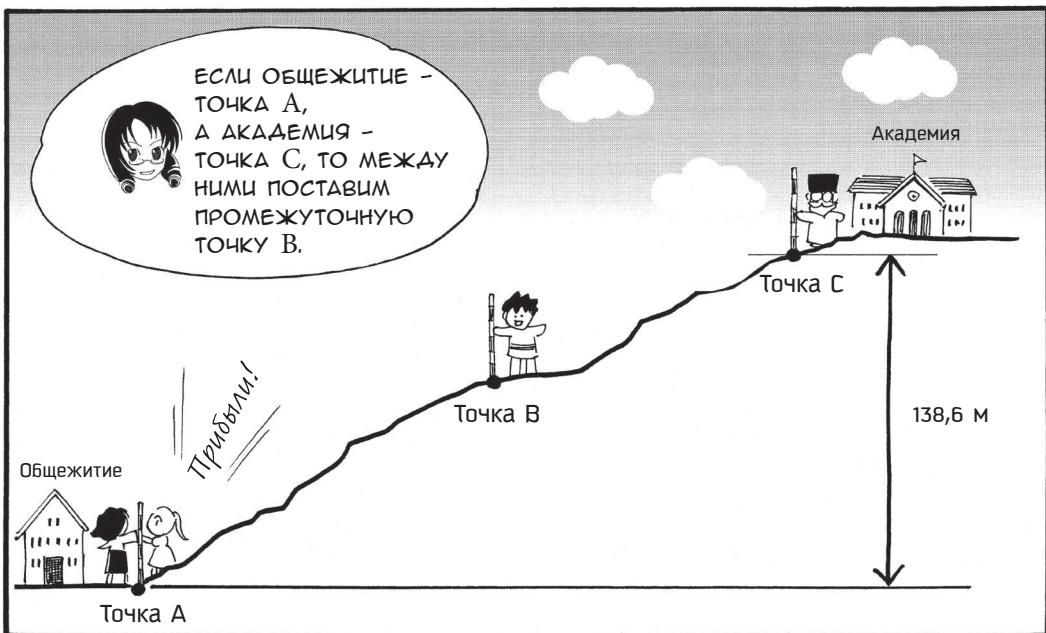
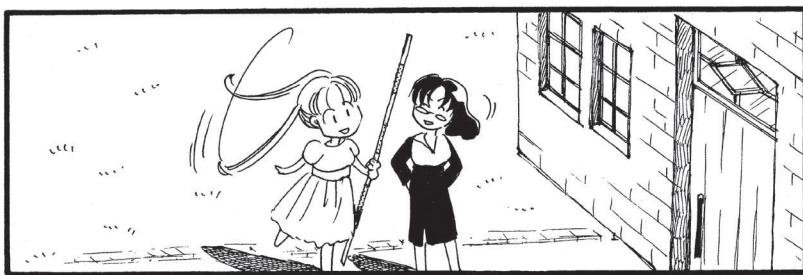


МЕТАЛЛ МОЖЕТ СЖИМАТЬСЯ И РАСШИРЯТЬСЯ ПРИ ИЗМЕНЕНИЯХ ТЕМПЕРАТУРЫ, ОДНАКО КОЛЕБАНИЯ В $\pm 10^{\circ}\text{C}$ ОТНОСИТЕЛЬНО СТАНДАРТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ В 20°C НЕ ОКАЖУТ БОЛЬШОГО ВЛИЯНИЯ НА ИЗМЕРЕНИЯ.

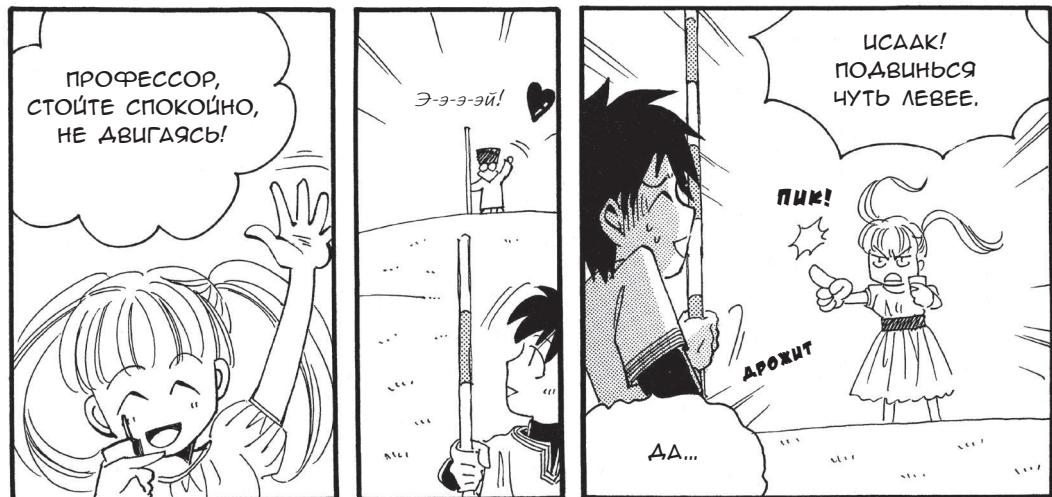
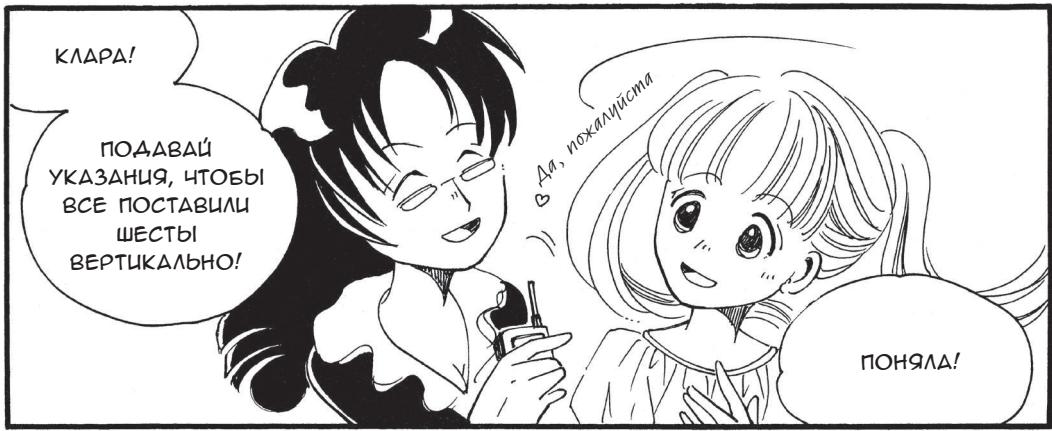


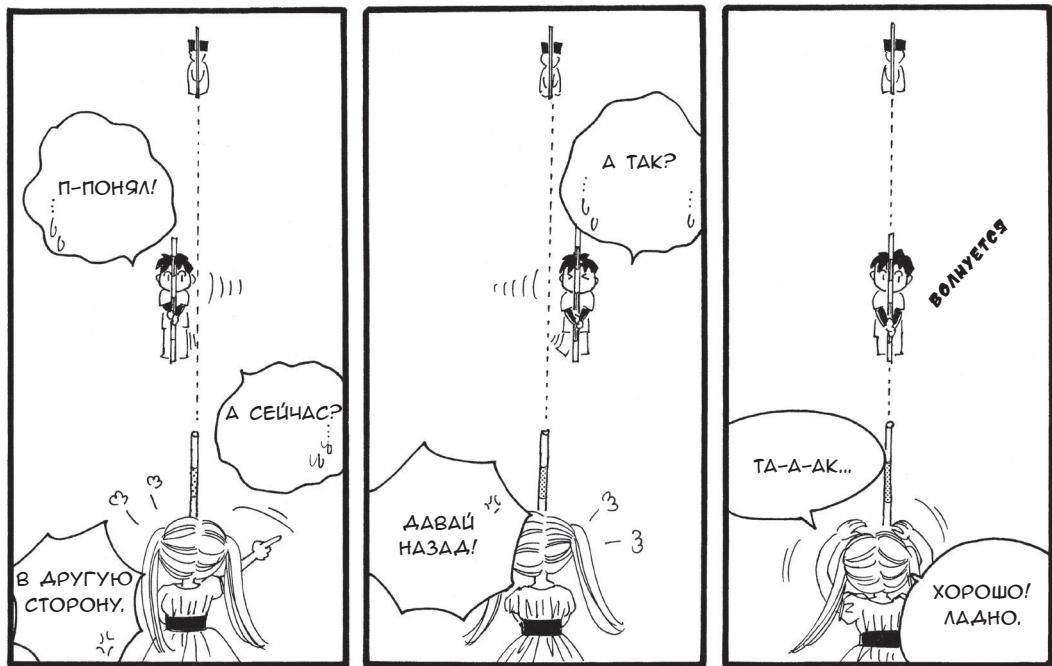
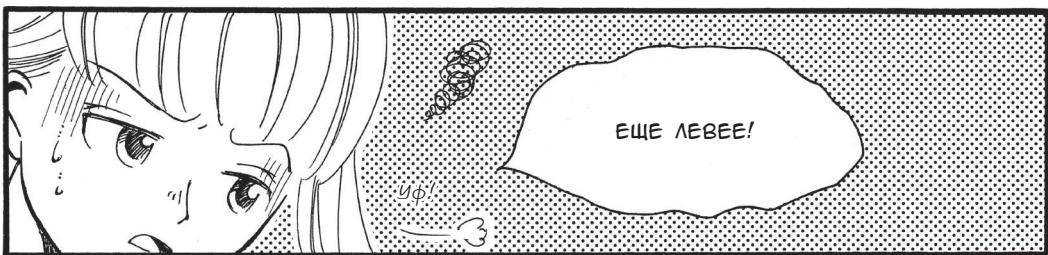






2.2. КАК ИЗМЕРИТЬ РАССТОЯНИЕ НА СКЛОНЕ





2.2. КАК ИЗМЕРИТЬ РАССТОЯНИЕ НА СКЛОНЕ



Расстояние, которое нам надо измерить, примерно равняется 500 метрам. Мы установили промежуточную точку между точками А и В и разделили это расстояние на две части. Длина используемой стальной ленты 50 метров, поэтому разделим сегменты АВ и ВС на небольшие участки длиной менее 50 метров.

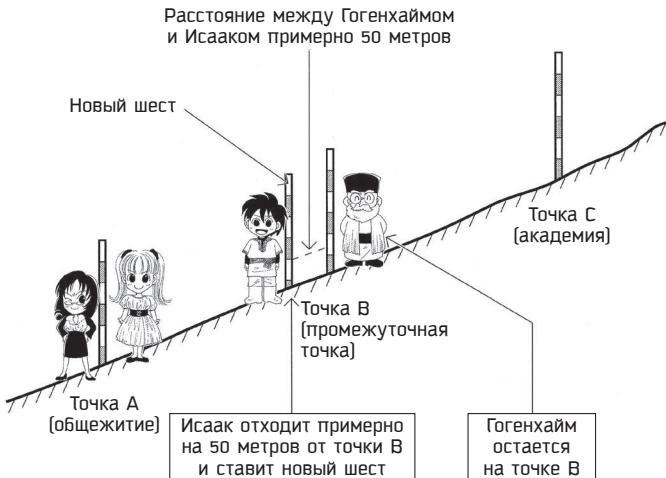


Рис. 2.1. Способ установки промежуточных точек между точками А и В



Исаак, поставь шест, а профессор пусть их несет.



Почему я, легендарный мастер, должен выполнять черную работу? Ольга слишком сурова!



Профессор, я все слышу.



И слух у нее отменный!

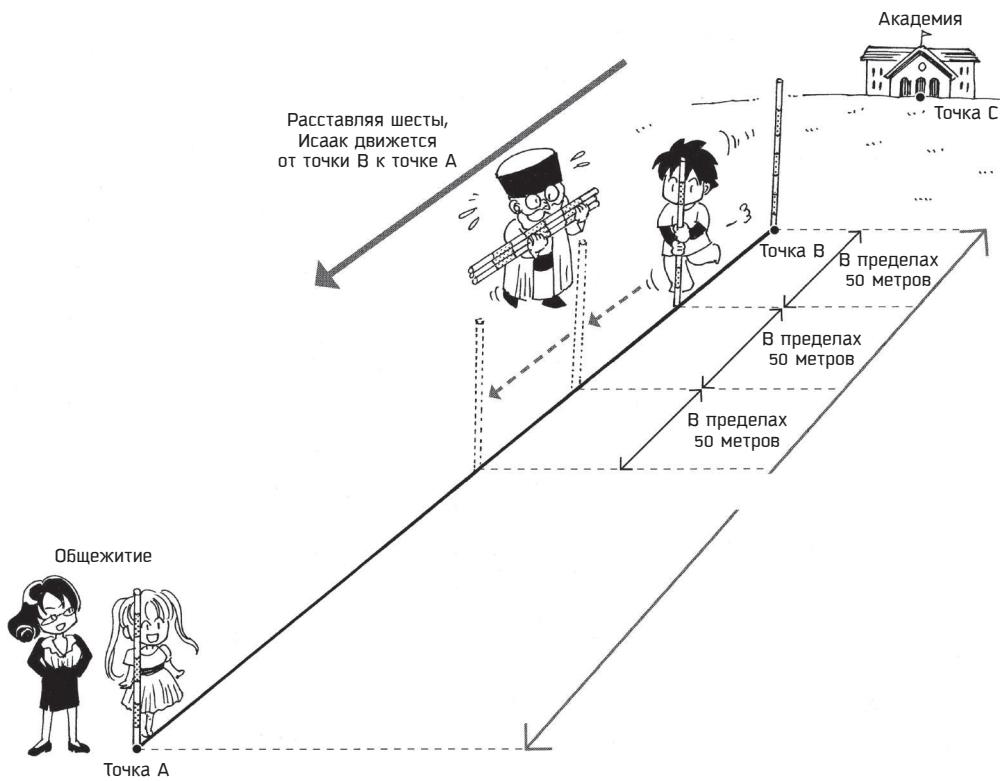


Рис. 2.2. Операция по установке промежуточных точек

2.2. КАК ИЗМЕРИТЬ РАССТОЯНИЕ НА СКЛОНЕ



Ольга, почему мы устанавливаем шесты из промежуточной точки?



Если мы будем ставить шесты по направлению к промежуточной точке, то не сможем видеть исходный шест. Поэтому шесты надо обязательно ставить по направлению из промежуточной точки.



Вот как.

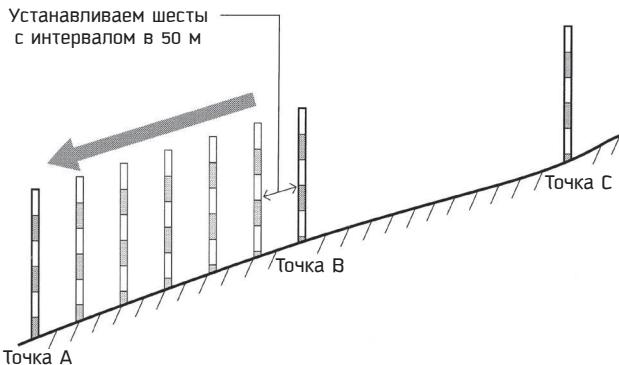


Рис. 2.3. Завершение установки промежуточных точек



Таким образом мы определили промежуточные точки на сегменте между точками А и В. Мы установили 5 промежуточных точек и разделили расстояние в 250 метров на 6 сегментов. Далее подобным образом установим шесты между точками С и В. Профессор, Исаак, прошу.



Снова я... Я, легендарный...



Что вы сказали, профессор?



Все понял.



Ольга, вы очень строги.



Нельзя постоянно баловать мужчин! Время от времени их надо нагружать.



Вот как...



Профессор, шестов, кажется, не хватает. Сходите и принесите-ка еще...



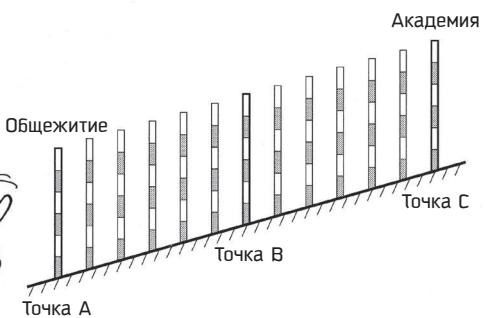
Эх...



Наконец мы установили промежуточные точки между точками С и В.
А теперь начнем измерять расстояние!

ТЕПЕРЬ МЫ ОПРЕДЕЛИЛИ ПОЛОЖЕНИЕ ВСЕХ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ ТОЧЕК. ДАЛЕЕ МЫ ИЗМЕРИМ НАКЛОННОЕ РАССТОЯНИЕ ПРИ ПОМОЩИ СТАЛЬНОЙ ЛЕНТЫ.

РАССТОЯНИЕ БУДЕТ ИЗМЕРЯТЬСЯ ОТ ШЕСТА, КОТОРЫЙ НАХОДИТСЯ ПЕРЕД НАМИ, ДО СЛЕДУЮЩЕГО.



ПЕРВЫМ ДЕЛОМ ИЗМЕРИМ РАССТОЯНИЕ ОТ ШЕСТА А ДО ШЕСТА В.

ПРОФЕССОР, ДЕРЖИТЕ ЛЕНТУ.

ИСААК, ИЗМЕРИШЬ?

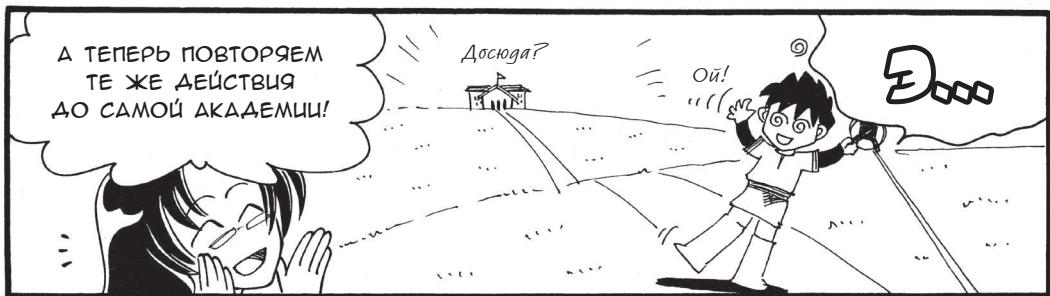
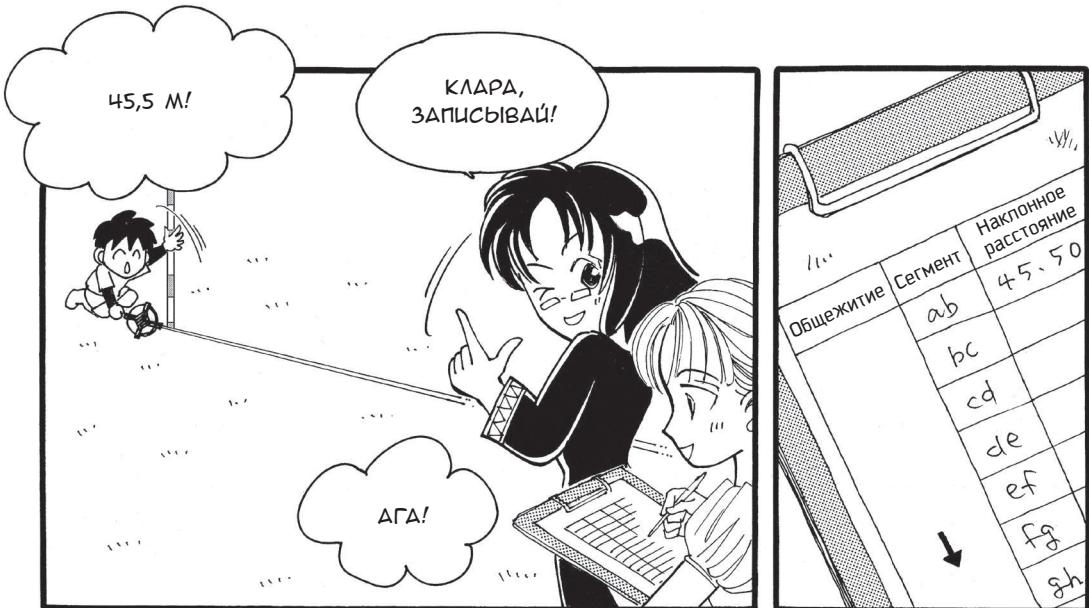
ДА.

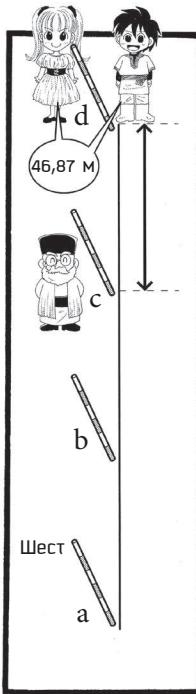
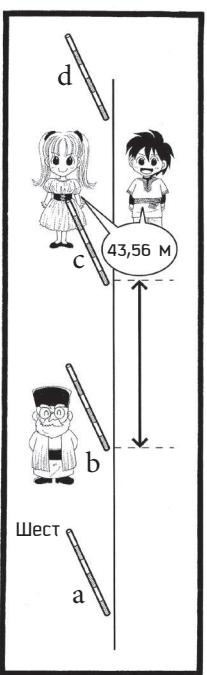
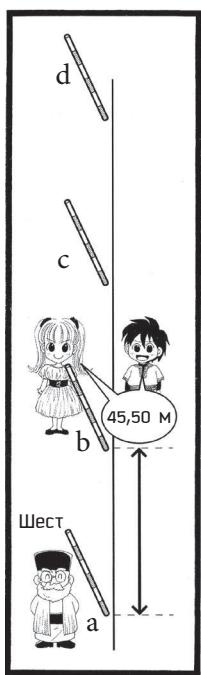
СМОТРИ, ЧТОБЫ ЛЕНТА НЕ ПРОВИСАЛА!

Да!

СКОЛЬКО?









	Сегмент	Длина [м]
Общежитие	ab	45.50
	bc	43.56
	cd	46.87
	de	44.96
	ef	48.20
	fg	42.65
	gh	43.88
	hi	49.00
	ij	42.45
	jk	45.58
	kl	47.35
Академия	lm	35.54
Общее расстояние		535,54



2.3. КАК НАЙТИ ГОРИЗОНТАЛЬНОЕ РАССТОЯНИЕ, ЗНАЯ НАКЛОННОЕ



Зная наклонное расстояние и разницу высот (мы заранее знали, что она равняется 138,6 м), мы можем найти горизонтальное расстояние.



Каким образом?



Взаимоотношение между тремя сторонами прямоугольного треугольника можно выразить формулой $a^2 + b^2 = c^2$. Это **теорема Пифагора**.

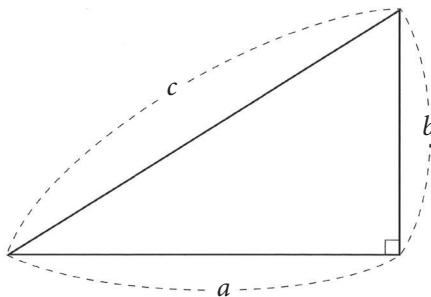


Рис. 2.4. Теорема Пифагора



Поскольку наклонное расстояние у нас 535,54 м, а разница высот – 138,6 м, то подставим их в эту формулу и узнаем горизонтальное расстояние.

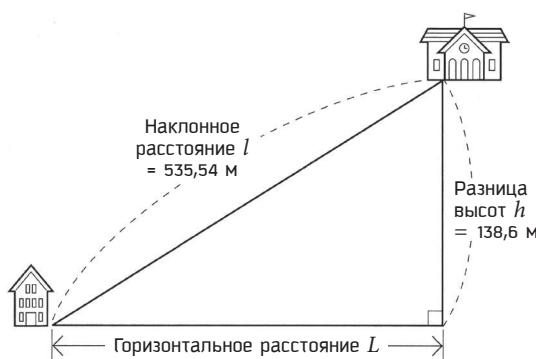


Рис. 2.5. Горизонтальное расстояние от общежития до академии



Теорему Пифагора $a^2 + b^2 = c^2$ можно записать как $L^2 + h^2 = l^2$. Поскольку нам нужно найти значение L , перенесем h^2 в правую часть:

$$L^2 = l^2 - h^2;$$
$$L = \sqrt{l^2 - h^2}.$$

Подставим значения наклонного расстояния 535,54 м и разницы высот 138,6 вместо l и h :

$$L = \sqrt{535,54^2 - 138,6^2} = 517,29 \text{ м.}$$



Таким образом, горизонтальное расстояние равно 517,29 метра.



Я впечатлен тем, что мы смогли вычислить горизонтальное расстояние, не прибегая к рулетке! Однако от наклонного расстояния оно отличается всего-то на 20 метров, а мне кажется, что это много.



Это склон, поэтому само собой, что так кажется. Однако, Исаак, ты же мужчина, тебе нельзя причитать из-за такой мелочи, как склон!



Я еще потренируюсь...



В КАБИНЕТЕ У ОЛЬГИ: ИСПРАВЛЯЕМ ОШИБКИ

Рулетки: ошибки и стандарты измерения

От инструментов, которые мы используем в процессе съемки, мы требуем точного измерения длины, но на практике сами инструменты содержат погрешности. Это относится и к рулетке, которая является стандартным инструментом для измерения расстояния. Перед тем как быть выставленным на продажу, инструмент проходит сертификацию: измерение величины погрешности и подтверждение того, что она находится в установленных пределах. Эти установленные пределы погрешности называются **допустимой погрешностью**, и в зависимости от величины погрешности инструмент относится к первому или второму классу точности. Кроме того, допустимая погрешность зависит от материала, из которого изготовлена рулетка (металл или фиброволокно).

Допустимая погрешность стальных геодезических рулеток регулируется японским промышленным стандартом (JIS), как показано в табл. 2.1. Допустимая погрешность рулеток первого класса точности не очень велика, но их точность выше по сравнению с рулетками второго класса. Более того, как показано в той же таблице, при измерении расстояний свыше 1 м допустимая погрешность увеличивается с каждым метром. В табл. 2.2 приведены допустимые погрешности для определенной длины рулетки. Если длина стальной рулетки составляет 50 метров, то допустимая погрешность равняется $\pm 5,2$ мм. На практике для инструментов (приборов), которые выпускают производители, такая погрешность слишком велика, поэтому точность указывают как допустимую погрешность, разделенную на $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$ и т. п. Разницу между фактическим значением измерения и тем, что указано на рулетке, называют **поправкой на компарирование**.

Таблица 2.1. Допустимые погрешности для рулеток (JIS B7512 : 2005)

Величина обозначения	Допустимая погрешность по японскому промышленному стандарту	
	Первый класс точности	Второй класс точности
В пределах 1 м	$\pm 0,2$ мм	$\pm 0,25$ мм
Свыше 1 м	0,1 мм к значению на каждый 1 м	0,15 мм к значению на каждый 1 м

Таблица 2.2. Допустимая погрешность для рулеток первого класса точности

Длина рулетки, м	Погрешность, мм	Длина рулетки, м	Погрешность, мм
5	$\pm 0,7$	30	$\pm 3,2$
10	$\pm 1,2$	35	$\pm 3,7$
15	$\pm 1,7$	40	$\pm 4,2$
20	$\pm 2,2$	45	$\pm 4,7$
25	$\pm 2,7$	50	$\pm 5,2$

Поправки при измерении рулеткой

При измерении длины рулеткой необходимо учитывать пять поправок: 1) поправка на компарирование; 2) поправка на температуру; 3) поправка на наклон; 4) поправка на натяжение и 5) поправка на провисание. А теперь поговорим о том, как их вычислить.

1. Поправка на компарирование

Рассмотрим поправку на компарирование. На практике те значения, которые показывает рулетка, могут быть чуть выше или ниже реальных – чего нельзя понять, просто посмотрев на стальную ленту. Необходимо сравнить эти значения с эталоном, чтобы узнать поправку на компарирование (значение точности измерения), которая указывается при сертификации.

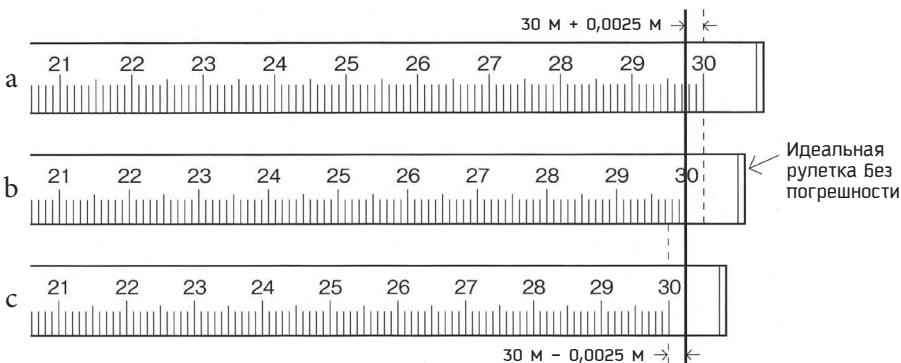


Рис. 2.6. Компарирование рулетки

Например, 30 метров, измеренные рулеткой, будут записываться как $30 \text{ м} + 0,0025 \text{ м}$ (рис. 2.6а).

Это означает, что при измерении 30 метров этой рулеткой настоящее значение будет равняться $30,0025 \text{ м}$ (т. е. она вытянута на $0,0025 \text{ м}$ больше

30 м). На рис. 2.6б показана идеальная рулетка без погрешности. На рис. 2.6с показана погрешность –0,0025 м, поэтому настоящее значение будет короче 30 м на 0,0025 м.

Поправка на компарирование для рулетки вычисляется так:

$$\text{Величина поправки на компарирование } C_l = \frac{\Delta l}{l} L.$$

Здесь C_l – поправка на компарирование (м); Δl – поправка при измерении; L – измеряемое расстояние (м); l – длина рулетки (м).

Пример вычисления. Расстояние между точками А и В составило 28,65 м при измерении стальной лентой длиной в 30 м с погрешностью +0,0025 м. Найдите точную длину L_0 .

$$\begin{aligned}\text{Величина поправки на компарирование } C_l &= \frac{\Delta l}{l} L \\ &= \frac{+0,0025}{30} 28650 = 0,00239 \approx 0,002.\end{aligned}$$

Следовательно, точная длина $L_0 = 28,65 + 0,002 = 28,652$ м.

2. Поправка на температуру

Стальные рулетки изготавливаются таким образом, что измерения будут наиболее точными при температуре в 20 °C (стандартной температуре). Если температура во время измерения выше стандартной, то металл расширяется, а следовательно, расширяется и шкала, и результат измерения окажется меньше действительной длины. И напротив, если температура ниже, то поскольку шкала будет уже, рулетка покажет длину, большую действительной. Поэтому необходимы поправки.

$$\text{Поправка на температуру } C_t = \alpha(t - t_0)L.$$

Здесь C_t – поправка на температуру; α – температурный коэффициент растяжения (1/°C); t – температура во время измерения (°C); t_0 – стандартная температура (°C) (обычно 20 °C); L – измеряемое расстояние (м).

3. Поправка на наклон

В случае если измеряемые сегменты не абсолютно плоские и существует наклон (например, они находятся на склоне), необходимо рассчитать поправку по формуле ниже. Поскольку мы ищем горизонтальное расстояние, зная наклонное, то эта поправка всегда будет отрицательной.

$$\text{Поправка на наклон } C_i = -2L \sin^2 \frac{\theta}{2} = -\frac{h^2}{2L}.$$

Здесь C_i – поправка на наклон (м); L – измеряемое расстояние (м); θ – угол наклона; h – разница высот между сегментами (м).

4. Поправка на натяжение

При сертификации рулеток измерение проводится при определенной температуре под определенным натяжением (стандартные натяжения: 20 Н, 50 Н). Поэтому если измерение расстояния выполняется с натяжением выше, чем то, которое использовалось во время сертификации, рулетка будет чуть длиннее. Величину поправки на натяжение можно получить по следующей формуле:

$$\text{Поправка на натяжение } C_p = (P - P_0)L \frac{1}{AE}.$$

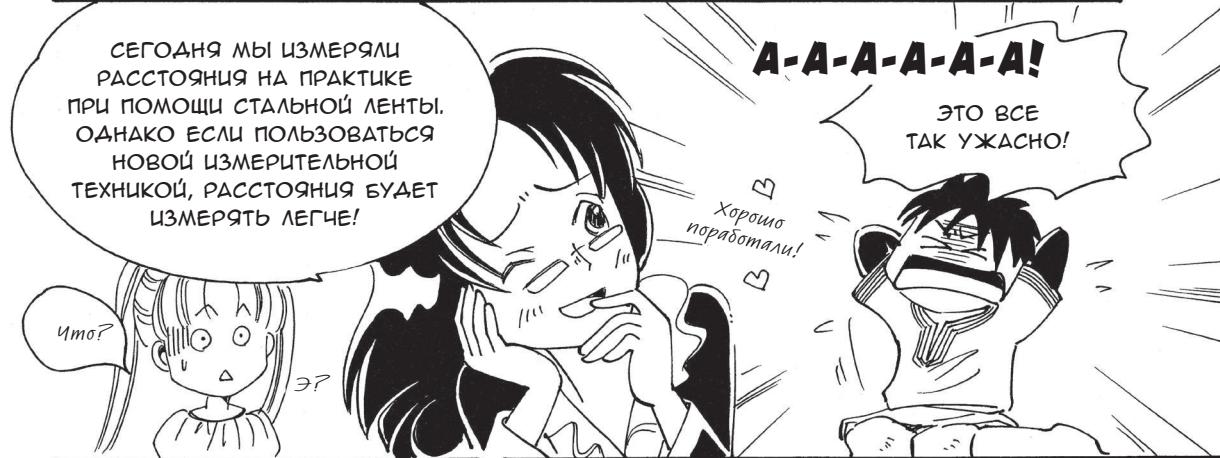
Здесь C_p – величина поправки (м); P_0 – стандартное натяжение (Н); P – натяжение в момент измерения (Н); E – модуль упругости стали ($\text{Н}/\text{м}^2$); A – площадь поперечного сечения (м^2).

5. Поправка на провисание

При выполнении измерения расстояния с недостаточным натяжением рулетка может провисать в зависимости от веса рулетки. Поскольку расстояние, измеренное при провисании рулетки, больше, чем измеряемое значение, величина поправки всегда отрицательна. Величина поправки C_s для провисания может быть получена по следующей формуле:

$$\text{Поправка на провисание } C_s = -\frac{(Wg)^2 L}{24P^2}.$$

Здесь C_s – величина поправки (м); W – общий вес ленты между точками опоры (кг); L – расстояние между точками опоры (м); P – натяжение в килограммах (Н); g – ускорение гравитации ($9,8 \text{ м}/\text{с}^2$).



ПОДВЕДЕМ ИТОГИ

Измерение расстояния при помощи света

Принцип измерения расстояния с использованием световых волн

Кроме непосредственного измерения расстояния при помощи стальной ленты, его можно также измерять при помощи света. **Светодальномер** – это устройство, которое вычисляет расстояние по разнице фаз световой волны при ее возвратно-поступательном движении. Преимущество световой волны в том, что расстояние между двумя точками может быть измерено с очень высокой точностью. А теперь рассмотрим основной принцип измерения горизонтального расстояния с помощью световых волн.

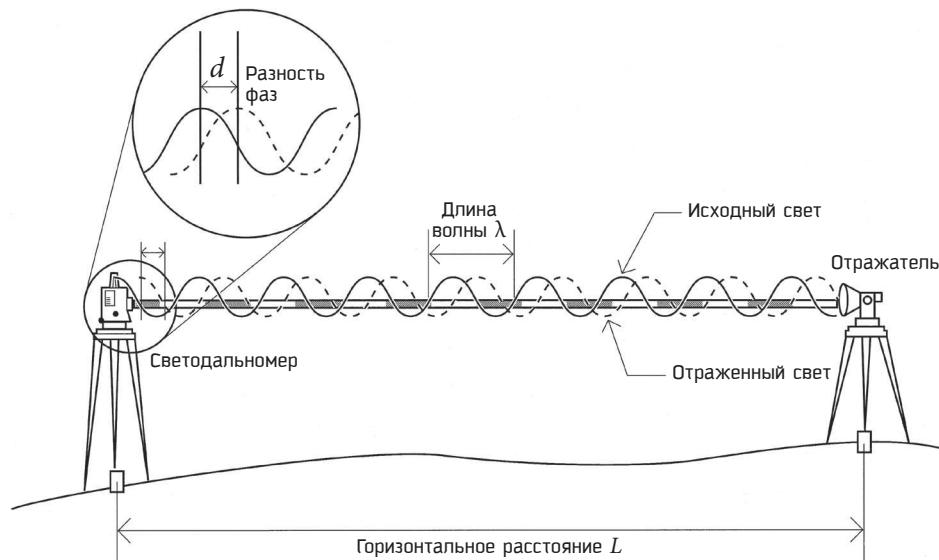


Рис. 2.7. Светодальномер

На рис. 2.7 показано, что в двух точках, расстояние между которыми надо измерить, устанавливаются светодальномер и отражатель. Световая волна, которая излучается светодальномером, достигает отражателя, и отраженный свет возвращается. За время движения волны до отражателя и обратно происходит сдвиг волны, зависящий от расстояния. Этот сдвиг называется **разностью фаз**,

и, используя его, можно рассчитать горизонтальное расстояние по следующей формуле:

$$L = \frac{1}{2}(\lambda n + d).$$

Здесь L – горизонтальное расстояние (м); λ – длина волны; n – количество волн; d – разность фаз.

Поправка и проверка светодальномера

Перед использованием светодальномера следует проверить константу прибора. **Константа прибора** – это погрешность светодальномера, отклонение между центром прибора и точкой отсчета измерения (точка О). Это аналог поправки на компарирование для рулетки. Порядок вычисления константы прибора следующий.

1. Установите прибор в точках А и В, расположенных на расстоянии более 500 метров друг от друга.
2. Установите точку С в центре между точками А и В.
3. Измерьте расстояние L_1 между точкой А и точкой В, расстояние L_2 между точкой А и точкой С и расстояние L_3 между точкой В и точкой С.
4. Найдите константу прибора С по следующей формуле:

$$C = L_1 - (L_2 + L_3).$$

Эта константа прибора учитывается при подсчете расстояния.

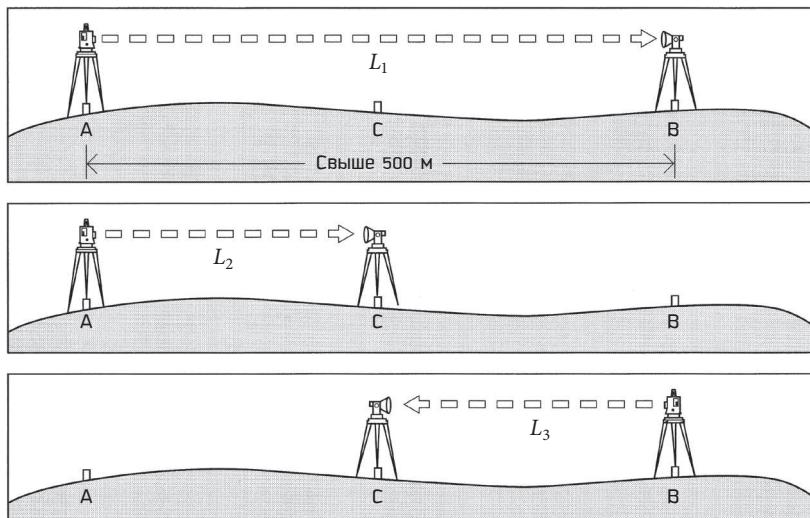


Рис. 2.8. Способ нахождения константы прибора у светодальномера

Другие поправки светодальномера

Также существуют **поправки отражателя** и **поправка на метеорологические условия**, которые следует учитывать в процессе измерения светодальномером и которые вносятся автоматически.

1. Поправка отражателя

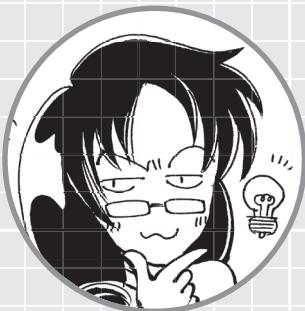
Константа поправки определяется используемым отражателем (призмой), и она вводится при внесении поправок.

2. Поправка на метеорологические условия

Скорость световых волн изменяется в зависимости от температуры, влажности и давления воздуха в атмосфере. Поэтому во время измерения необходимо принимать во внимание погодные условия и вносить поправки и их учетом. В частности, погодные условия, которые следует учитывать, – это температура, влажность и давление воздуха.

ГЛАВА 3

ТЕОДОЛИТНАЯ СЪЕМКА

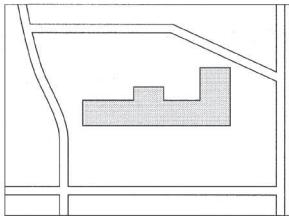


3.1. ЧТО ТАКОЕ ТЕОДОЛИТНАЯ СЪЕМКА?



ТЕОДОЛИТНАЯ СЪЕМКА –
ЭТО СОЗДАНИЕ КОНТУРА
ИЗМЕРЯЕМОГО УЧАСТКА.

МЫ ИЗМЕРЯЕМ УГЛЫ
В ТОЧКАХ СЪЕМКИ
И РАССТОЯНИЕ МЕЖДУ
ДВУМЯ ТОЧКАМИ.



Измеряемый участок



Измеряемый участок,
накрытый рамкой

ТОЧКИ СЪЕМОК ОЧЕНЬ
ВАЖНЫ, ПОТОМУ ЧТО ОНИ
ПОЗЖЕ БУДУТ ИСПОЛЬ-
ЗОВАТЬСЯ В КАЧЕСТВЕ
ОСНОВНЫХ ТОЧЕК
ДЛЯ БОЛЕЕ ПОДРОБНОЙ
СЪЕМКИ.



ПРИ ВЫБОРЕ ТОЧЕК
СЪЕМКИ НУЖНО ДУМАТЬ
НЕ ТОЛЬКО О БУДУЩЕМ
ПЛАНЕ, НО И О САМОМ
ПРОЦЕССЕ СЪЕМКИ.

Эге-гей! ♫

А ЗАЧЕМ ВООБЩЕ
НУЖЕН ЭТЫЙ КОНТУР?



ЭТО КАК В РИСОВАНИИ –
СНАЧАЛА ДЕЛАЕТСЯ ЭСКИЗ,
А ПОТОМ ПРОРИСОВЫВАЮТСЯ
БОЛЕЕ ТОЧНЫЕ ДЕТАЛИ.

ТАК И В ГЕОДЕЗИИ, ПРЕЖДЕ
ЧЕМ ПРИСТУПАТЬ К ДЕТАЛЬНЫМ
ИЗМЕРЕНИЯМ, НУЖНО СНАЧАЛА
ОПРЕДЕЛИТЬ ТОЧКИ, КОТОРЫЕ
СТАНУТ ОСНОВОЙ ДЛЯ КОНТУРА,
А ЗАТЕМ УЖЕ ПРОВОДИТЬ
ПОДРОБНУЮ СЪЕМКУ.

Нарисуйте-ка!





Порядок теодолитной съемки

Шаг 1. Планирование

Прежде чем устанавливать точки съемки, необходимо распланировать, где на измеряемом участке эти точки (точки хода) будут располагаться, а также вид хода (контур), который мы будем делать.



ТЕОДОЛИТНАЯ СЪЕМКА
ТРЕБУЕТ ВРЕМЕНИ
И УСИЛИЙ.

ПРЕЖДЕ ВСЕГО
О ПОРЯДКЕ ПРОВЕДЕНИЯ
ТЕОДОЛИТНОЙ СЪЕМКИ.

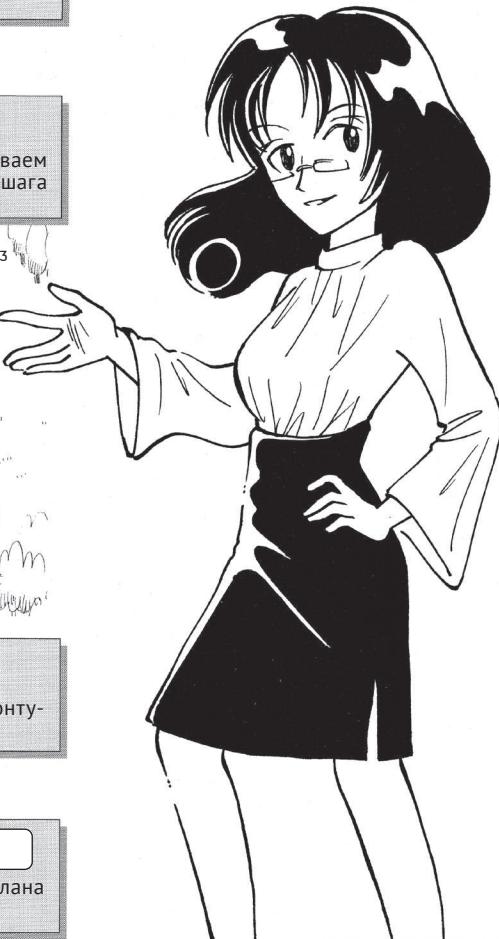
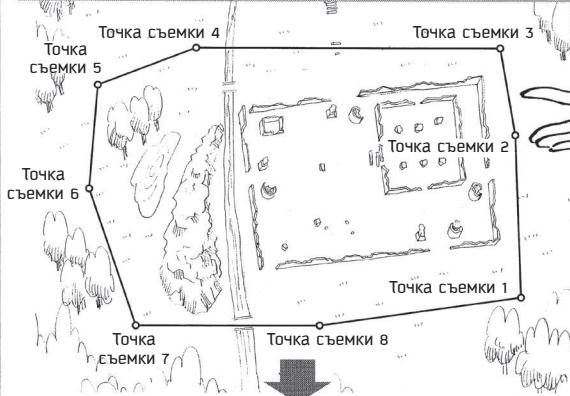
Шаг 2. Исследования в поле и выбор точек

Проверяем на местности, хорош ли обзор с запланированных съемочных точек. При необходимости проводим ревизию точек съемки и переопределяем их местоположение.



Шаг 3. Обозначение точек на местности

Определив местоположение точек, устанавливаем колья, которые послужат метками. После третьего шага карта местности будет выглядеть так:



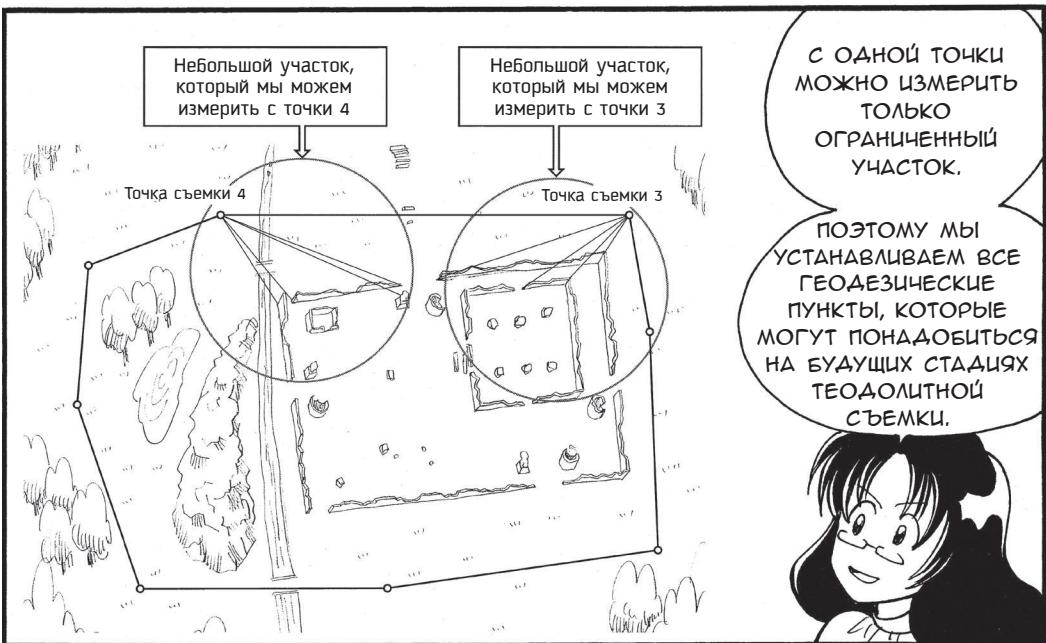
Шаг 4. Проведение съемки

На этом этапе проводим съемку. Измеряем углы контура и длины сторон.



Шаг 5. Вычисления и составление плана

Наконец, проводим вычисления для создания плана и рисуем план.





Виды теодолитных ходов



Ход, который возвращается из начальной точки съемки в нее же и представляет собой замкнутый многоугольник, называется **замкнутым ходом**. Для многоугольника можно вычислить количество точек съемки и общую сумму углов ($^{\circ}$). Если сравнить вычисленную при съемке величину угла с расчетами, то можно найти ошибку.



Но если мы ошибемся, то тогда не вернемся в исходную точку?



Величина ошибки равно распределена между всеми пунктами хода, и для замыкания хода делается поправка. Замкнутый ход часто используется при съемке на небольших участках земли.

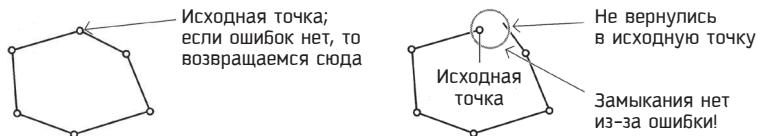


Рис. 3.1. Замкнутый ход



Пункты, координаты и расположение которых уже известны, называются опорными пунктами (например, пункты триангуляции). Опорные пункты обозначаются знаком \triangle . **Разомкнутый ход** начинается от опорного пункта, проходит через несколько точек хода (точек съемки), пока не достигает другого опорного пункта.

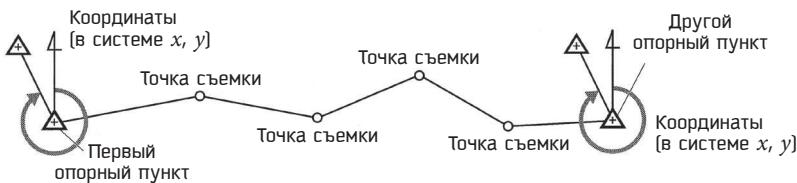


Рис. 3.2. Разомкнутый ход



Разомкнутые ходы часто используются при съемке больших участков. Когда измеряемый участок большой, то накопления ошибок не избежать, поэтому для достижения конечного опорного пункта значения ошибок распределяются равномерно по опорным пунктам и делается увязка.



Разомкнутый ход, который опирается на два опорных пункта, является самым надежным методом съемки.

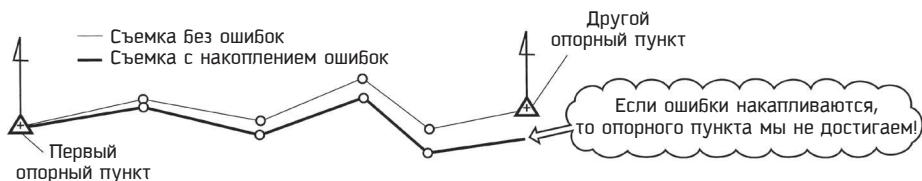


Рис. 3.3. Ошибки при разомкнутом ходе



Висячий ход – это ход, который не соединяет опорные пункты; его начало привязано к опорному пункту, а конец находится в любой новой точке хода. Поскольку его конец не привязан к опорному пункту, то нет способа внести поправки.



Это не очень хорошо. Не хочется пользоваться методом, при котором нельзя скорректировать ошибки.



Но точности от него и нельзя ожидать. Поэтому есть хитрость: уменьшая количество точек, можно уменьшить ошибку.



При составлении плана бывает, что для подробной съемки (мензульной съемки) необходимы основные точки, которые лежат в стороне от измеряемой области, покрываемой замкнутыми и разомкнутыми ходами. Тогда и используются висячие ходы.

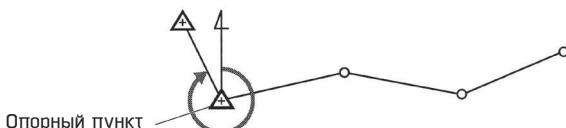


Рис. 3.4. Висячий ход

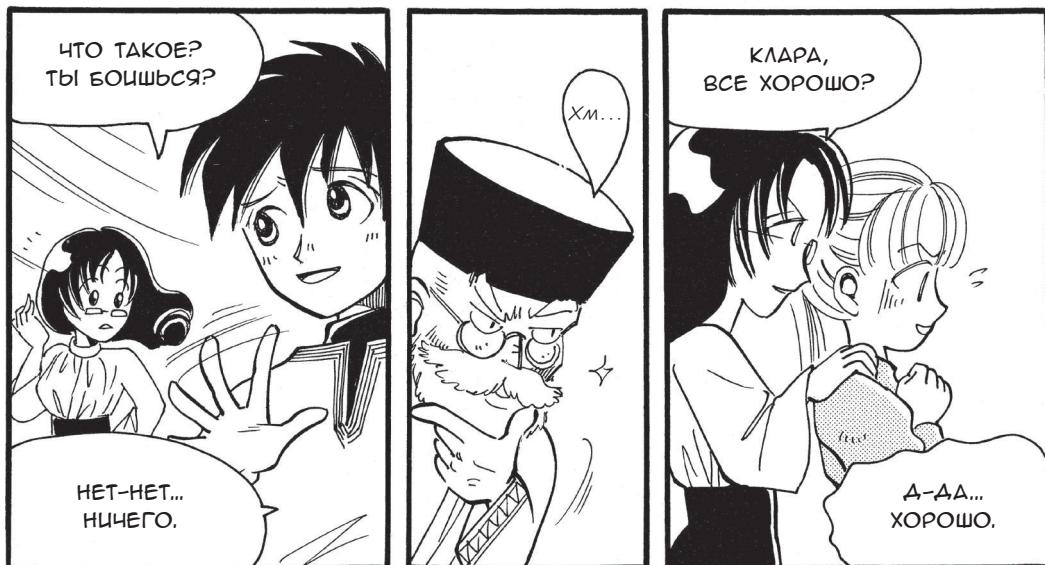
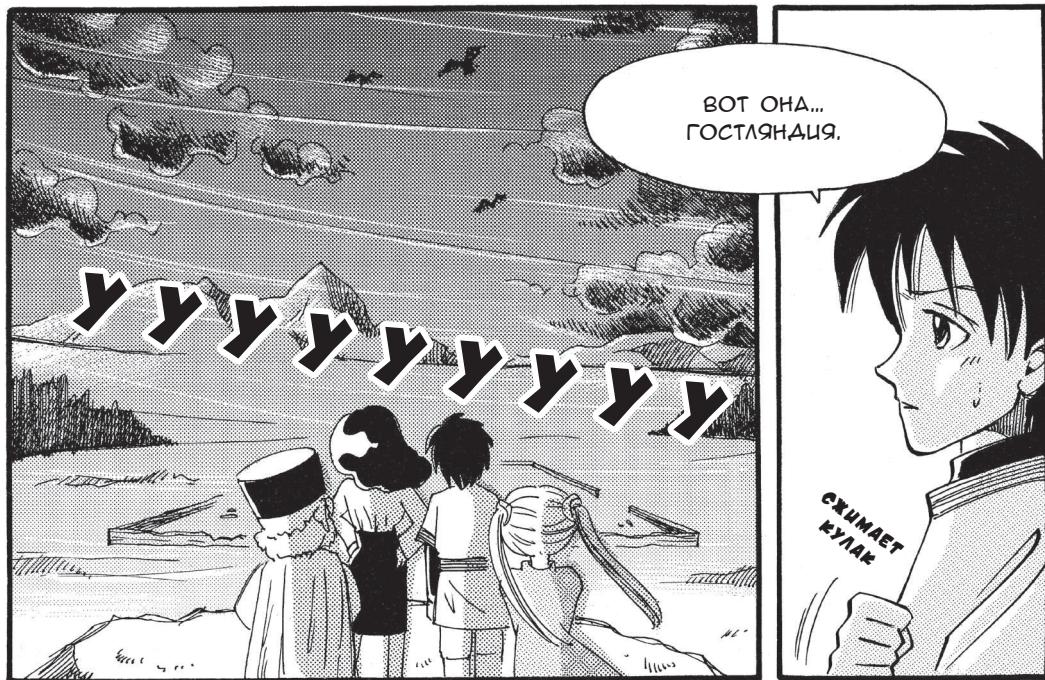


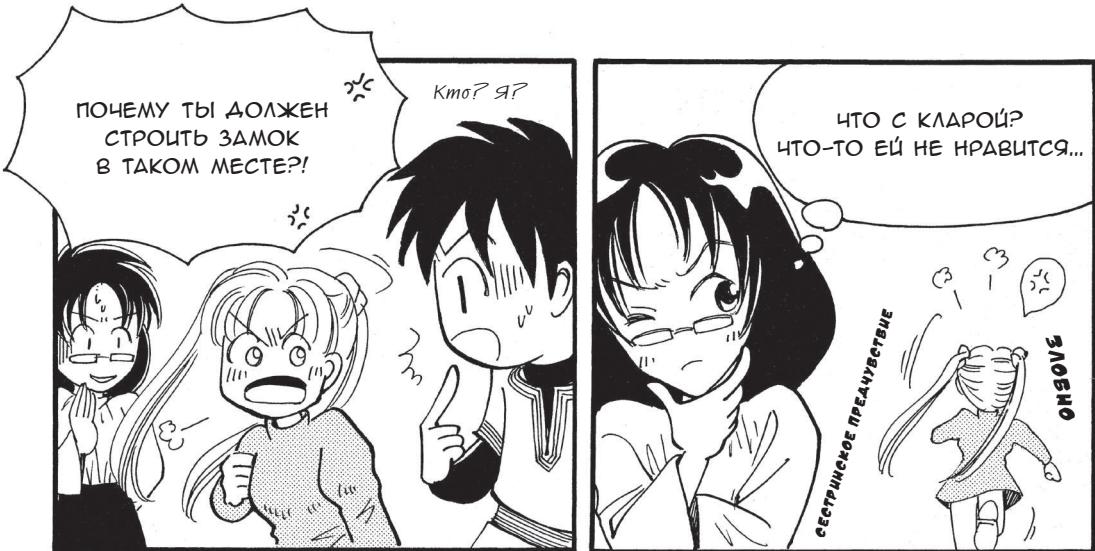
Кстати, какой ход мы будем прокладывать?



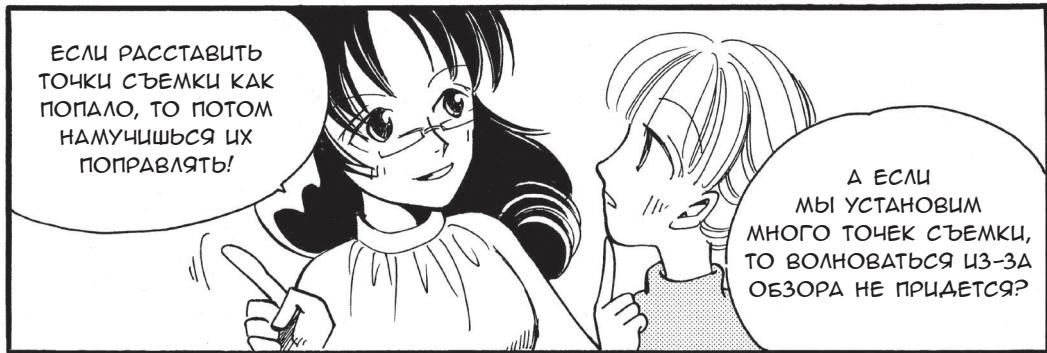
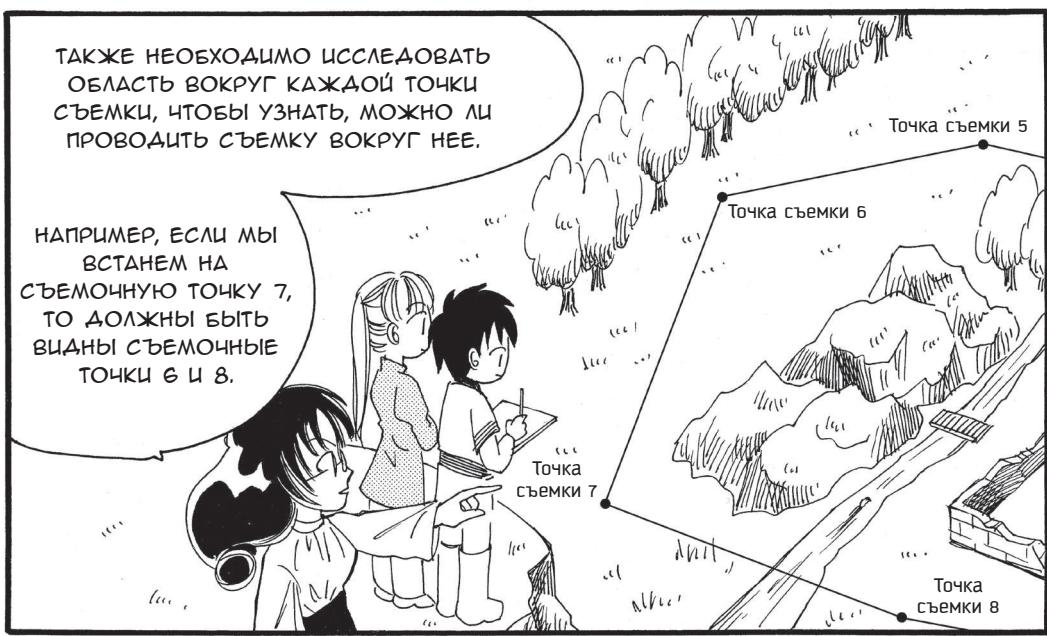
Замкнутый. Он в целом широко используется, потому что можно построить многоугольник, рассчитать сумму его углов и внести поправку на ошибки.

3.2. НАЧИНАЕМ ТЕОДОЛИТНУЮ СЪЕМКУ!









НАИВНО ТАК ДУМАТЬ.
ЕСЛИ МЫ УСТАНОВИМ
МНОГО ТОЧЕК СЪЕМКИ,
ТО НАМ ПРИДЕТСЯ ИЗМЕРЯТЬ
БОЛЬШЕ УГЛОВ, А ЗНАЧИТ,
ВЕРОЯТНОСТЬ ОШИБКИ
ТОЛЬКО ВЫРАСТЕТ!

ЧТОБЫ НЕ УВЕЛИЧИВАТЬ
КОЛИЧЕСТВО ОШИБОК, НУЖНО
ОГРАНИЧИВАТЬСЯ НЕОБХОДИМЫМ
МИНИМУМОМ ТОЧЕК!



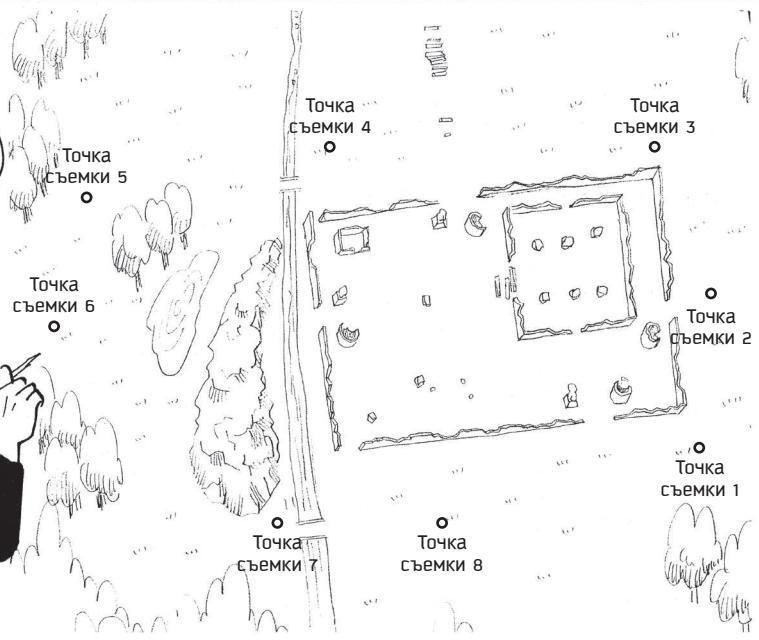
ТАК!
А ТЕПЕРЬ НАРИСУЕМ
НА НАБРОСКЕ ИСААКА
СЪЕМОЧНЫЕ ТОЧКИ ТАК,
ЧТОБЫ БЫЛ ХОРОШИЙ
ОБЗОР.

ДА!



ЗДЕСЬ
И ЗДЕСЬ...

КАК-ТО ТАК?



Шаг 2. Исследования в поле и выбор точек



НАДО ПРОВЕРИТЬ, ВИДНЫ
ЛИ ИЗ ЗАПЛАНИРОВАННЫХ
ТОЧЕК ХОДА ДРУГИЕ
ТОЧКИ.

ПРОФЕССОР!
Я ВАС ВИЖУ!

И Я ВАС!

ЭЙ!

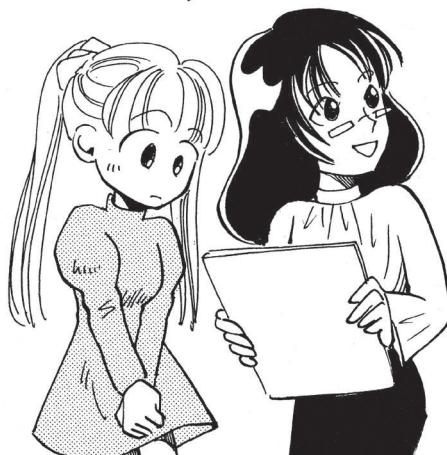
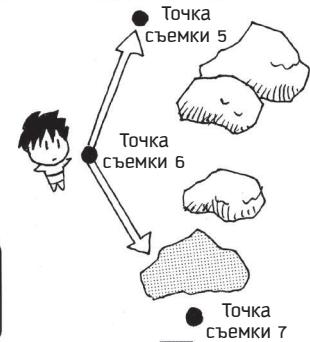


ЕСЛИ ВСЕ ВИДНО,
ТО ПОСТАВИМ ЗНАК
СПЕЦИАЛЬНЫМ МАРКЕРОМ.

ТАК, ТОЧКА СЪЕМКИ 7 НЕ ВИДНА
С ТОЧКИ 6 - МЕШАЕТ КАМЕНЬ.

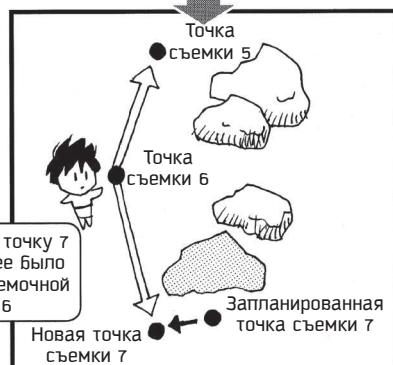
ПОЭТОМУ МЫ ПЕРЕНЕСЕМ ТОЧКУ 7
ТУДА, ГДЕ ЕЕ БУДЕТ ВИДНО
СО СЪЕМОЧНОЙ ТОЧКИ 6.

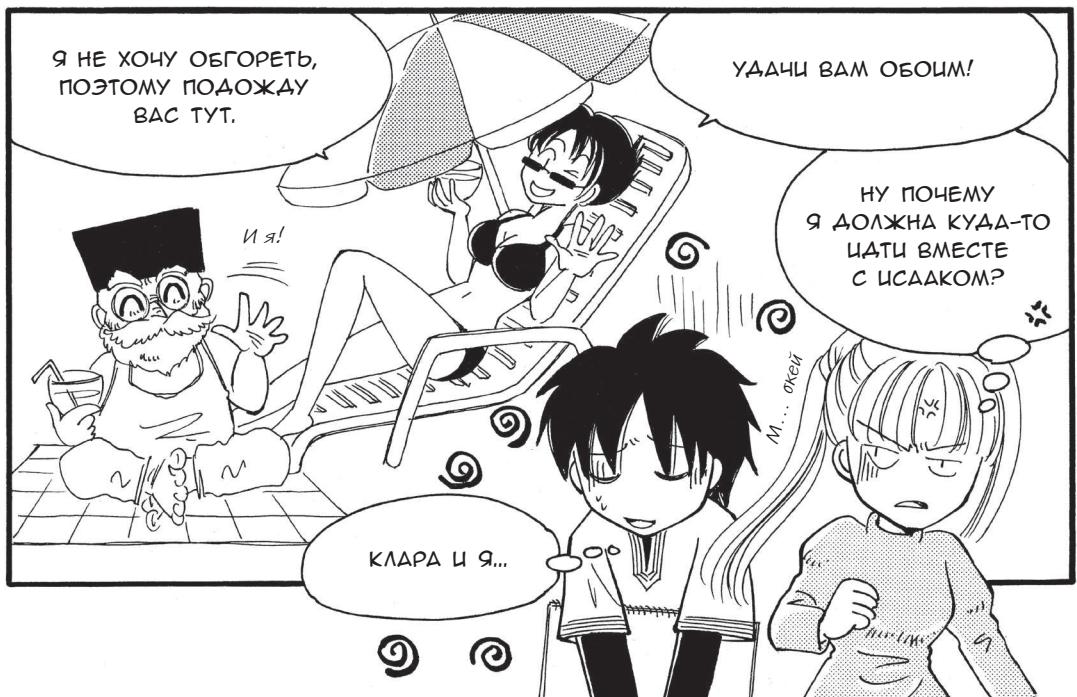
Точку 7
не видно
из точки 6!

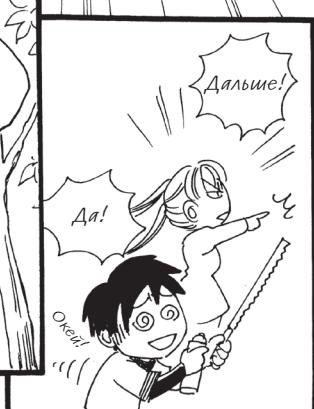
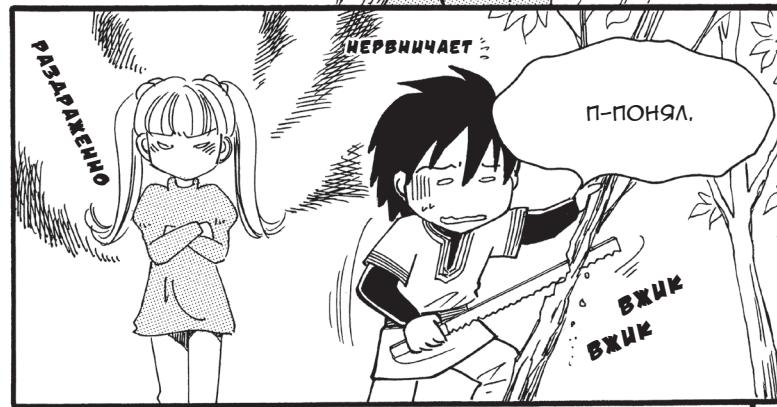
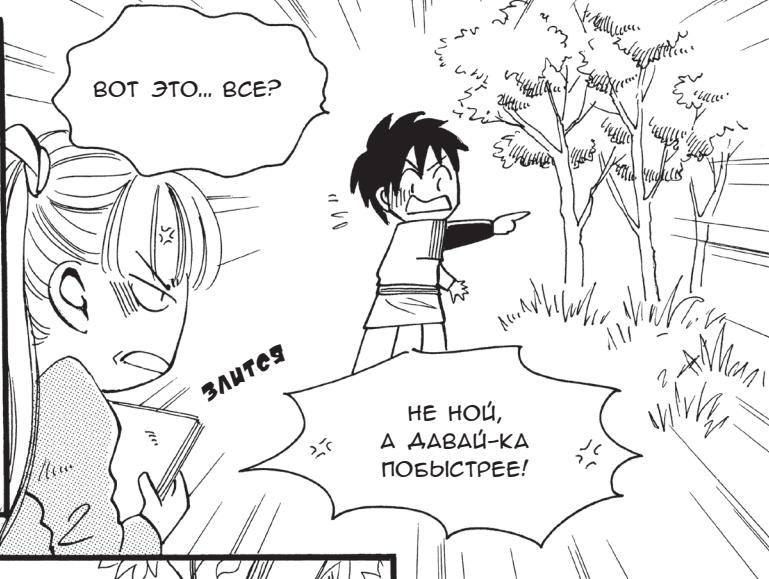


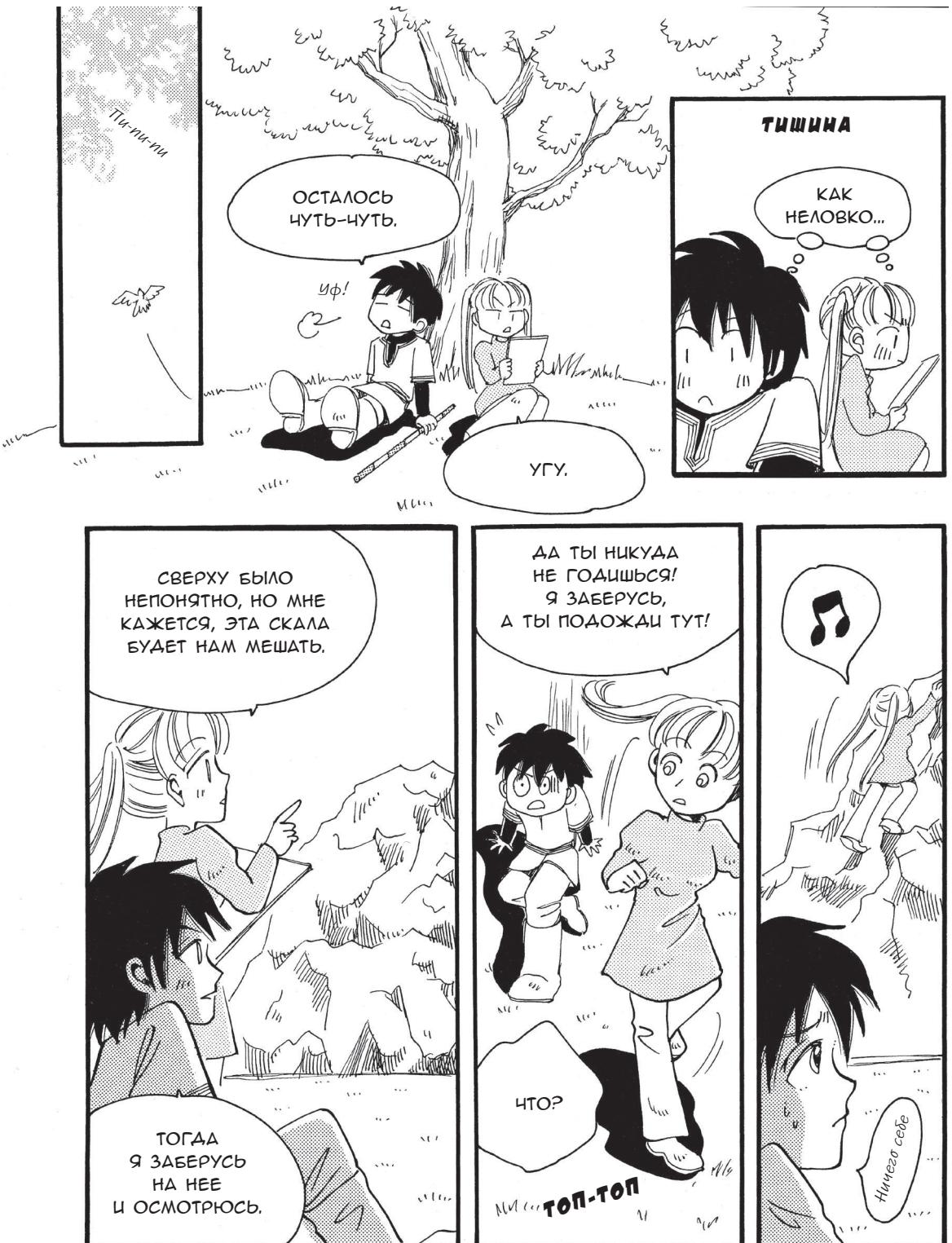
Переместим точку 7
так, чтобы ее было
видно со съемочной
точкой 6

Новая точка съемки 7
Запланированная
точка съемки 7



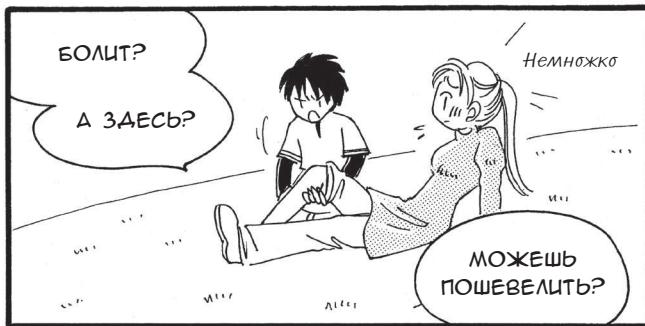






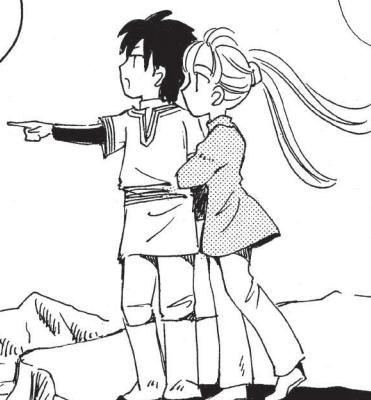
3.2. НАЧИНАЕМ ТЕОДОЛИТНУЮ СЪЕМКУ!



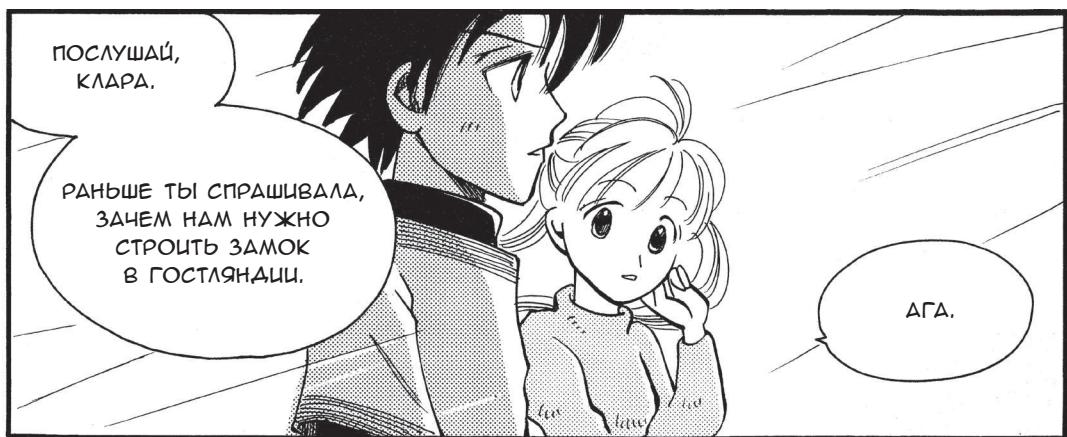




ОТСЮДА ВИДНО,
ДАВАЙ ПЕРЕНЕСЕМ
ТОЧКУ СЮДА.

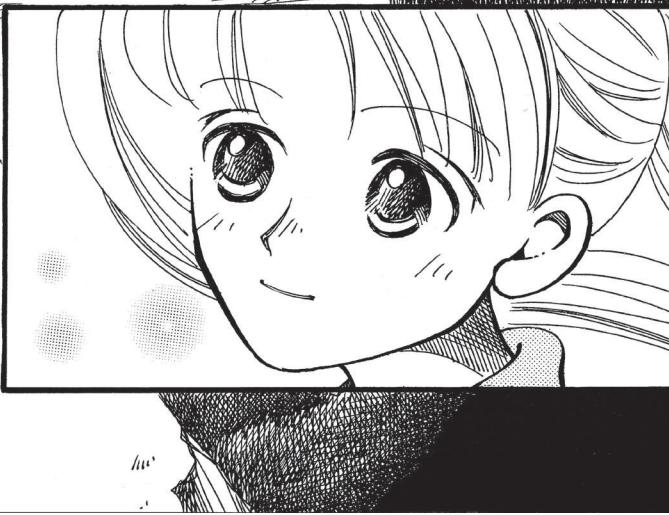


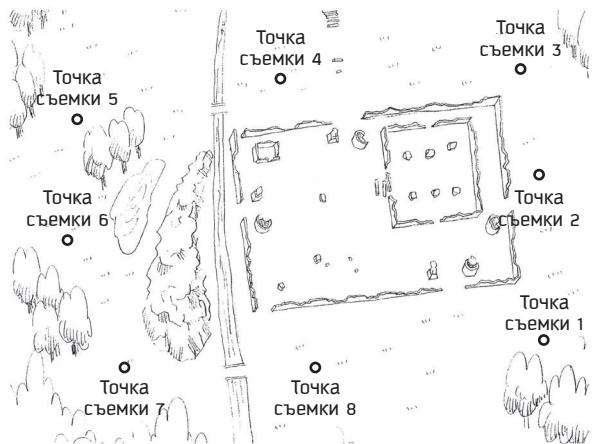
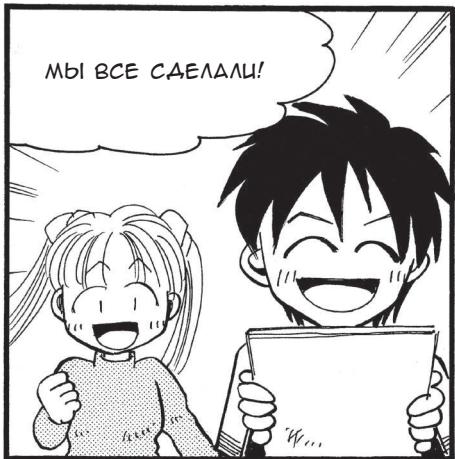
ХОРОШО,
ДАВАЙ!





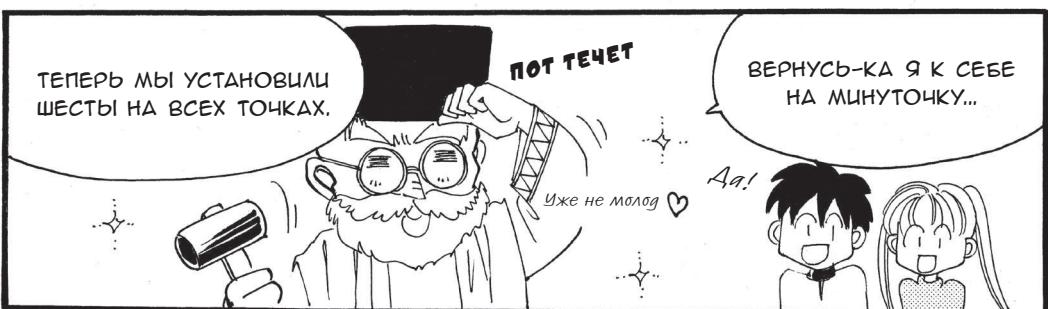
Почему-то?





Шаг 3. Обозначение точек на местности







Виды углов и единицы измерения



Перед тем как приступить к съемке углов, давайте поговорим о них подробнее. Что такое **горизонтальный угол**?



Горизонтальный угол – это угол, который измеряется в горизонтальной плоскости.



Как показано на рис. 3.5, это угол между двумя лучами с вершиной в точке O, который лежит в горизонтальной плоскости. Когда мы режем круглый торт на 4 равные части, то каждая часть этого торта имеет угол 90° . При теодолитной съемке мы измеряем в основном как раз горизонтальные углы.



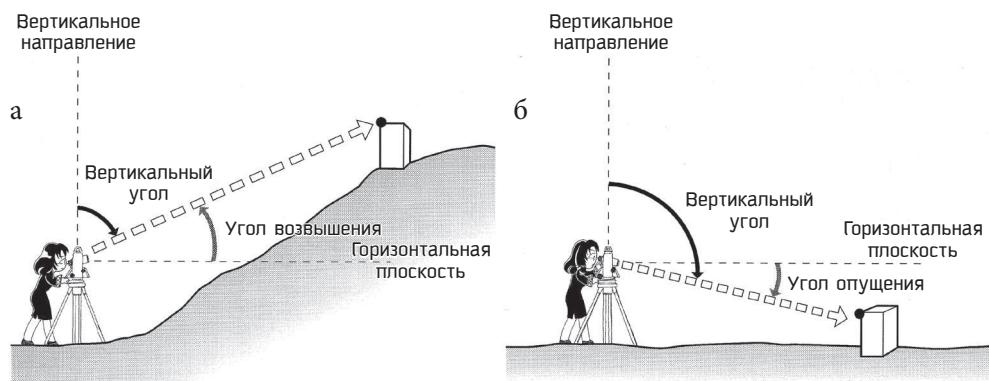
Рис. 3.5. Горизонтальный угол



Вертикальный угол – это угол, заключенный между зенитным направлением отвесной линии, проходящей через точку стояния О, и линией визирования.

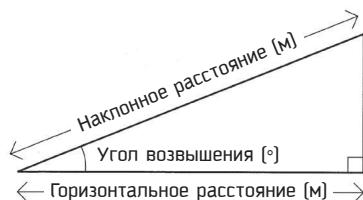


Для начала измерим вертикальный угол. Если вертикальный угол меньше 90° , то угол, который его дополняет до горизонтальной линии, называется **углом возвышения** (рис. 3.6а). Если же вертикальный угол больше 90° , то угол, на который он превышает 90° , называется **углом опущения** (рис. 3.6б).



*Рис. 3.6. Вертикальный угол:
а – угол возвышения; б – угол опущения*

Если вы знаете наклонное расстояние и угол возвышения, то можно легко найти горизонтальное расстояние.



*Рис. 3.7. Отношение между горизонтальным
и наклонным расстояниями*



Теперь о единицах измерения углов. Как они называются?



Конечно **градусы** ($^{\circ}$)!



В геодезии используются не только градусы ($^{\circ}$). Есть еще **минуты** ('') и **секунды** (''').



Минуты? Секунды?



Градусы выражаются в градусной системе, и 1 градус – это $1/90$ величины прямого угла. Одна минута – $1/60$ градуса, одна секунда – $1/60$ минуты.

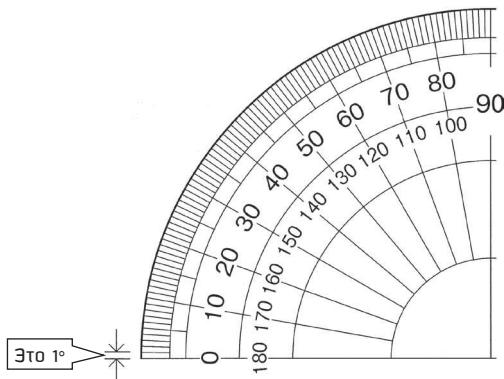


Рис. 3.8. Величина 1°



Ой! Как мелко!



Это вопрос требуемой точности. Однако в геодезии небольшие ошибки по мере накопления становятся больше, поэтому мы измеряем минуты и секунды¹.

¹ 1 секунда равна примерно 31 метру погрешности в расстоянии, если измерять на экваторе.



Устанавливаем теодолит

НА СЛЕДУЮЩЕМ ЭТАПЕ МЫ ПРОВОДИМ СЪЕМКУ.

ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЙ НАМ ПОНАДОБИТСЯ ШТАТИВ, ТЕОДОЛИТ, ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ВЕХИ, СТАЛЬНАЯ ЛЕНТА И ЖУРНАЛ ИЗМЕРЕНИЙ.

ЧТОКАК, НАЧНЕМ С ИЗМЕРЕНИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ УГЛОВ. ПРИБОР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ УГЛОВ НАЗЫВАЕТСЯ ТЕОДОЛИТОМ.

Ooo!

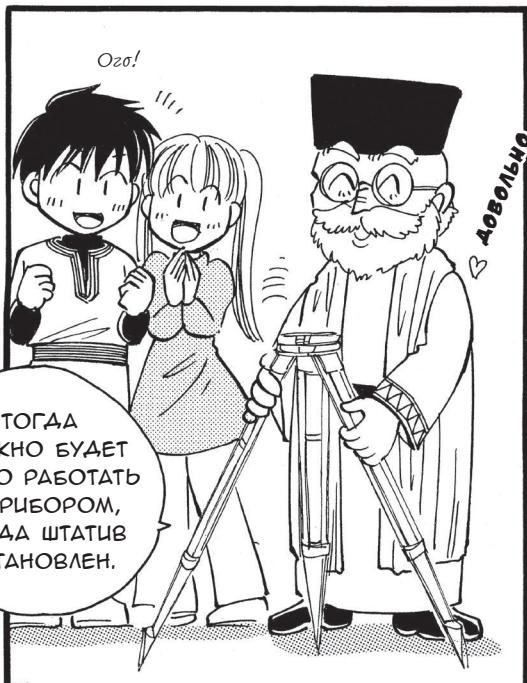
ТЕОДОЛИТ –
ЭТО УСТРОЙСТВО
ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ
ВЕРТИКАЛЬНЫХ И
ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ
УГЛОВ.

Шаг 1. Регулирование высоты

ПРЕЖДЕ ВСЕГО
ОТРЕГУЛИРУЕМ ВЫСОТУ.

ЕСЛИ ТЕОДОЛИТ
УСТАНОВЛЕН СЛИШКОМ
ВЫСОКО ИЛИ НИЗКО,
ТО СЪЕМКУ ПРОВОДИТЬ
ТРУДНО.

НЕОБХОДИМО
ОТРЕГУЛИРОВАТЬ ШТАТИВ
НА НУЖНУЮ ВЫСОТУ, ЧТОБЫ
БЫЛО ЛЕГКО ПРОВОДИТЬ
РАБОТЫ.

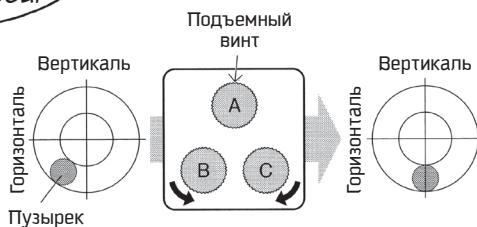


ВИДИШЬ ЭТУ ВОЗДУШНЫЙ ПУЗЫРЕК, КОТОРЫЙ ПЛАВАЕТ В ЖИДКОСТИ?

НАДО ОТРЕГУЛИРОВАТЬ ЕГО ПРИ ПОМОЩИ ПОДЪЕМНЫХ ВИНТОВ ТАК, ЧТОБЫ ОН НАХОДИЛСЯ РОВНО ПО ЦЕНТРУ КРУГА.

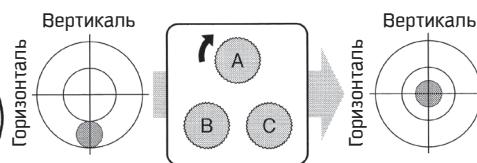
ЭТО ПОДЪЕМНЫЙ ВИНТ?

ПОДЪЕМНЫХ ВИНТОВ ТРИ – А, В И С. СНАЧАЛА ПОДКРУТИ ВИНТЫ В И С., ЧТОБЫ ПУЗЫРЕК ОКАЗАЛСЯ НА ВЕРТИКАЛЬНОЙ ОСИ.



КОГДА ПУЗЫРЕК БУДЕТ В ЦЕНТРЕ, ГОРИЗОНТИРОВАНИЕ БУДЕТ ВЫПОЛНЕНО?

ЗАТЕМ ПОДКРУТИ ПОДЪЕМНЫЙ ВИНТ А В НАПРАВЛЕНИИ, УКАЗАННОМ СТРЕЛКОЙ, ЧТОБЫ ПУЗЫРЕК ОКАЗАЛСЯ НА ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ОСИ.



ТОЧНО!

Шаг 3. Центрирование



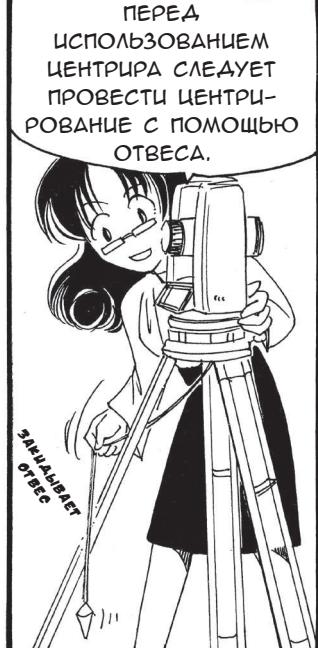
ПОСЛЕДНИЙ ШАГ - ЦЕНТРИРОВАНИЕ, ВЫРАВНИВАНИЕ ЦЕНТРА ТЕОДОЛИТА НАД ТОЧКОЙ СЪЕМКИ ПО ВЕРТИКАЛИ.



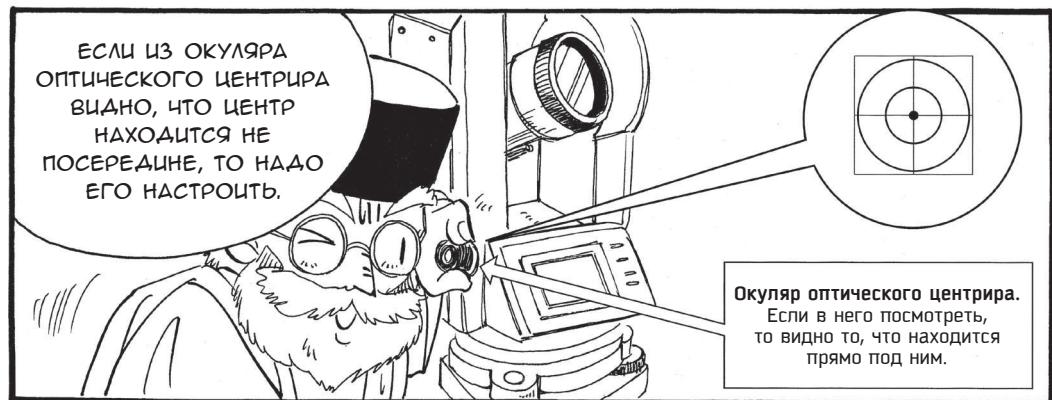
НЕ ВСЕГДА
МОЖНО ПРОВЕСТИ
ЦЕНТРИРОВАНИЕ
НА ГЛАЗ, ПОЭТОМУ НА
ТРЕГЕРЕ (ПОДСТАВКЕ)
ЕСТЬ ТАК НАЗЫВАЕМЫЙ
ОПТИЧЕСКИЙ ЦЕНТРИР.



ПРИ ПОМОЩИ ЭТОГО
УСТРОЙСТВА МОЖНО
ВЫРОВНЯТЬ ЦЕНТР
ТЕОДОЛИТА ОТНОСИТЕЛЬНО
ТОЧКИ СЪЕМКИ
ПО ВЕРТИКАЛИ.



ПЕРЕД
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ЦЕНТРИРА СЛЕДУЕТ
ПРОВЕСТИ ЦЕНТРИ-
РОВАНИЕ С ПОМОЩЬЮ
ОТВЕСА.



ЕСЛИ ИЗ ОКУЛЯРА
ОПТИЧЕСКОГО ЦЕНТРИРА
ВИДНО, ЧТО ЦЕНТР
НАХОДИТСЯ НЕ
ПОСЕРЕДИНЕ, ТО НАДО
ЕГО НАСТРОИТЬ.

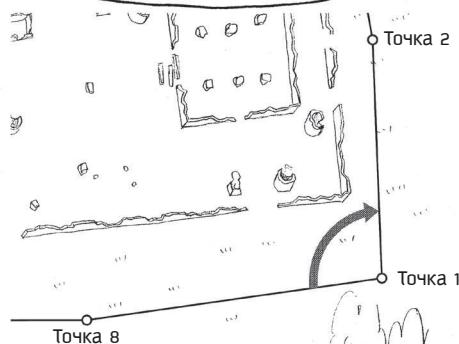
Окуляр оптического центрира.
Если в него посмотреть,
то видно то, что находится
прямо под ним.

Сначала центрирование теодолита по возможности проводится при помощи отвеса, который надо после использования закинуть над ножкой теодолита, затем при помощи оптического центрира устраняются мелкие неточности.



Метод съемки

ПРЕЖДЕ ВСЕГО ВЫБЕРЕМ В КАЧЕСТВЕ СТАРТОВОЙ ТОЧКУ СЪЕМКИ 1, А ЗАТЕМ ИЗМЕРИМ УГЛЫ ДО ТОЧЕК СЪЕМКИ 8 И 2.



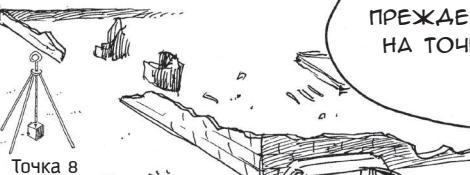
ИСААК,
УСТАНОВИ ВЕХУ
ВЕРТИКАЛЬНО
НА ТОЧКЕ 2, А ТЫ,
КЛАРА, - НА ТОЧКЕ 8.

ХОРОШО!

А ТЕПЕРЬ НАЧНEM
ИЗМЕРИТЬ УГЛЫ ПРИ
ПОМОЩИ ТЕОДОЛИТА.
КЛАРА, ЗАПИСЫВАЙ
УГЛЫ В ЭТУ ТАБЛИЦУ.



ПРЕЖДЕ ВСЕГО ВИЗИРУЕМ ТЕОДОЛИТ
НА ТОЧКУ 8 И УСТАНАВЛИВАЕМ ЕГО
НА $00^{\circ} 00' 00''$.



Точка 8

Пик

Настройка
горизонтального
угла о
на $00^{\circ} 00' 00''$

ЗАТЕМ ПОВЕРНІ
ТЕОДОЛИТ НАПРАВО
И, ВИЗИРОВАВ ЕГО НА
ТОЧКУ 2, МОЖЕШЬ
ИЗМЕРИТЬ УГОЛ.

Точка 8

ВРАЩАЕМ

Точка 2

ПОЛУЧИЛОСЬ
 $97^{\circ} 17' 15''$!

Точка 1

ЭТО У НАС
УГОЛ ТОЧКИ 1.

Точка стояния	Точка визирования	Положение	Измеренный угол	Приведенный угол
1	8	КЛ	$00^{\circ} 00' 00''$	
	2	КЛ	$97^{\circ} 17' 15''$	
	2	?		
	9	?		

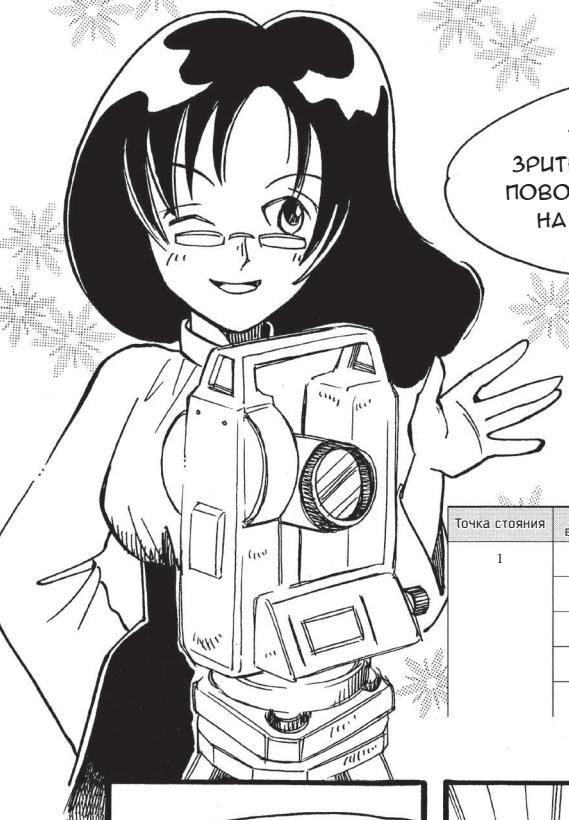
НО ЭТО ЕЩЕ
НЕ ВСЕ!

ШЕЛК!

СЕЙЧАС
У НАС ТЕОДОЛИТ
В ПОЛОЖЕНИИ
КРУГ ЛЕВО (КЛ).

ПОВОРОТ

ШЕЛК! ОГО...
ПЕРЕВОРАЧИВАЕТСЯ!



ТАКИМ ОБРАЗОМ, РАЗВОРАЧИВАЕМ ЗРИТЕЛЬНУЮ ТРУБУ ПО ВЕРТИКАЛИ НА 180°, ПОВОРАЧИВАЕМ ТЕОДОЛИТ ПО ГОРИЗОНТАЛИ НА 180° И ЕЩЕ РАЗ ВИЗИРУЕМ ТОЧКУ 2.

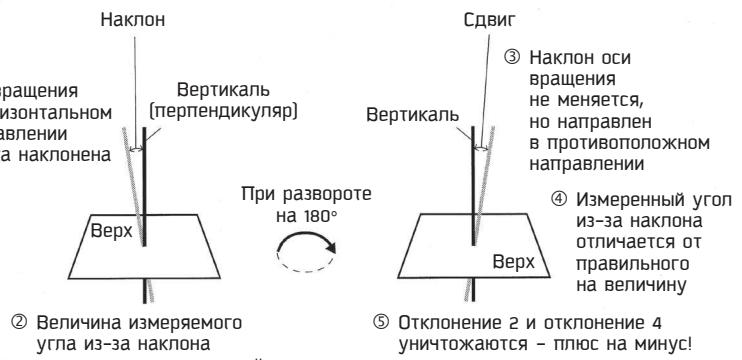
ПРИ ТАКОМ ИЗМЕРЕНИИ ВЕЛИЧИНА УГЛА БУДЕТ РАВНЯТЬСЯ ВЕЛИЧИНЕ ИЗМЕРЕННОГО УГЛА ПРИ ПОЛОЖЕНИИ КЛ ПЛЮС 180° ИЛИ БЫТЬ БЛИЗКА К НЕЙ. НА ЭТОТ РАЗ ОНА СОСТАВИЛА $277^{\circ} 17' 15''$.

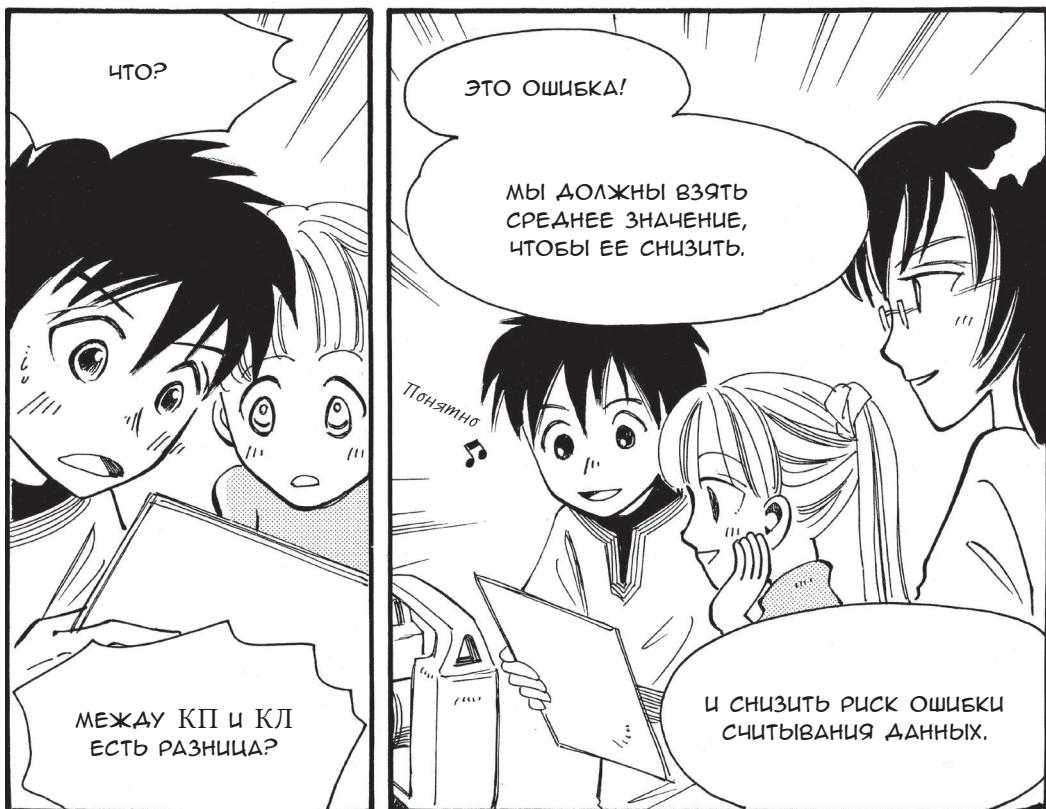
Точка стояния	Точка визирования	Положение	Измеренный угол	Приведенный угол	Среднее значение
1	8	КП	$00^{\circ} 00' 00''$		
	2	КП	$97^{\circ} 17' 15''$		
			$+180^{\circ}$		
	2	КЛ	$277^{\circ} 17' 15''$		
	8	КЛ			

Поскольку мы развернули инструмент по горизонтали на 180°, то к величине углов добавится еще +180°

ЗАТЕМ ПОВОРАЧИВАЕМ ТЕОДОЛИТ ГОРИЗОНТАЛЬНО И ВИЗИРУЕМ ТОЧКУ 8.







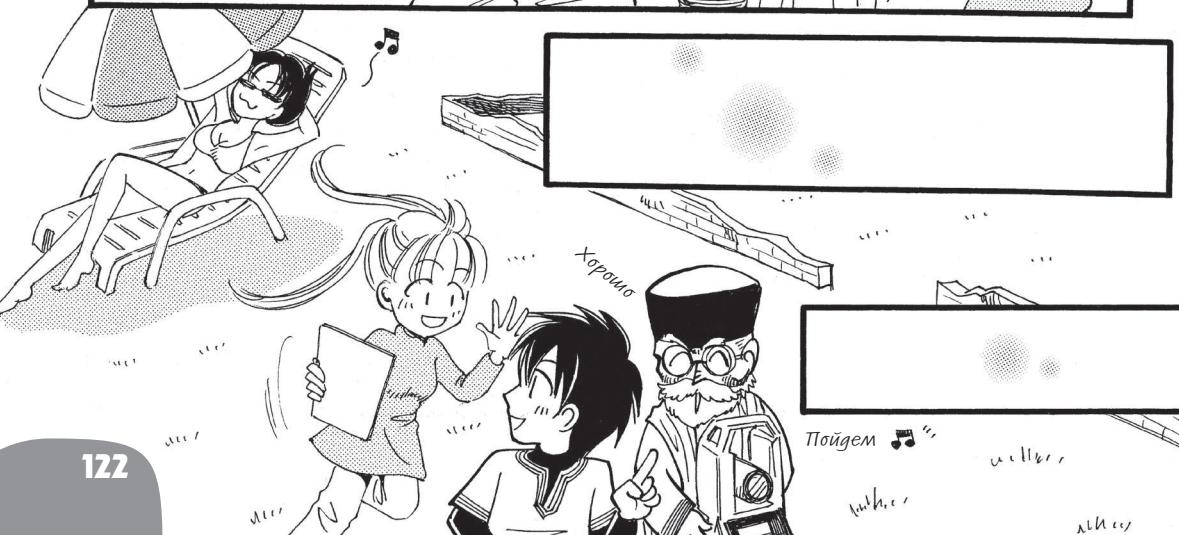
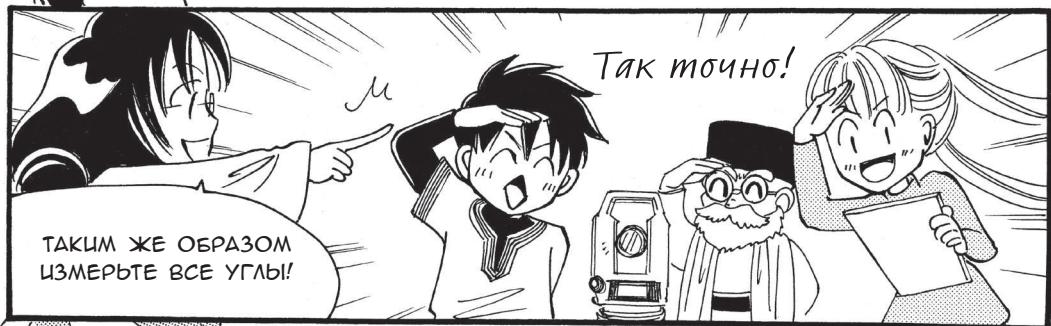
ТО ЕСТЬ...
СРЕДНЕЕ ЗНАЧЕНИЕ -
 $97^{\circ} 17' 10''$.

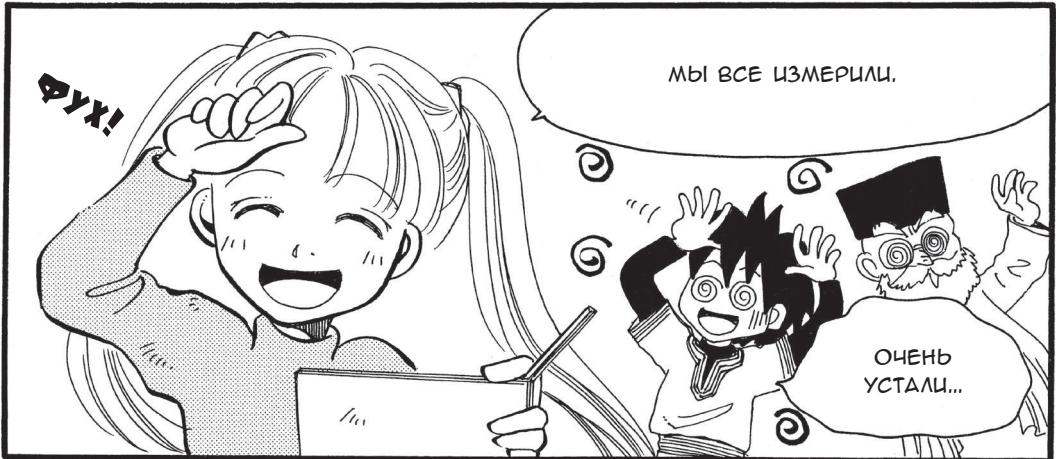
ПРАВИЛЬНО!
ЭТО ЗНАЧЕНИЕ УГЛА
ТОЧКИ ИЗМЕРЕНИЯ 1!

Точка стояния	Точка визирования	Положение	Измеренный угол	Приведенный угол	Среднее значение
1	8	КП	$00^{\circ} 00' 00''$		
	2	КП	$97^{\circ} 17' 15''$	$97^{\circ} 17' 15''$	
	2	КЛ	$277^{\circ} 17' 15''$	$97^{\circ} 17' 05''$	
	8	КЛ	$180^{\circ} 00' 10''$		$97^{\circ} 17' 10''$

Мы берем два приведенных значения,
складываем и делим на 2

$$\frac{(97^{\circ} 17' 15'' + 97^{\circ} 17' 05'')}{2} = 97^{\circ} 17' 10''$$



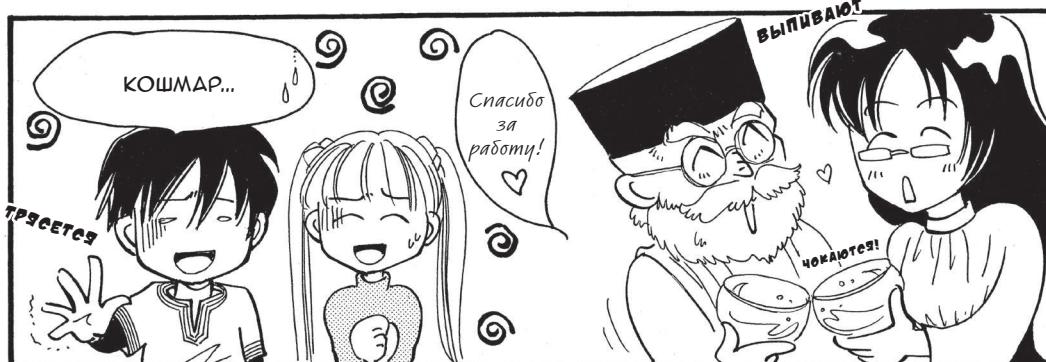


Точка стояния	Точка визирования	Положение	Измеренный угол	Приведенный угол	Среднее значение	Точка стояния	Точка визирования	Положение	Измеренный угол	Приведенный угол	Среднее значение
1	8	КП	00° 00' 00"			5	4	КП	00° 00' 00"		
	2	КП	97° 17' 15"	97° 17' 15"			6	КП	115° 22' 15"	115° 22' 15"	
	2	КЛ	277° 17' 15"	97° 17' 05"			6	КЛ	295° 22' 15"	115° 22' 05"	
	8	КЛ	180° 00' 10"		97° 17' 10"		4	КЛ	180° 00' 10"		155° 22' 10"
2	1	КП	00° 00' 00"			6	5	КП	00° 00' 00"		
	3	КП	172° 11' 50"	172° 11' 50"			7	КП	158° 42' 55"	158° 42' 55"	
	3	КЛ	352° 11' 45"	172° 11' 40"			7	КЛ	338° 42' 40"	158° 42' 25"	
	1	КЛ	180° 00' 05"		172° 11' 45"		5	КЛ	180° 00' 15"		158° 42' 40"
3	2	КП	00° 00' 00"			7	6	КП	00° 00' 00"		
	4	КП	99° 42' 25"	99° 42' 25"			8	КП	108° 02' 35"	108° 02' 35"	
	4	КЛ	279° 42' 25"	99° 42' 15"			8	КЛ	288° 02' 35"	108° 02' 35"	
	2	КЛ	180° 00' 10"		99° 42' 20"		6	КЛ	180° 00' 05"		108° 02' 33"
4	3	КП	00° 00' 00"			8	7	КП	00° 00' 00"		
	5	КП	157° 18' 55"	157° 18' 55"			1	КП	171° 22' 55"	171° 22' 55"	
	5	КЛ	337° 18' 40"	157° 18' 40"			1	КЛ	351° 22' 55"	171° 22' 45"	
	3	КЛ	180° 00' 00"		157° 18' 48"		7	КЛ	180° 00' 10"		171° 22' 50"

3.2. НАЧИНАЕМ ТЕОДОЛИТНУЮ СЪЕМКУ!

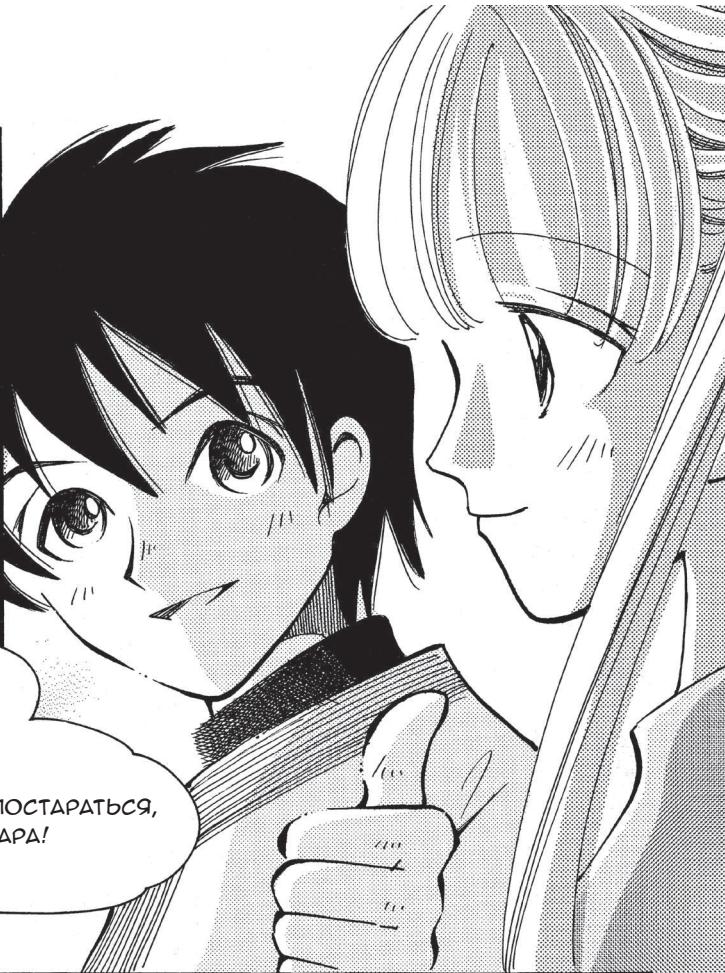


КОГДА ВЕРНЕМСЯ В КАБИНЕТ,
Я РАССКАЖУ О ДИРЕКЦИОННЫХ
УГЛАХ, И МЫ ПОПРОБУЕМ
НА ПРАКТИКЕ ИЗМЕРИТЬ ИХ.



Об азимутах см. стр. 128.

ГЛАВА 3. ТЕОДОЛИТНАЯ СЪЕМКА



Шаг 4.2. Проводим съемку: измеряем расстояния

Обычно, когда производят съемку, расстояния и углы измеряют одновременно и при использовании светодальномера, и в случае измерения лентой (на стороне хода).





В КАБИНЕТЕ У ОЛЬГИ: ИСПРАВЛЯЕМ ОШИБКИ

Исправление ошибок в приведенном угле

Шаг 5. Вычисление и составление плана



А теперь, используя вычисленные сегодня углы и расстояния, составим план. Но сначала необходимо внести поправку в измеренные вчера значения приведенных углов.



Мы же так аккуратно измеряли, и все равно вкрались ошибки?



Как аккуратно ни измеряй, ошибка все равно будет. Поэтому необходимы поправки.

Мы проложили теодолитный ход, в котором определили 8 точек. Когда мы соединим 8 точек сторонами хода, то получим восьмиугольник. Клара, какова сумма углов восьмиугольника?

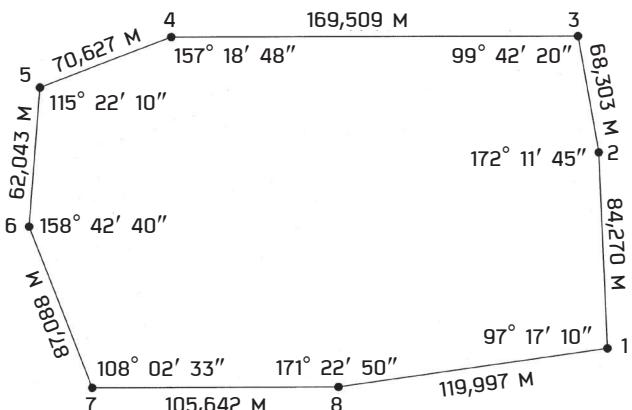


Рис. 3.8. Приведенные углы и расстояния замкнутого хода



По формуле суммы углов n -угольника... Сумма углов n -угольника равна $180(n - 2)$.

$$180(8 - 2) = 1080^\circ 00' 00''.$$



Именно. Сумма внутренних углов восьмиугольника составит $1080^\circ 00' 00''$. Если ошибок не будет, то сумма углов, которые мы вчера измерили, будет такой же. Исаак, посчитай!



Так, $1080^\circ 00' 16''$. Есть небольшая ошибка.



Эти $16''$ и есть ошибка. Распределим их между 8 углами многоугольника. Таким образом $16 \div 8 = 2$, и получается, надо внести поправку в $2''$ для каждого угла.

Таблица 3.1. Таблица поправки

Точка измерения	Приведенный угол до поправки	Приведенный угол после поправки	
1	$97^\circ 17' 10''$	→ $-2''$	$97^\circ 17' 08''$
2	$172^\circ 10' 45''$	→ $-2''$	$172^\circ 10' 43''$
3	$99^\circ 42' 20''$	→ $-2''$	$99^\circ 42' 18''$
4	$157^\circ 18' 48''$	→ $-2''$	$157^\circ 18' 46''$
5	$115^\circ 22' 10''$	→ $-2''$	$115^\circ 22' 08''$
6	$158^\circ 42' 40''$	→ $-2''$	$158^\circ 42' 38''$
7	$108^\circ 02' 33''$	→ $-2''$	$108^\circ 02' 31''$
8	$171^\circ 22' 50''$	→ $-2''$	$171^\circ 22' 48''$
Всего	$1080^\circ 00' 16''$		$1080^\circ 00' 00''$



Измеряем и вычисляем азимуты (дирекционные углы)



Поправки мы внесли, а теперь все закончено?



Еще нет.



И поправки – это еще не все?



Внутренних углов и расстояния достаточно только для того, чтобы нарисовать план. Однако величины углов и расстояния у нас ни от чего не зависят. Иными словами, мы не знаем отношения одного угла к другому. Помните, я говорил, что положение выражается координатами на координатной плоскости относительно сторон света? Так и в геодезической съемке. Необходимо расположить все точки на координатной плоскости.



Но как это сделать?



Переведем все углы в координаты относительно севера. Пусть север у нас будет 0, а следующий угол при повороте по часовой стрелке даст нам **дирекционный угол**.

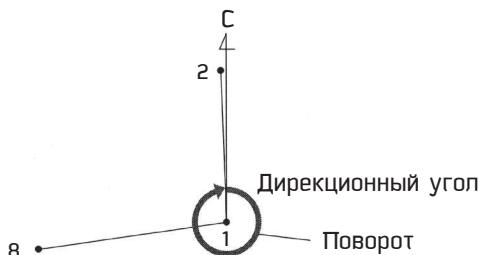


Рис. 3.10. Дирекционный угол



Когда мы наложим этот угол от севера на наш участок, то сможем выразить точки теодолитного хода на координатной плоскости!



Сейчас на практике все станет ясно. Встанем на точку 1 и измерим угол между линиями 1–2.



Сначала установим теодолит в точке 1.



Рис. 3.11. Измерение угла на точке 1



К ручке теодолита прикрепляется устройство, которое называется буссоль, как показано на рис. 3.12. Буссоль нужна для того, чтобы найти направление на север. В центре круга есть два указателя, и когда стрелка находится между этими указателями, буссоль указывает на магнитный север (далее – на север).

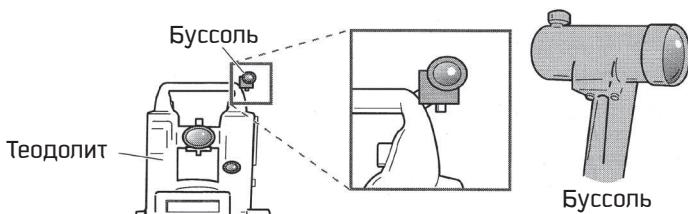


Рис. 3.12. Процедура измерения дирекционного угла (азимута)



Когда стрелку буссоли отпускают (ослабляя винт, который фиксирует стрелку), то теодолит поворачивают на север. Затем, руководствуясь движением магнитной стрелки по направлению к центру индикатора, устанавливаем теодолит на 0° , и игла оказывается в центре индикатора.



Рис. 3.13. Процедура определения дирекционного угла



Наконец, повернув теодолит по часовой стрелке, направляем его на точку 2. В этом случае отображаемый угол является углом к точке съемки 2 относительно севера – иными словами, дирекционным углом (в отличие от внутреннего угла, дирекционный угол не надо измерять дважды).

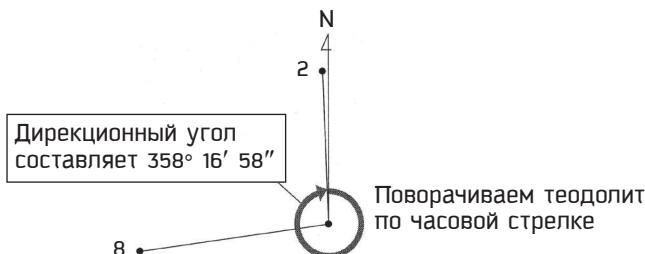


Рис. 3.14. Процедура определения дирекционного угла



Дирекционный угол от севера, измеренный от точки 1 до точки 2, равен $358^{\circ} 16' 58''$. Теперь, пользуясь этим значением, таким же образом найдем значения других точек.



Дирекционный угол точки 1 равен $358^{\circ} 16' 58''$. Чтобы найти дирекционный угол точки 2, к дирекционному углу точки 1 добавим 180° , плюс значение угла точки 2 после поправки.

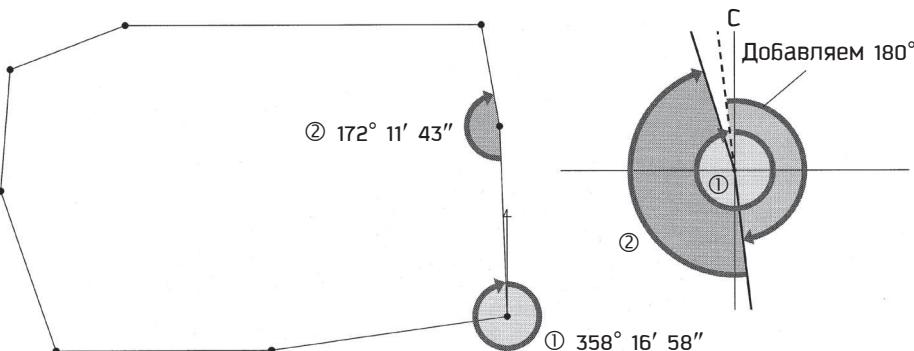


Рис. 3.15. Процедура измерения дирекционного угла



$358^{\circ} 16' 58'' + 180^{\circ} + 172^{\circ} 11' 43'' \dots$ это получится $710^{\circ} 28' 41''$.

$$\begin{array}{r}
 358^\circ 16' 58" \\
 + 180^\circ \\
 + 172^\circ 11' 43" \\
 \hline
 710^\circ 28' 41"
 \end{array}$$



Если сумма углов превысила 360° , то вычтем из нее 360° .

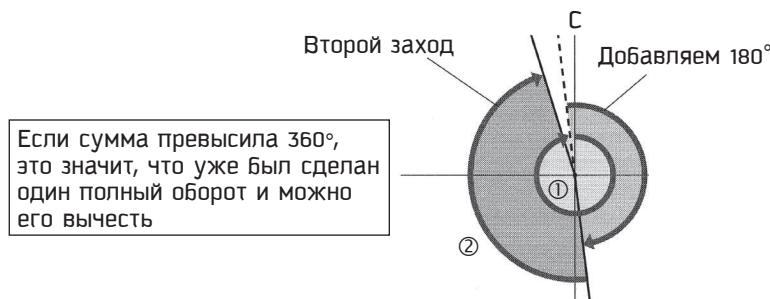


Рис. 3.16. Процедура измерения дирекционного угла



Тогда получится $710^\circ 28' 41'' - 360^\circ = 350^\circ 28' 41''$.

$$\begin{array}{r}
 710^\circ 28' 41'' \\
 - 360^\circ \\
 \hline
 350^\circ 28' 41''
 \end{array}$$



Да-с! А теперь вычислим оставшиеся дирекционные углы.



Я беспокоюсь, нет ли какой-нибудь ошибки в наших расчетах.



Для этого рассчитаем дирекционный угол для точки 8 – он составит $80^\circ 59' 50''$. Добавим к нему 180° и величину внутреннего угла точки 1 – $97^\circ 17' 08''$. Если ошибки в расчетах нет, то эта величина будет такой же, как и величина дирекционного угла точки 1.



Да, профессор, получилось $358^\circ 16' 58''$, все так.



Если они не совпадают, то в расчетах была ошибка.



На рис. 3.17 показано вычисление дирекционных углов относительно точек.



Теперь у нас все точки на одном участке, и мы можем выразить их координатами!

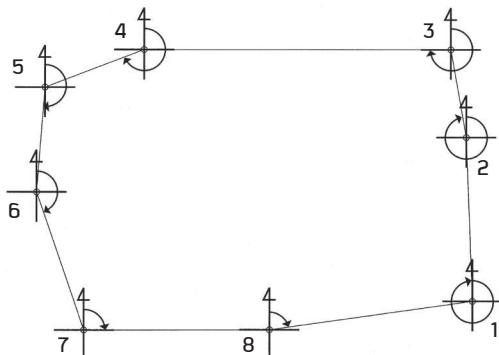


Рис. 3.17. Процедура вычисления дирекционных углов



Перед тем как мы рассчитаем координаты по осям x и y , можно вычислить так называемые **румбы**.



Румбы?



Дирекционный угол может принимать значения от 0° до 360° относительно севера. А на этот раз мы попробуем взять за основу линию север–юг и выразить значение от 0° до 90° .



Если мы разделим 360° на 90° , то у нас будет четыре части.



Дирекционные углы отсчитываются от севера, который принят за 0° , по часовой стрелке. Проведем ось СЮ, разделим 360° на 4 четверти (0° – 90° – первая четверть; 90° – 180° – вторая четверть; 180° – 270° – третья четверть; 270° – 360° – четвертая) и укажем румб. Например, дирекционный угол $32^\circ 10' 33''$ будет находиться в четверти СВ и обозначаться как $32^\circ 10' 33''$ СВ.



Поскольку дирекционный угол $161^\circ 36' 11''$ не дотягивает до 180° , то он будет находиться во второй четверти, между осями В и Ю. 180° – дирекционный угол $161^\circ 36' 11''$, получится $18^\circ 23' 49''$ ЮВ.

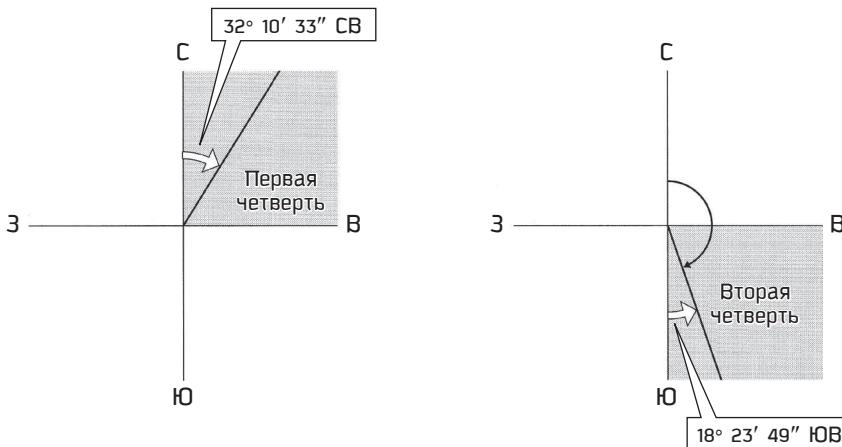


Рис. 3.18. Первая четверть и вторая четверть



Линии, соединяющие точки съемки, называются сторонами хода. Представим сторону хода 1–2, которая была измерена вчера. Как показано на рис. 3.19, дирекционный угол равен $358^\circ 16' 58''$, поэтому он будет располагаться в четвертой четверти. Следовательно, $360^\circ - 358^\circ 16' 58'' = 1^\circ 43' 02''$, иными словами, сторона хода 1–2 будет располагаться между севером и западом и обозначаться $1^\circ 43' 02''$ СВ.

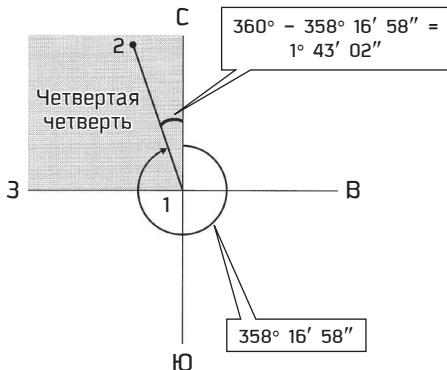


Рис. 3.16. Дирекционный угол

Таблица 3.2. Дирекционные углы и румбы

Точка измерения	Внутренний угол	Сторона хода	Дирекционный угол	Румб		
1	97° 17' 08''	1-2	358° 16' 58''	C	1° 43' 02''	3
2	172° 10' 43''	2-3	350° 28' 41''	C	9° 31' 19''	3
3	99° 42' 18''	3-4	270° 10' 59''	C	89° 49' 01''	3
4	157° 18' 46''	4-5	247° 29' 45''	Ю	67° 29' 45''	3
5	115° 22' 08''	5-6	182° 51' 53''	Ю	2° 51' 53''	3
6	158° 42' 38''	6-7	161° 34' 31''	Ю	18° 25' 29''	В
7	108° 02' 31''	7-8	89° 37' 02''	C	89° 37' 02''	В
8	171° 22' 48''	8-1	80° 59' 50''	C	80° 59' 50''	В
Всего	1080° 00' 00''		358° 16' 58''			



Приращение абсцисс (широта) и ординат (отшествие; долгота)



Наконец-то нам понадобится система координат. В геодезии вертикальная ось координат обозначается x , горизонтальная ось – y . По оси СЮ (ось x) у нас обозначается абсцисса, а по оси ЗВ (ось y) – ордината. Абсциссы и ординаты в направлении С и В положительны, в направлении Ю и З – отрицательны. Если у нас за точку отсчета взята точка 1, то, зная румб и длину стороны хода, можно узнать координаты требуемой точки. То есть вычислить приращение абсциссы и ординаты.

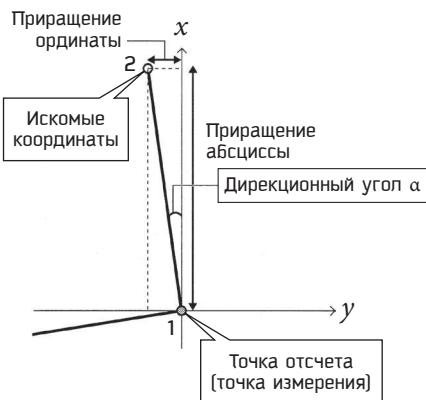


Рис. 3.20. Вычисляем приращение абсциссы и ординаты точки 2 относительно точки 1



Приняв за точку отсчета точку 1, рассчитаем приращение абсциссы и ординаты стороны хода 1–2. Приращение абсциссы L есть проекция длины хода 1–2 на ось абсцисс, а приращение ординаты D – проекция этой длины на ось ординат. Обозначив длину стороны хода l и угол между стороной хода и осью СЮ за θ , получим следующие формулы:

$$\text{приращение абсциссы } L = l \times \cos \theta;$$

$$\text{приращение ординаты } D = l \times \sin \theta.$$

Подставив значения длины стороны хода 1–2 (84,270 м) и румба ($C1^{\circ} 43' 02''$ СВ), получим:

$$\text{приращение абсциссы } L = 84,270 \times \cos 1^{\circ} 43' 02'';$$

$$\text{приращение ординаты } D = 84,270 \times \sin 1^{\circ} 43' 02''.$$

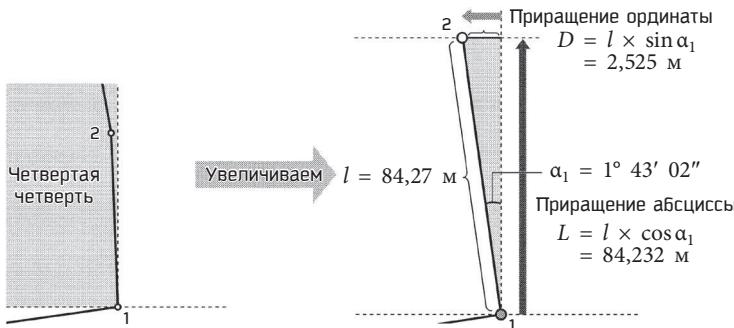


Рис. 3.21. Вычисляем приращение абсциссы и ординаты стороны хода 1–2



Так как румб равен $1^\circ 43' 02''$ СЗ, то приращение абсциссы – положительное, а ординаты – отрицательное. Получим координаты стороны хода 1–2: приращение абсциссы L равно +84,232; приращение ординаты D равно -2,525. Внесем их в таблицу.



Тем же самым образом рассчитаем все стороны хода. Все приращения абсцисс и ординат будут выглядеть так:

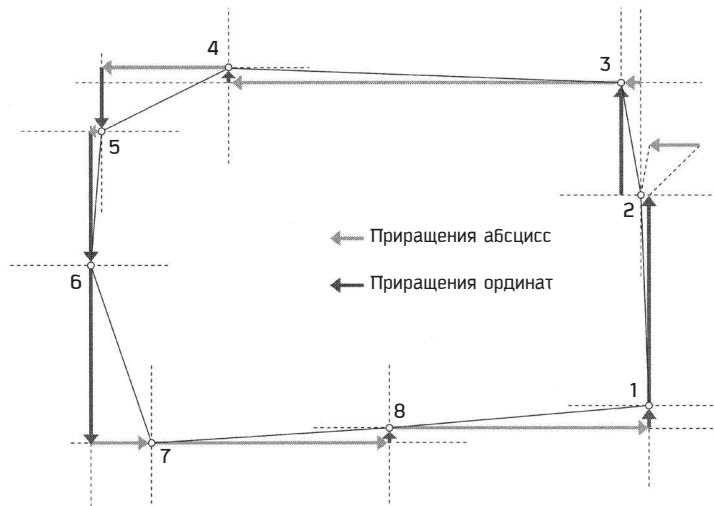


Рис. 3.22. Все приращения абсцисс и ординат точек хода

Таблица 3.3. Дирекционные углы и румбы

Страна хода	Расстояние (м)	Румб		Приращение абсциссы		Приращение ординаты	
		(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)
1 → 2	84,27	C $1^\circ 43' 02''$	3	84,232			2,525
2 → 3	68,303	C $9^\circ 31' 19''$	3	67,362			11,299
3 → 4	169,509	C $89^\circ 49' 01''$	3	0,543			169,509
4 → 5	70,627	Ю $67^\circ 29' 45''$	3		27,033		65,249
5 → 6	62,043	Ю $2^\circ 51' 53''$	3		61,965		3,101
6 → 7	87,088	Ю $18^\circ 25' 29''$	В		82,624	27,525	
7 → 8	105,642	C $89^\circ 37' 02''$	В	0,707		105,64	
8 → 1	119,997	C $80^\circ 59' 50''$	В	18,778		118,518	
Общее значение				171,622	171,622	251,683	251,683
Невязка приращений абсцисс и ординат				0,000		0,000	



Вычисляем плановые координаты точек



Когда мы вычислили приращение абсцисс и ординат, то уже можно внести координаты на плоскость. Однако, как видно из табл. 3.3, румбы часто находятся в одной четверти и накладываются друг на друга. Иными словами, положительные и отрицательные координаты нередко путаются. Таким образом, можно легко ошибиться при внесении координат, не так ли?



Все так. По возможности все координаты должны быть положительными?



Именно. Если мы примем координаты точки 1 за точку отсчета $(0, 0)$, то возникает неразбериха со знаками. Но мы можем принять за точку отсчета другую произвольную точку, такую, чтобы все остальные точки были бы в одном румбе. Тогда все координаты будут положительными. Это и будут плановые координаты точек.



Если мы примем координаты точки 1 (x_1, y_1) за $(300, 300)$, то координаты точки 2 вычислим по следующей формуле:

$$\text{координата } x \text{ точки 2 (плановое приращение абсциссы точки 2)} = 300 + 84,232 = 384,232;$$

$$\text{координата } y \text{ точки 2 (плановое приращение ординаты точки 2)} = 300 + (-2,525) = 297,475.$$

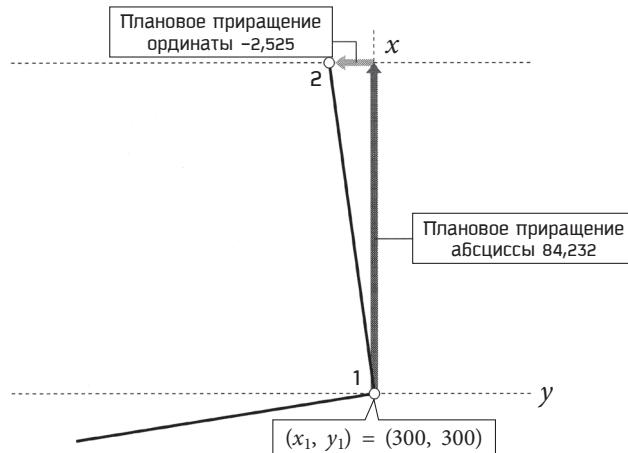


Рис. 3.23. Координаты точки 2



Таким же образом вычислим координаты точки 3.

Координата x точки 3 (плановое приращение абсциссы точки 3) = $384,232 + (+67,362) = 451,594$.

Координата y точки 3 (плановое приращение ординаты точки 3) = $297,475 + (-11,299) = 286,176$.



Когда мы нашли все плановые координаты, получим табл. 3.4.

Таблица 3.4. Плановые приращения абсцисс и ординат

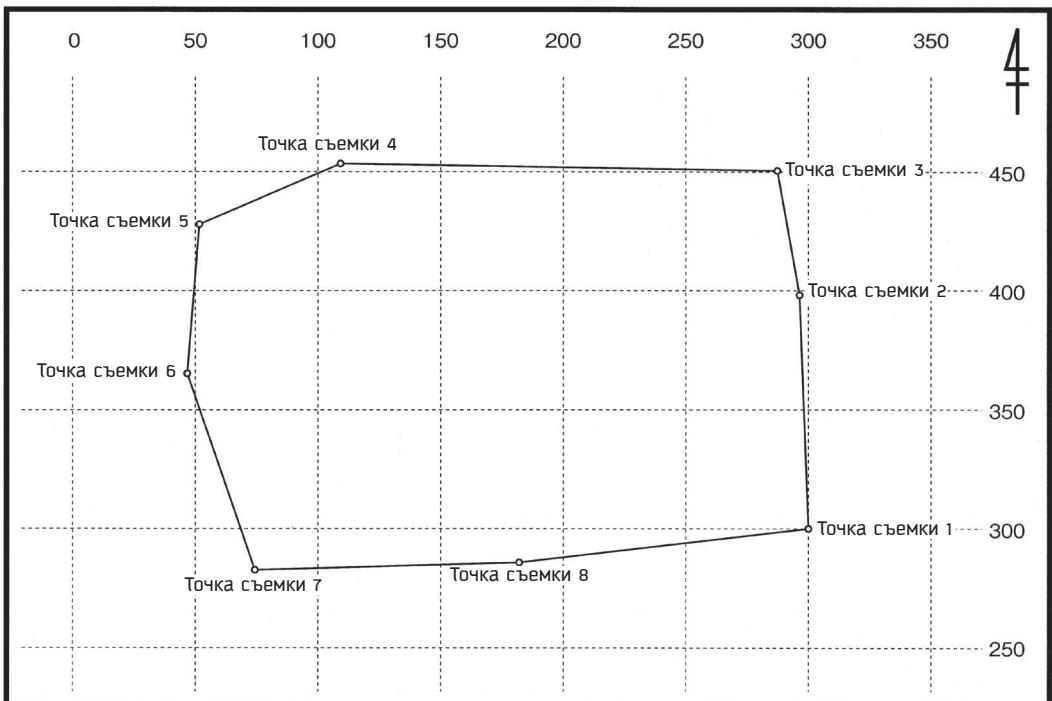
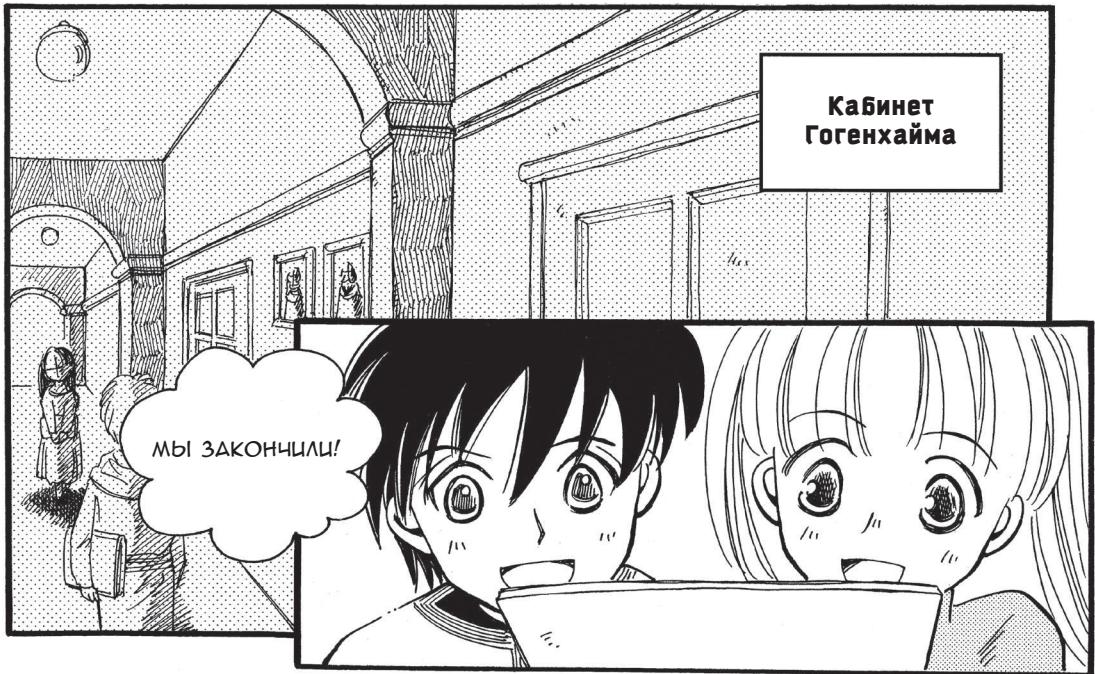
Точка съемки	Плановое приращение абсциссы (координата x)	Плановое приращение ординаты (координата y)
1	300,000	300,000
2	384,232	297,475
3	451,594	286,176
4	452,137	116,667
5	452,104	51,418
6	363,139	48,317
7	280,515	75,842
8	281,222	181,482



На финальном этапе нужно тщательно выбирать координаты точки 1, чтобы составить план, координаты которого будут располагаться в первой четверти.



Ага!



2.2. НАЧИНАЕМ ТЕОДОЛИТНУЮ СЪЕМКУ!

ИСААК, КЛАРА,
ВЫ БОЛЬШИЕ МОЛОДЦЫ.

ЭТО ПЛАН РАСПОЛОЖЕНИЯ
ЗАМКА ГОСТЛЯНДИИ.

Хм, неплохо

НА ОСНОВАНИИ
ЭТОГО ПЛАНА
УЖЕ МОЖНО
ВОССТАНАВЛИВАТЬ
ЗАМОК?

ПОКА НЕТ, НУЖНО
ПРОДОЛЖАТЬ СЪЕМКУ.

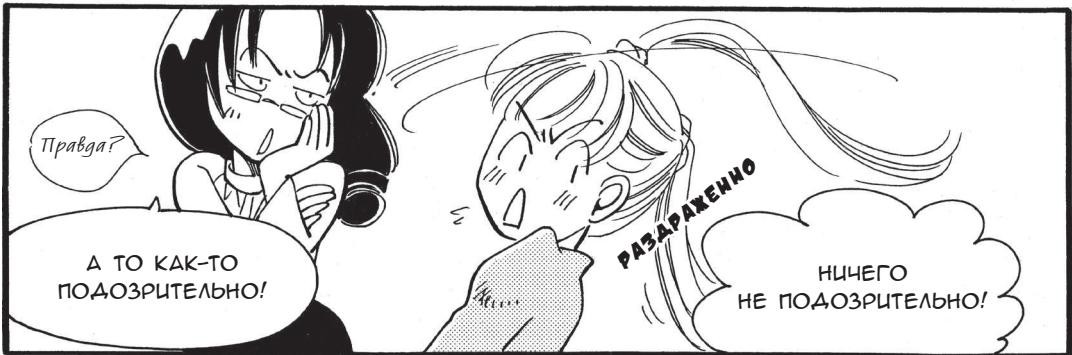
Основываясь на этих
точках, надо проводить
более подробные
измерения.

и это еще
не все...

НЕ ГРУСТИ!
ТЕОДОЛИТНАЯ СЪЕМКА -
ЭТО САМОЕ ГЛАВНОЕ
ИСПЫТАНИЕ НА ПУТИ
К МАСТЕРСТВУ!

ПОТОМ ВСЕ
СТАНЕТ ЛЕГЧЕ И ПОЙДЕТ
КАК ПО МАСЛУ!

расстроен



2.2. НАЧИНАЕМ ТЕОДОЛИТНУЮ СЪЕМКУ!



В КАБИНЕТЕ У ОЛЬГИ: ИСПРАВЛЯЕМ ОШИБКИ

Исправляем невязки¹ при проложении замкнутого хода

Выше мы говорили о том, как вычислить приращения абсцисс и ординат, а потом пересчитать их в плановые координаты. Мы перенесли все координаты на план и нарисовали съемку ситуации, однако на самом деле процесс внесения поправок в значения приращения абсцисс и ординат выше был сокращен. При прокладывании замкнутого теодолитного хода даже при использовании исправленных значений внутренних углов расчеты приращений абсцисс и ординат не всегда совпадают с общими значениями приращений, поэтому возникают невязки. Здесь мы познакомим вас с методом внесения поправок (увязки), для того чтобы невязки не возникали.

Вычисления результатов, приведенные выше, представлены в табл. 3.5.

Таблица 3.5. Приращения абсцисс и ординат сторон хода

Сторона хода	Расстояние (м)	Румб		Приращение абсциссы		Приращение ординат	
		(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)
1 → 2	84,27	C 1° 43' 02"	3	84,232			2,525
2 → 3	68,303	C 9° 31' 19"	3	67,362			11,299
3 → 4	169,509	C 89° 49' 01"	3	0,543			169,509
4 → 5	70,627	Ю 67° 29' 45"	3		27,033		65,249
5 → 6	62,043	Ю 2° 51' 53"	3		61,965		3,101
6 → 7	87,088	Ю 18° 25' 29"	В		82,624	27,525	
7 → 8	105,642	C 89° 37' 02"	В	0,707		105,64	
8 → 1	119,997	C 80° 59' 50"	В	18,778		118,518	
Общее значение				171,622	171,622	251,683	251,683
Невязка приращений абсцисс и ординат				0,000		0,000	

Однако в табл. 3.5 общие значения и значения приращений абсцисс и ординат совпадают, потому что уже была проведена увязка. Таблица результатов без увязки представлена в табл. 3.6.

¹ Невязки – геодезический термин. Он означает почти тоже самое, что неувязки или неточности. Карта съемки не свяжется, если их не исправить.

Таблица 3.6. Результаты вычисления приращений абсцисс и ординат до увязки

Страна хода	Расстояние (м)	Румб	Приращение абсциссы		Приращение ординаты	
			(+)	(-)	(+)	(-)
1 → 2	84,27	С 1° 43' 02" 3	84,232			2,525
2 → 3	68,303	С 9° 31' 19" 3	67,362			11,299
3 → 4	169,509	С 89° 49' 01" 3	0,542			169,508
4 → 5	70,627	Ю 67° 29' 45" 3		27,033		65,249
5 → 6	62,043	Ю 2° 51' 53" 3		61,965		3,101
6 → 7	87,088	Ю 18° 25' 29" В		82,624	27,525	
7 → 8	105,642	С 89° 37' 02" В	0,706		105,64	
8 → 1	119,997	С 80° 59' 50" В	18,777		118,519	
Общее значение			171,619	171,622	251,684	251,682
Невязка приращений абсцисс и ординат			-0,003		0,002	

Жирным в табл. 3.6 выделены значения до увязки. Поскольку сумма положительных и отрицательных значений приращений абсцисс и ординат отличается, мы понимаем, что в измерениях возникла невязка. Такая невязка означает, что теодолитный ход не замыкается, как показано на рис. 3.24.

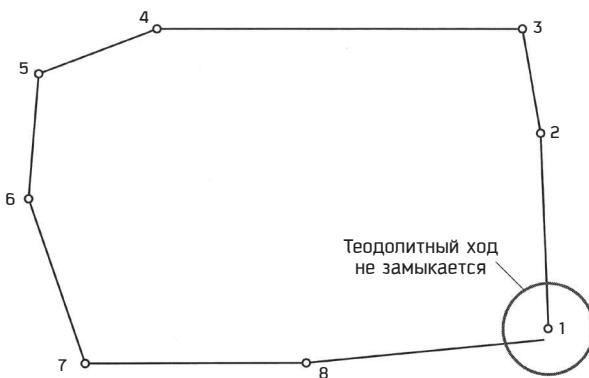


Рис. 3.24. Невязка замкнутого теодолитного хода

Сумма приращений координат в замкнутом ходе должна быть равна нулю. Невязка, возникающая при суммировании положительных и отрицательных приращений абсцисс, называется **невязкой приращения абсцисс**, а при суммировании приращений ординат – **невязкой приращения ординат**. Исправление приращений координат проводится путем их распределения по длинам сторон. Это правило увязки называется правилом компаса.

Уравненные в соответствии с правилом компаса приращения абсцисс называются **увязанными приращениями абсцисс**, а ординат – **увязанными приращениями ординат**.

Теперь вкратце рассмотрим процедуру увязки. Первым делом начнем с приращения абсцисс. Распределим равномерно невязку приращения абсцисс = -0,003 по измеренным сторонам хода.

Рассчитаем сумму сторон хода и получим табл. 3.7.

Таблица 3.7. Длины сторон хода

Сторона хода	Расстояние (м)
1 → 2	84,270
2 → 3	68,303
3 → 4	169,509
4 → 5	70,627
5 → 6	62,043
6 → 7	87,088
7 → 8	105,642
8 → 1	119,997
Всего	767,479

Дальше находим соотношение длины каждой стороны хода к общей сумме сторон хода 767,479 (м) и находим величину увязки приращения абсцисс, соответствующую этому соотношению. Найденные результаты показаны в табл. 3.8. Поскольку в нашем случае невязка абсцисс чрезвычайно мала и составляет всего 0,003, т. е. выражается в миллиметрах (третий знак после запятой), то величина увязки приращения абсцисс почти равняется 0, как показано в табл. 3.8.

Таблица 3.8. Длина каждой стороны хода и величина поправок приращения абсцисс

Сторона хода	Расстояние (м)	Приращение абсцисс (м)	
1 → 2	84,270	0,000	$0,003 \times \frac{84,27}{767,479}$
2 → 3	68,303	0,000	$0,003 \times \frac{68,303}{767,479}$
3 → 4	169,509	0,001	
4 → 5	70,627	0,000	
5 → 6	62,043	0,000	
6 → 7	87,088	0,000	
7 → 8	105,642	0,000	
8 → 1	119,997	0,000	
Всего	767,479		

Таким же образом выполняем расчет приращения ординат (табл. 3.9).

Таблица 3.9. Длина стороны хода и величина поправок приращения ординат

Сторона хода	Расстояние (м)	Приращение абсцисс (м)
1 → 2	84,270	0,000
2 → 3	68,303	0,000
3 → 4	169,509	0,000
4 → 5	70,627	0,000
5 → 6	62,043	0,000
6 → 7	87,088	0,000
7 → 8	105,642	0,000
8 → 1	119,997	0,000
Общая сумма	767,479	

Величина поправки ординат еще меньше и составляет 0,002, поэтому увязка везде равна 0. Увязка значений координат показана в табл. 3.10. Поскольку сумма положительных приращений ординат меньше отрицательных, мы добавляем поправку к ходу 3–4.

Таблица 3.10. Увязка значений координат

Сторона хода	Расстояние (м)	Румб	Приращение абсциссы		Приращение ординаты	
			(+)	(-)	(+)	(-)
1 → 2	84,27	C 1° 43' 02"	3	84,232		2,525
2 → 3	68,303	C 9° 31' 19"	3	67,362		11,299
3 → 4	169,509	C 89° 49' 01"	3	0,543		169,508
4 → 5	70,627	Ю 67° 29' 45"	3		27,033	65,249
5 → 6	62,043	Ю 2° 51' 53"	3		61,965	3,101
6 → 7	87,088	Ю 18° 25' 29"	B		82,624	27,525
7 → 8	105,642	C 89° 37' 02"	B	0,706		105,64
8 → 1	119,997	C 80° 59' 50"	B	18,777		118,519
Общее значение			171,620	171,622	251,684	251,682
Невязка приращений абсцисс и ординат			-0,002		0,002	

Ячейки табл. 3.10, куда внесены поправки, заштрихованы. Если величина невязок абсцисс и ординат большая, то ее можно скорректировать таким же образом. Однако если невязки абсцисс и ординат малы, то трудно свести их к 0, производя увязку описанным выше способом. В этом случае увязку проводят без вычислений, добавляя или отнимая по 0,001 к значениям абсцисс и ординат по самым длинным сторонам хода.

Когда мы делали увязку приращения ординат, то проводили поправку указанным выше способом всего один раз, на стороне хода 3–4, поэтому, раз невязка не очень велика, в качестве исключения добавим или вычтем 0,001 к следующим по длине сторонам хода 7–8 и 8–1.

Все вышесказанное сведено в табл. 3.11 вместе с исправленными значениями приращений абсцисс и ординат.

Таблица 3.11. Исправленные значения приращений абсцисс и ординат

Сторона хода	Расстояние (м)	Румб	Приращение абсциссы		Приращение ординаты		Связанное приращение абсциссы		Увязанное приращение ординаты	
			(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)
1 → 2	84,27	C 1° 43' 02" 3	84,232			2,525	84,232			2,525
2 → 3	68,303	C 9° 31' 19" 3	67,362			11,299	67,362			11,299
3 → 4	169,509	C 89° 49' 01" 3	0,543			169,508	0,543			169,509
4 → 5	70,627	IO 67° 29' 45" 3		27,033		65,249		27,033		65,249
5 → 6	62,043	IO 2° 51' 53" 3		61,965		3,101		61,965		3,101
6 → 7	87,088	IO 18° 25' 29" В		82,624	27,525			82,624	27,525	
7 → 8	105,642	C 89° 37' 02" В	0,706		105,64		0,707		105,64	
8 → 1	119,997	C 80° 59' 50" В	18,777		118,519		18,778		118,518	
Общее значение приращений			171,620	171,622	251,684	251,682	171,620	171,622	251,684	251,682
Невязка абсцисс и ординат			-0,002		0,002		0,000		0,000	

Ошибки при прокладке теодолитного хода

Зная причины ошибок, которые возникают при прокладке теодолитного хода (измерении углов и расстояний при помощи теодолита) и меры противодействия им, можно минимизировать вероятность ошибки.

Ошибки по вине приборов

Ошибки возникают из-за устройства теодолита или из-за недостаточной корректировки.

- Ошибка оси визирования.** Ошибки возникают из-за того, что ось визирования зрительной трубы и горизонтальная ось (ось вращения плоскости зрительной трубы) не ортогональны друг другу (рис. 3.25). Как показано в этой книге, они устраняются путем измерения в позициях КП и КЛ.

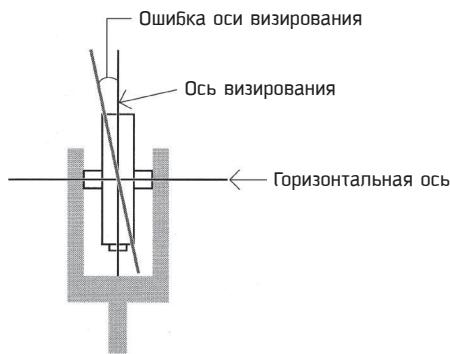


Рис. 3.25. Ошибка оси визирования

- **Ошибка горизонтальной оси.** Ошибка возникает из-за того, что вертикальная ось (ось вращения теодолита) и горизонтальная плоскость не ортогональны друг другу (рис. 3.26). Как и с ошибкой визирования, устраняется путем измерения из позиций КП и КЛ.

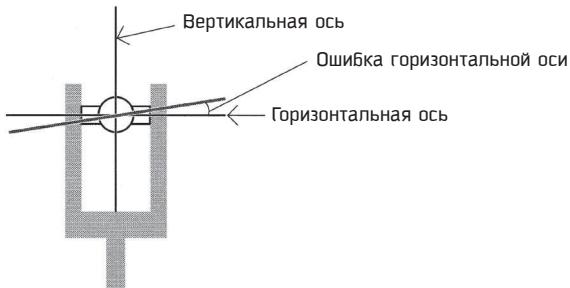


Рис. 3.26. Ошибка горизонтальной оси

- **Ошибка эксцентриситета лимба.** Ошибка возникает из-за несовпадения (эксцентриситета) оси вращения теодолита и диска лимба (рис. 3.27). Устраняется при измерении из позиций КП и КЛ.

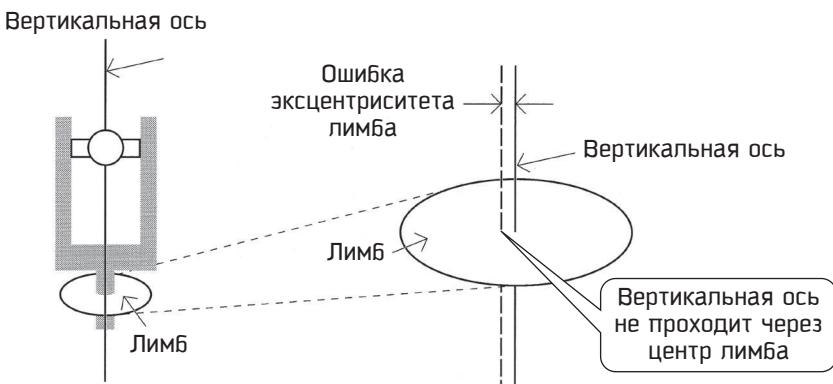


Рис. 3.27. Ошибка эксцентрикитета лимба

- Ошибки шкалы деления.** Ошибки возникают в случае неравномерно нанесенных на лимб делений. Ошибку можно минимизировать, используя для измерений всю окружность лимба. После измерения в положении КП, развернув теодолит, проводят измерение в положении КЛ, добавив 180° , чтобы задействовать всю окружность лимба в процессе измерения.

Природные ошибки

Ошибки, которые возникают из-за преломления света при изменении плотности или наличия дымки в атмосфере. При проведении съемки при высокой влажности или при ярком свете могут возникнуть трудности с точным наведением на цель, что может послужить причиной возникновения значительных ошибок. Чтобы уменьшить ошибки, следует избегать проведения съемки в условиях высокой влажности или палившего солнца.

Ошибки, вызванные человеческими факторами

- Ошибки визирования.** Ошибки, вызванные неточным визированием теодолита. Их можно уменьшить путем точного фокусирования. Для этого после наведения на точку необходимо подвигать глазом влево-вправо. Если точка будет дрожать, значит, наведение на цель проведено недостаточно точно. Поэтому необходимо провести перефокусировку.
- Ошибка из-за привычки.** Эти ошибки индивидуальные, например связанные с привычкой, которые появляются во время считывания шкалы в процессе визирования (например, уклон вправо). Чтобы сгладить такую ошибку, надо, чтобы все измерения (операции с теодолитом) проводил один человек, а не несколько одновременно.

Искажения

Это не ошибки. Искажения возникают из-за небрежности съемщика и включают в себя ошибки, которые перечислены ниже.

- **Ошибки при записи значений углов.** При записях значений углов часто возникают ошибки. Например, вместо $155^{\circ} 45' 50''$ могут написать $155^{\circ} 54' 50''$. Записывающий должен несколько раз проверять, чтобы ошибок не было. Съемщик должен повторять измерение угла и внимательно проверять показания, чтобы избежать ошибок.

ПОДВЕДЕМ ИТОГИ

Устройство теодолита

Теодолит, которым пользовались герои этой книги, включает в себя множество винтов и линз. Его составные части и их назначение приведены ниже.

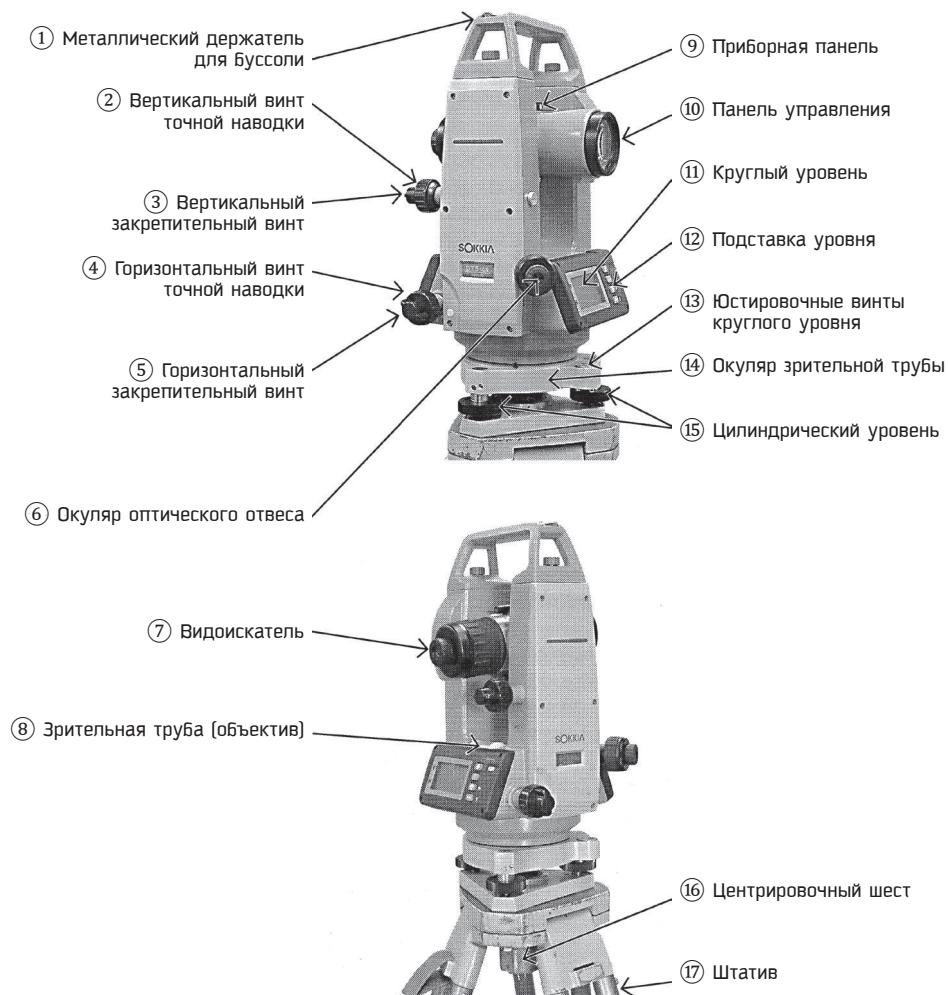


Рис. 3.28. Составные части теодолита и их названия

Номер и наименование	Функции
① Металлический держатель для буссоли	Держатель для установки буссоли параллелен зрительной трубе. Используется для измерения дирекционного угла (азимута)
② Вертикальный винт точной наводки	Винт для точной наводки зрительной трубы по направлению вверх-вниз (на угол)
③ Вертикальный закрепительный винт	Винт для закрепления зрительной трубы
④ Горизонтальный винт точной наводки	Винт для точной наводки плоскости теодолита в горизонтальной плоскости (на угол)
⑤ Горизонтальный закрепительный винт	Винт для закрепления теодолита в горизонтальной плоскости (на угол)
⑥ Окуляр оптического отвеса	Оптический отвес – устройство, которое позволяет видеть, что находится прямо под центром теодолита, и служит для центрирования прибора (установки теодолита точно над точкой съемки). Это его окуляр
⑦ Видоискатель	Когда теодолит трудно навести на цель с высокой точностью, используют видоискатель
⑧ Зрительная труба (объектив)	Зрительная труба теодолита, который используется в данной книге, может увеличивать до 30 раз
⑨ Приборная панель	Жидкокристаллический экран для показа значений углов
⑩ Панель управления	Кнопки питания, сброса настроек, поворота лимба, блокировки
⑪ Круглый уровень	Круглый уровень для успешной юстировки устройства. Регулируя его, можно установить теодолит точно на плоскости
⑫ Подставка уровня	Делит теодолит на две части, измерительную и подставку. Подставка нужна для того, чтобы правильно установить теодолит
⑬ Юстировочные винты круглого уровня	Три юстировочных винта уровня позволяют установить теодолит в плоскости
⑭ Окуляр зрительной трубы	В окуляре зрительной трубы имеются крестообразные линии, которые помогают найти центр (или ось визирования) и навести на него предмет
⑮ Цилиндрический уровень	Трубка цилиндрического уровня, которая находится над приборной панелью, позволяет точно настроить теодолит
⑯ Центрировочный шест	Шест для установки штатива
⑰ Штатив	Алюминиевый шест. Особенность – небольшое сжатие или растяжение при изменении температур

В чем разница между теодолитами и тахеометрами

Теодолит – это прибор для измерения горизонтальных и вертикальных углов. Измеренный угол отображается на цифровой панели, поэтому при считывании не возникают ошибки, связанные с человеческим фактором. Однако поскольку в этой книжке в образовательных целях результаты измерения записывают отдельно, а потом вводят в компьютер, могут возникать ошибки записи и ввода.

В тахеометре в зрительную трубу теодолита встроен дальномер, измеряющий расстояния при помощи световых волн, что позволяет измерять углы и расстояния одновременно. Измеренные данные показываются на жидкокристаллическом экране и затем сохраняются в запоминающем устройстве. В последнее время появились приборы со встроенными компьютерными чипами, которые помогают проводить обработку данных измерения углов и расстояний, до этого проходившую в кабинетных условиях, прямо на месте.

Системы съемки, основанные на тахеометрах

Ход съемок углов и расстояний при помощи теодолита, которым пользовались в этой книге, приведен в табл. 3.29. А в табл. 3.30 представлены данные, полученные с использованием тахеометра.

И при использовании теодолита, и при использовании тахеометра после занесения данных в компьютер проводятся вычисления (определение и корректировка углов; вычисление дирекционного угла, приращений координат, расчет плановых координат), а затем составляется план. Главное различие состоит в том, что при измерении углов и расстояний тахеометром многое делается автоматически. При съемке теодолитом измеренные углы и расстояния записываются в так называемый журнал (рис. 3.29). В этом случае возможны ошибки при прочтении и введении данных измерения.

При использовании тахеометра достаточно нажать кнопку измерения расстояния, и начинает работу встроенный дальномер, расстояние измеряется автоматически. То есть нет необходимости ни использовать стальную ленту для измерения сторон хода, ни вести полевой журнал, так как измерения можно проводить без записи в дневник или полевой журнал. Измеренные данные углов и сторон хода сохраняются во встроенном в тахеометр устройстве памяти;читываются и обрабатываются компьютером, поэтому вводить их не надо. Следовательно, нет ошибок введения измеренных данных.

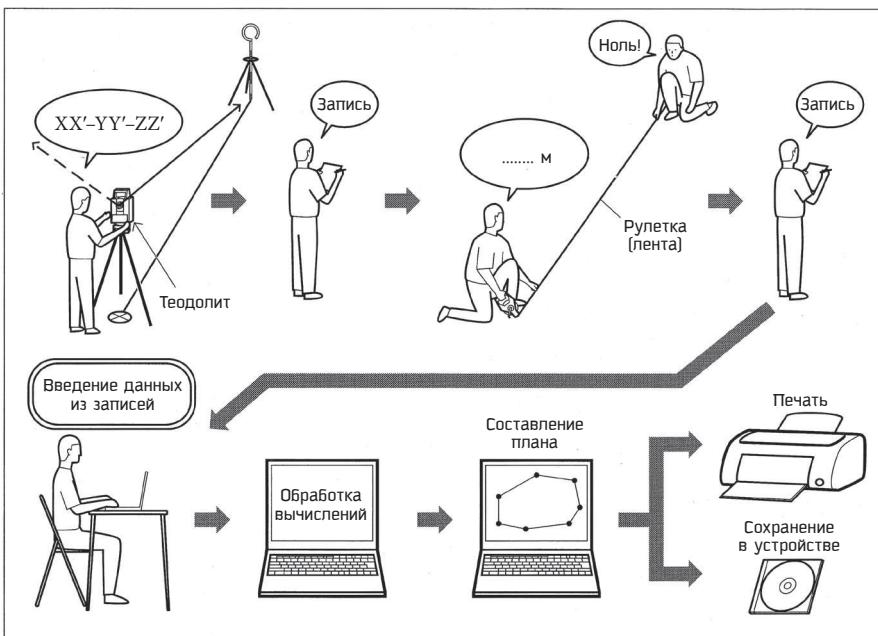


Рис. 3.29. Ход съемки при помощи теодолита

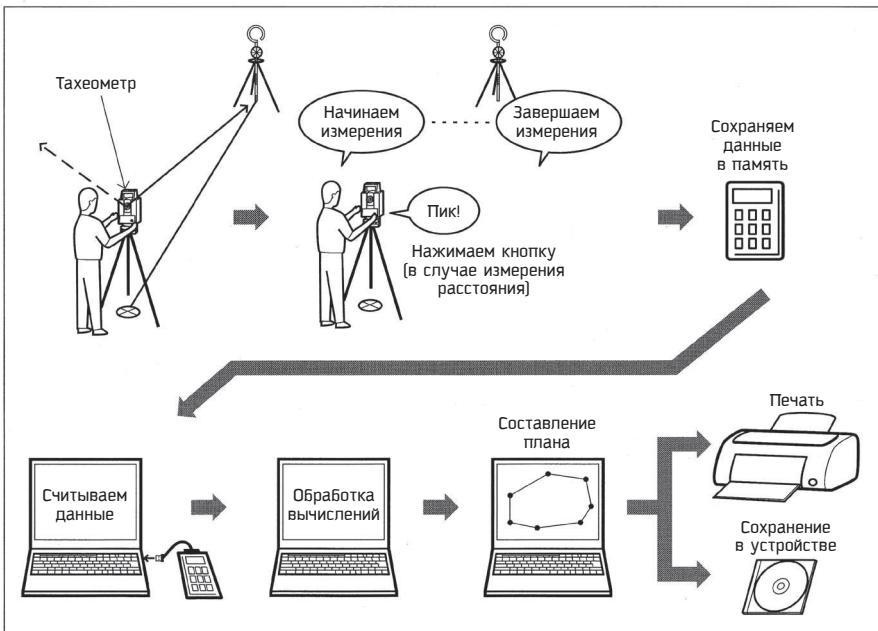


Рис. 3.30. Ход съемки при помощи тахеометра

Разомкнутый ход

Ранее мы лишь вкратце говорили о разомкнутом теодолитном ходе (стр. 90). Поговорим об этом немного подробнее. Предположим, что нам надо проложить разомкнутый ход, используя в качестве опорных пунктов точки, установленные при проложении замкнутого хода в Гостляндии, и проведем вычисления и съемку.

Все необходимые измерения тогда уже были получены в ходе проложения замкнутого хода, однако предположим, что внутри есть непросматриваемая область (заштрихована на рис. 3.31а), и запланируем точки съемки, как показано на рис. 3.31б.

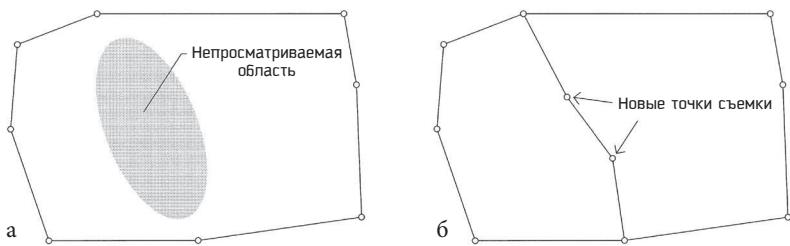


Рис. 3.31. Проведение новой съемки в Гостляндии:
а – планируем новые точки съемки внутри замкнутого хода;
б – прокладываем новый разомкнутый ход

Разомкнутый ход – это ход, который соединяет две уже известные точки съемки (опорные пункты). Как показано на рис. 3.32, точки съемки 4 и 8 после окончания съемок станут опорными пунктами, и будут известны их дирекционные углы и координаты (значения осей x и y). Точки А и В – новые точки разомкнутого хода. Процесс съемки углов (по часовой стрелке) представлен на рис. 3.32 стрелками.

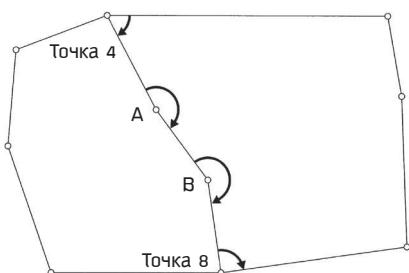


Рис. 3.32. Процесс измерения углов:
съемочная точка 4 – точка А – точка В – точка 8

В данном случае измерение углов проводится в положении КП и КЛ. Полученные в результате значения углов представлены в табл. 3.12, а значения расстояний, длин сторон хода – в табл. 3.13. Эти данные являются результатом съемки разомкнутого хода от точки 4 до точки 8 через точки А и В.

Таблица 3.12. Результаты измерений углов разомкнутого хода

Точка съемка	Значение угла
4	83° 40' 42"
А	137° 10' 42"
В	225° 48' 00"
8	84° 09' 35"

Таблица 3.13. Результаты измерений сторон хода

Сторона хода	Длина стороны хода
4 → А	60,797
А → В	72,728
В → 8	62,815

Увязка значений углов

Пользуясь методом вычисления дирекционных углов, о котором мы говорили в этой книге (см. стр. 128), можем вычислить на основании дирекционного угла точки 4 дирекционный угол точки 8. Поскольку при прокладывании теодолитного хода мы уже вычислили дирекционный угол точки 8, сравним это значение с полученным при прокладывании разомкнутого хода. Если два дирекционных угла отличаются, и эта разница возникает из-за ошибок в измерении, то проведем увязку значений разомкнутого хода, чтобы выровнять эти значения.

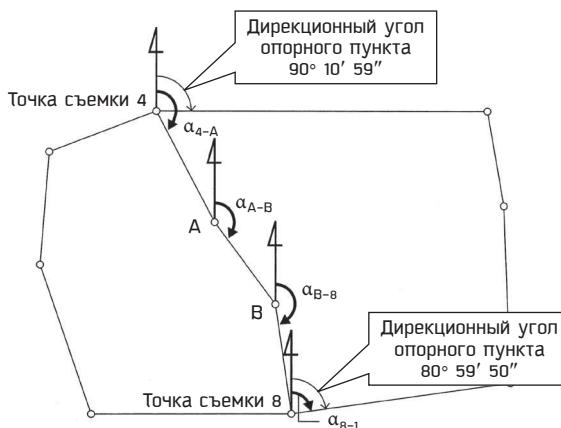


Рис. 3.33. Дирекционные углы всех точек

В результате съемок теодолитного хода мы получили значения дирекционного угла точки 4 – $90^\circ 10' 59''$; дирекционного угла точки 8 – $80^\circ 59' 50''$. А теперь рассчитаем дирекционные значения углов α_{4-A} , α_{A-B} , α_{B-8} , α_{8-1} .

Дирекционный угол α_{4-A} точки 4 = дирекционный угол точки 4 + измеренное значение угла в точке 4

$$\begin{aligned} &= 90^\circ 10' 59'' + 83^\circ 40' 42'' \\ &= 173^\circ 51' 41'' \end{aligned}$$

Дирекционный угол α_{A-B} точки A = α_{4-A} + 180° + измеренное значение угла в точке A

$$\begin{aligned} &= 173^\circ 51' 41'' + 180^\circ + 137^\circ 10' 42'' \\ &= 491^\circ 02' 23'' \\ &= 131^\circ 02' 23'' \end{aligned}$$

Дирекционный угол α_{B-8} точки B = α_{A-B} + 180° + измеренное значение угла в точке B

$$\begin{aligned} &= 131^\circ 02' 23'' + 180^\circ + 225^\circ 48' 00'' \\ &= 536^\circ 50' 23'' \\ &= 176^\circ 50' 23'' \end{aligned}$$

Дирекционный угол α_{8-1} точки 8 = α_{B-8} + 180° + измеренное значение угла в точке 8

$$\begin{aligned} &= 176^\circ 50' 23'' + 180^\circ + 84^\circ 09' 35'' \\ &= 440^\circ 59' 58'' \\ &= 80^\circ 59' 58'' \end{aligned}$$

Невязка $e = \alpha_{8-1}$ – значение дирекционного угла опорного пункта в точке 8

$$\begin{aligned} &= 80^\circ 59' 58'' - 80^\circ 59' 50'' \\ &= 8'' \end{aligned}$$

Значение невязки e в $8''$ мы распределяем по четырем точкам разомкнутого хода, $8/4 = 2''$, и вычитаем ее из измеренных значений угла в каждой точке (табл. 3.14). Такое действие называется увязкой.

После того как мы провели увязку, снова вычисляем значения дирекционных углов. В табл. 3.15 показаны результаты.

Таблица 3.14. Увязка значений измеренных углов на 2"

Точка	Измеренное значение	Значение после увязки
4	$83^\circ 40' 42''$	$83^\circ 40' 40''$
A	$137^\circ 10' 42''$	$137^\circ 10' 40''$
B	$225^\circ 48' 00''$	$225^\circ 47' 58''$
8	$84^\circ 09' 35''$	$84^\circ 09' 33''$

Таблица 3.15. Результаты вычислений дирекционных углов после увязки

Страна хода	Дирекционный угол
4 → 3	90° 10' 59"
4 → А	173° 51' 39"
А → В	131° 02' 19"
В → 8	176° 50' 17"
8 → 1	80° 59' 50"

Для расчета распределения значения невязки можно также пользоваться следующей формулой:

$$e = (\alpha_A + \Sigma\beta) - \alpha_B - 180(n - 1).$$

Здесь α_A – дирекционный угол опорного пункта (точки начала хода); α_B – дирекционный угол опорного пункта (точки конца хода); $\Sigma\beta$ – сумма углов точек хода; n – количество сторон хода.

Приращение абсцисс и ординат, расчет плановых координат

Расчет приращения абсцисс и ординат будет таким же, как и при прокладывании теодолитного хода в Гостляндии (стр. 134). Результаты вычислений приращения абсцисс и ординат приведены в табл. 3.16.

Таблица 3.16. Результаты вычисления приращения абсцисс и ординат

Страна хода	Приращение абсцисс	Приращение ординат
4 → А	-60,448	6,502
А → В	-47,751	54,856
В → 8	-62,719	3,465

Координаты точки 4 были рассчитаны при съемке, проведенной в Гостляндии (стр. 137). Добавляя к плановым координатам точки 4 абсциссы и ординаты точек, можем найти плановые координаты точки 8. Покажем ход вычисления плановых координат.

Плановая абсцисса точки А = плановая абсцисса точки 4 + абсцисса стороны хода 4–А

$$\begin{aligned} &= 452,137 + (-60,448) \\ &= 391,689 \end{aligned}$$

Плановая ордината точки А = плановая ордината точки 4 + ордината стороны хода 4–А

$$\begin{aligned} &= 116,667 + 6,502 \\ &= 123,169 \end{aligned}$$

Плановая абсцисса точки В = плановая абсцисса точки А + абсцисса стороны хода А–В

$$\begin{aligned} &= 391,689 + (-47,751) \\ &= 343,938 \end{aligned}$$

Плановая ордината точки В = плановая ордината точки А + ордината стороны хода А–В

$$\begin{aligned} &= 123,169 + 54,856 \\ &= 178,025 \end{aligned}$$

Плановая абсцисса точки 8 = плановая абсцисса точки В + абсцисса стороны хода В–8

$$\begin{aligned} &= 343,938 + (-62,719) \\ &= 281,219 \end{aligned}$$

Плановая ордината точки А = плановая ордината точки В + ордината стороны хода В–8

$$\begin{aligned} &= 178,025 + 3,465 \\ &= 181,490 \end{aligned}$$

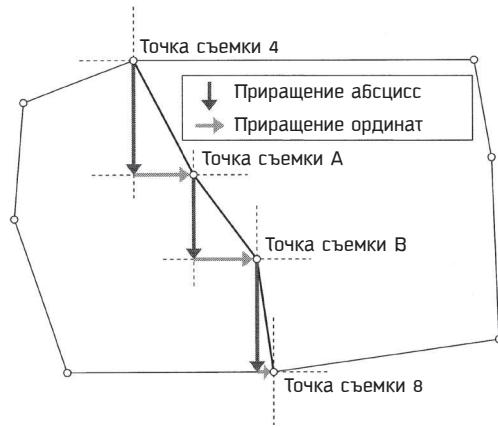


Рис. 3.34. Приращение абсцисс и ординат:
съемочная точка 4 – точка А – точка В – точка 8

Результаты вычисления плановых координат представлены в табл. 3.17.

Таблица 3.17. Результаты вычисления
плановых координат

Точка хода	Плановая абсцисса	Плановая ордината
Точка 4	452,137	116,667
Точка А	391,689	123,169
Точка В	343,938	178,025
Точка 8	281,219	181,490

Вычисление невязки плановых координат и увязка

Значения плановых координат для точки 8, полученные при прокладывании замкнутого хода, составляют 281,222 и 181,142. Теперь мы вычтем их из значений, полученных выше, и получим следующие результаты:

$$\text{невязка абсцисс точки } 8 = 281,222 - 281,219 = 0,003;$$

$$\text{nevязка ординат точки } 8 = 181,482 - 181,490 = -0,008.$$

Следуя способу увязки плановых координат, описанному в разделе «В кабинете у Ольги: исправляем ошибки» (стр. 142), вычислим увязку абсцисс и ординат и результаты приведем в табл. 3.18.

Таблица 3.18. Результаты повторного вычисления приращения абсцисс и ординат

Сторона хода	Увязка приращения абсцисс	Увязка значения ординат
4 → А	-60,447	6,500
А → В	-47,750	54,853
В → 8	-62,718	3,462

Высчитав плановые абсциссы точки 8, получим результат, который внесем в табл. 3.19.

Таблица 3.19. Результаты вычислений плановых абсцисс и ординат

Точка хода	Плановая абсцисса	Плановая ордината
Точка 4	452,137	116,667
Точка А	391,690	123,167
Точка В	343,940	178,020
Точка 8	281,222	181,482

Теперь ясно, что плановые координаты точки 8 совпадают с плановыми координатами, вычисленными при прокладывании замкнутого хода. И можно завершить увязку значений планового хода.

Составление плана

Когда мы добавим к замкнутому ходу, который был проложен ранее, незамкнутый ход, то получим рис. 3.35. Окружность в центре ограничивает точки А и В, новые точки хода.

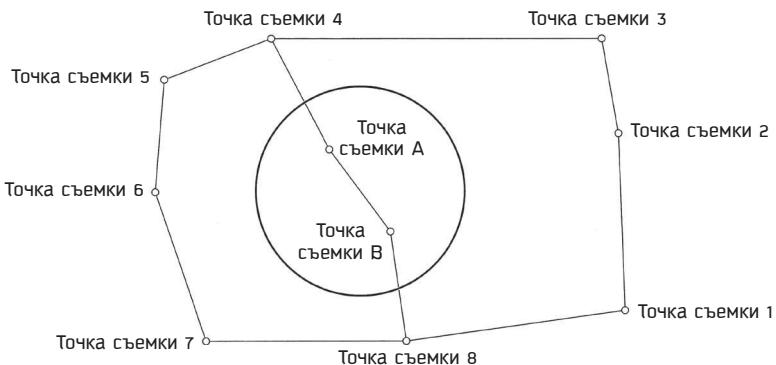
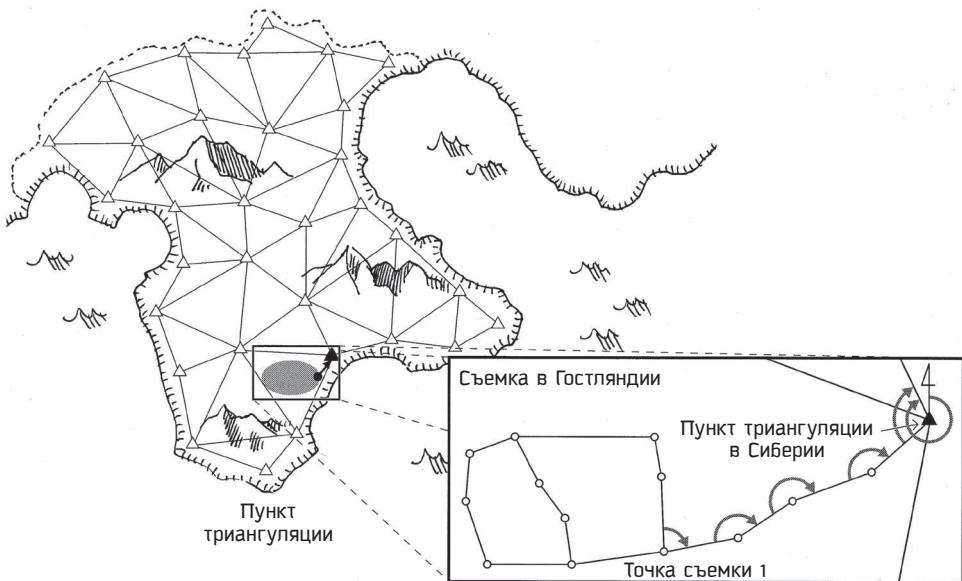


Рис. 3.35. Пример разомкнутого хода

Привязка координат к пунктам триангуляции

В настоящей книге в качестве координат точки 1 (плановой абсциссы, плановой ординаты) при построении замкнутого хода мы выбрали (300,000; 300,000) (табл. 3.20). Однако эти значения на практике применяются только при создании плана теодолитной съемки, и эти координаты никак не относятся, например, к тем, которые используются для измерения во всем королевстве Сибиря. В случае если вести работы в пределах участка измерения теодолитного хода и при отсутствии необходимости в привязке координат ко всему королевству Сибиря, значение координат точки А можно оставить таким же (300,000; 300,000), но если надо начертить более подробную карту Сибирии, то необходимо прояснить отношение измеряемых координат к координатам пункта триангуляции в Сибирии.

Для этого прокладывают висячий ход от ближайшего пункта триангуляции до точки 1 участка, на котором ведется замкнутая съемка (рис. 3.36). То есть появляется висячий ход, который соединяет два опорных пункта, и в соответствии с процедурой съемки, изложенной выше (стр. 88), можно выразить координаты точки съемки 1 через координаты пункта триангуляции (табл. 3.21).



*Рис. 3.36. Висячий теодолитный ход
для привязки к координатам пункта триангуляции*

Когда мы привязали координаты точки съемки 1 к координатам пункта триангуляции, то координаты других точек съемки (от 2 до 8) можно вычислить путем приращений абсцисс и ординат. Например, как показано на рис. 3.36, когда мы проложили висячий ход от самого близкого пункта триангуляции до точки съемки 1 и узнали, что после привязки координаты точки съемки 1 такие: ($x : 32\,156,233$, $y : 6856,564$), – то, зная приращения абсцисс и ординат замкнутого хода (табл. 3.20), мы можем найти координаты всех точек съемки, что показано в табл. 3.21.

*Таблица 3.20. Плановые приращения абсцисс и ординат
(на участке съемки)*

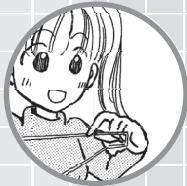
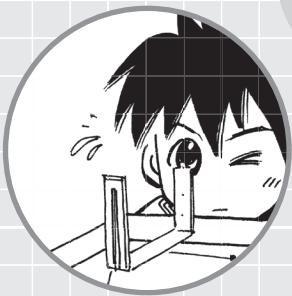
Точка съемки	Плановые приращения абсцисс (координата x)	Плановые приращения ординат (координата y)
1	300,000	300,000
2	384,232	297,475
3	451,594	286,176
4	452,137	116,667
5	452,104	51,418
6	363,139	48,317
7	280,515	75,842
8	281,222	181,482

*Таблица 3.21. Плановые приращения абсцисс и ординат
(в системе пункта триангуляции)*

Точка съемки	Плановые приращения абсцисс (координата x)	Плановые приращения ординат (координата y)
1	32 156,233	6856,564
2	32 240,465	6854,039
3	32 307,827	6842,740
4	32 308,370	6673,231
5	32 281,337	6607,982
6	32 219,372	6604,881
7	32 136,748	6632,406
8	32 137,455	6738,046

ГЛАВА 4

МЕНЗУЛЬНАЯ СЪЕМКА



4.1. ЧТО ТАКОЕ МЕНЗУЛЬНАЯ СЪЕМКА



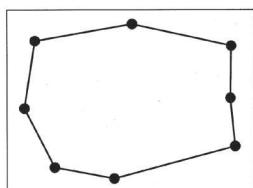


Цель мензульной съемки

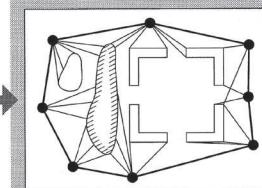
СЕГОДНЯ МЫ БУДЕМ СОСТАВЛЯТЬ ПЛАН МЕСТНОСТИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ БОЛЕЕ ПОДРОБНОЙ СЪЕМКИ С УЧЕТОМ РЕЛЬЕФА И ОБЪЕКТОВ (КАМНЕЙ, ДЕРЕВЬЯВ, СТРОЕНИЙ) НА УЧАСТКЕ, ГДЕ МЫ ПРОВОДИЛИ ТЕОДОЛИТНУЮ СЪЕМКУ. ЭТУ СЪЕМКУ МЫ БУДЕМ ДЕЛАТЬ НА ОСНОВАНИИ ТОЧЕК, КОТОРЫЕ ВЫБРАЛИ ПРИ ПРОКЛАДЫВАНИИ ТЕОДОЛИТНОГО ХОДА.

ЭТО НАЗЫВАЕТСЯ СЪЕМКОЙ ПОДРОБНОСТЕЙ.

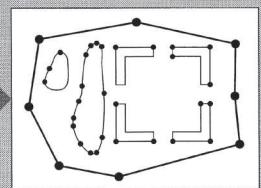
Мензульная съемка



Теодолитная съемка



Съемка подробностей



Создание плана



МЫ БУДЕМ ДЕЛАТЬ НАБРОСОК?

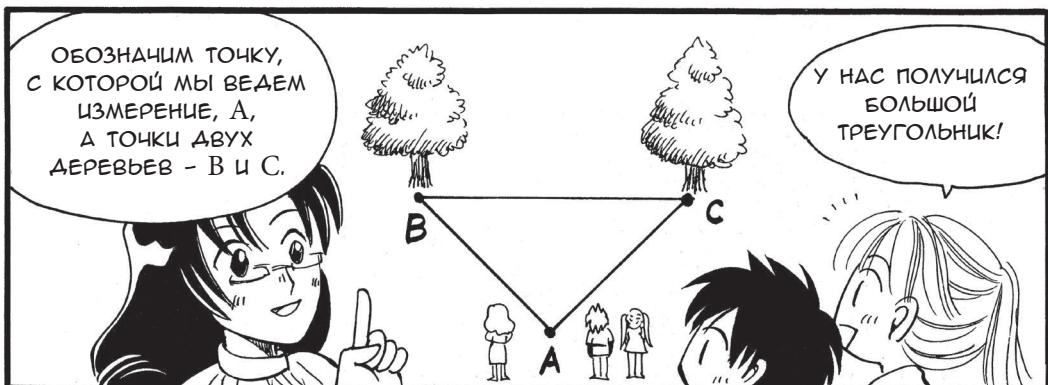
НЕТ, НЕ БУДЕМ.
ВМЕСТО ЭТОГО МЫ ПРОВЕДЕМ НАЗЕМНУЮ СЪЕМКУ С КАЖДОЙ ТОЧКИ И СОСТАВИМ ПЛАН В УМЕНЬШЕННОМ МАСШТАБЕ.

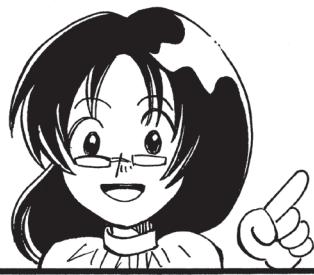
Погоди, пока я все учери

СЪЕМКА, ПРИ КОТОРОЙ ДЕЛАЮТ ПЛАН В УМЕНЬШЕННОМ МАСШТАБЕ С ОБЪЕКТАМИ И ИЗМЕНЕНИЯМИ РЕЛЬЕФА ВОКРУГ ТОЧЕК СЪЕМКИ, НАЗЫВАЕТСЯ МЕНЗУЛЬНОЙ.

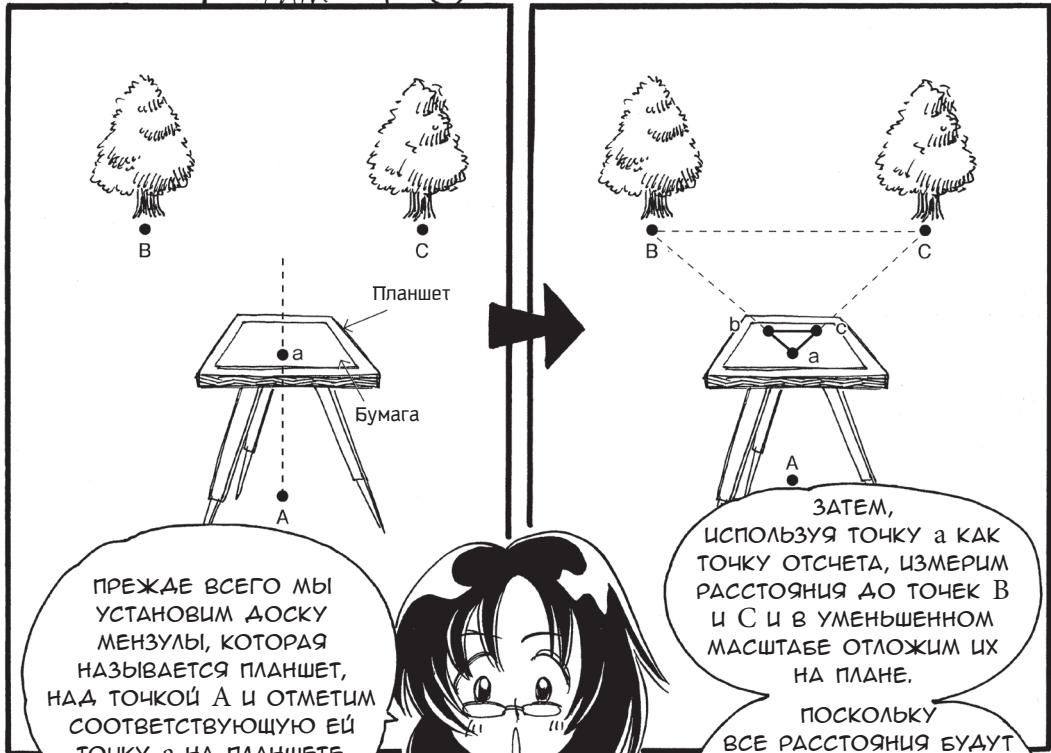


Принципы мензульной съемки





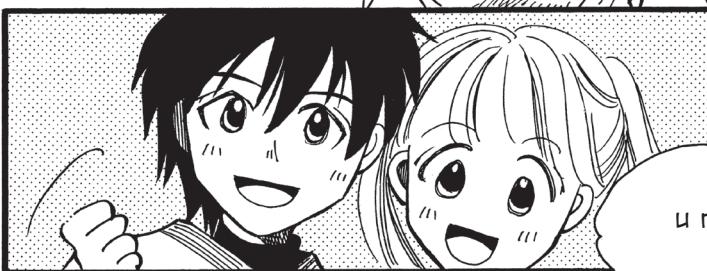
ПРИ МЕНЗУЛЬНОЙ СЪЕМКЕ МЫ ВОСПРОИЗВЕДЕМ ЭТУ ТРЕУГОЛЬНИК В УМЕНЬШЕННОМ МАСШТАБЕ НА ПЛАНШЕТЕ.



ПРЕЖДЕ ВСЕГО МЫ УСТАНОВИМ ДОСКУ МЕНЗУЛЫ, КОТОРАЯ НАЗЫВАЕТСЯ ПЛАНШЕТ, НАД ТОЧКОЙ А И ОТМЕТИМ СООТВЕТСТВУЮЩУЮ ЕЙ ТОЧКУ а НА ПЛАНШЕТЕ.

ЗАТЕМ, ИСПОЛЬЗУЯ ТОЧКУ а КАК ТОЧКУ ОТСЧЕТА, ИЗМЕРИМ РАССТОЯНИЯ ДО ТОЧЕК В И С И В УМЕНЬШЕННОМ МАСШТАБЕ ОЛОЖИМ ИХ НА ПЛАНЕ.

ПОСКОЛЬКУ ВСЕ РАССТОЯНИЯ БУДУТ ПРОПОРЦИОНАЛЬНО УМЕНЬШЕНЫ, ТО МЫ СМОЖЕМ ВОСПРОИЗВЕСТИ СООТНОШЕНИЯ МЕЖДУ ТОЧКАМИ НА ПЛАНЕ В УМЕНЬШЕННОМ МАСШТАБЕ.



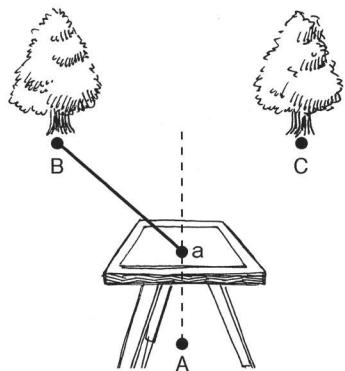
И ПРАВДА!

4.1. ЧТО ТАКОЕ МЕНЗУЛЬНАЯ СЪЕМКА



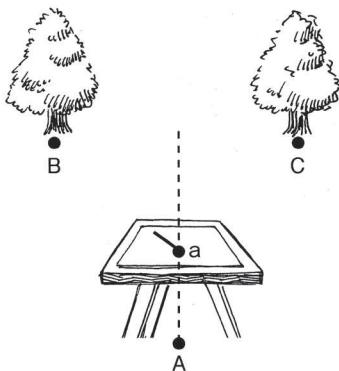
А теперь попробуем применить это на практике. Измерим расстояние до деревьев и нарисуем план в масштабе 1:100.

Шаг 1



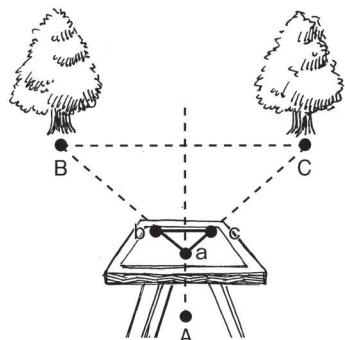
Визираем с точки А точку В. Длина линии АВ, которая соединяет точки А и В, – 15 метров

Шаг 2



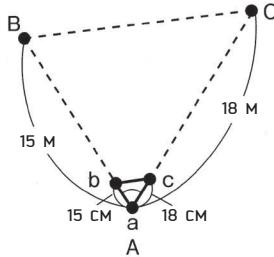
Линия АВ – 15 метров. В масштабе 1:100 длина линии АВ составит 15 сантиметров, отложим ее на планшете

Шаг 3



Таким же образом измерим расстояние между точками А и С, линия АС составляет 18 метров. Отложим это расстояние в уменьшенном масштабе на планшете, оно составит 18 см

Подобие



А теперь докажем подобие этих треугольников:

- 1) углы треугольников abc и ABC одинаковы;
- 2) отношения двух сторон треугольника abc к соответствующим сторонам треугольника ABC равны.

Следовательно, треугольники abc и ABC подобны

Рис. 4.1. Принципы мензульной съемки

4.2. ИНСТРУМЕНТЫ МЕНЗУЛЬНОЙ СЪЕМКИ

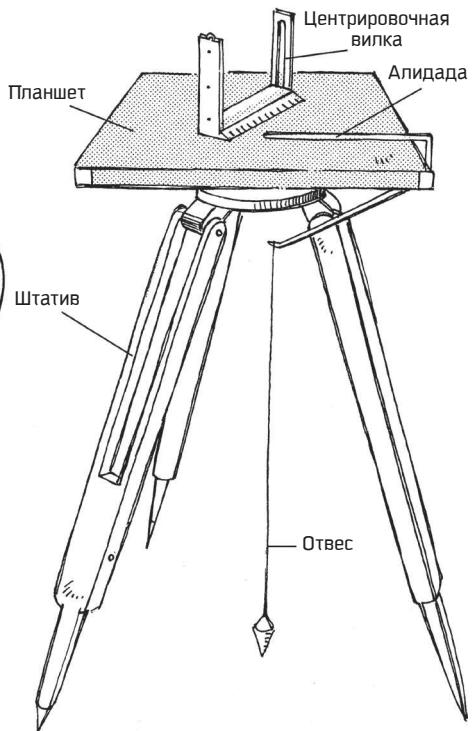


ЧАК,
ПОГОВОРИМ
ОБ ИНСТРУМЕНТАХ
МЕНЗУЛЬНОЙ
СЪЕМКИ.

РАССМОТРИМ
ИХ ПО
ОТДЕЛЬНОСТИ.



Устройства для мензульной съемки



Планшет



Планшетом называется доска для чертежа планов съемки. Его закрепляют на штативе и прикрепляют к нему бумагу для черчения.



Планшет похож на обычную доску, почему его так называют?



Кажется, что планшет ничем не отличается от обычной доски, но это особая доска с ровной плоской поверхностью, чтобы на ней можно было точно чертить планы.

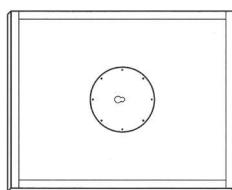
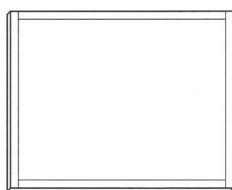


Рис. 4.2. Наружная (слева) и задняя (справа) стороны планшета

Штатив



Далее – **штатив**, на котором устанавливается планшет.

Обратите внимание на регулировочный винт. Настраивая его, можно расположить планшет в горизонтальной плоскости. Он крутится так же, как и винты теодолита.

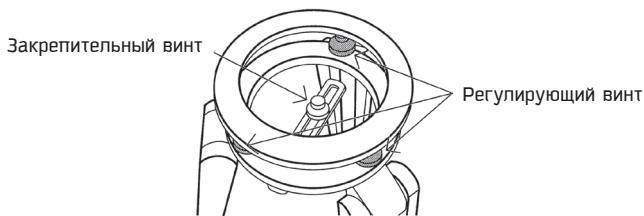


Рис. 4.3. Штатив

Алидада [с диоптрами]



Это **алидада** с диоптрами, устройство для отображения длины расстояния от точки съемки до объекта.

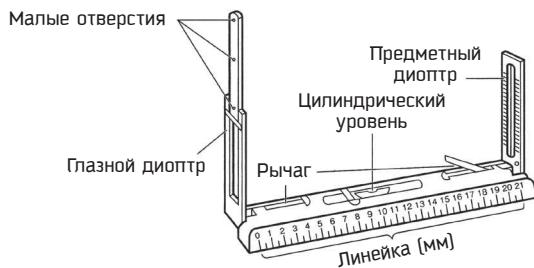


Рис. 4.4. Алидада



Глядя через малое отверстие глазного диоптра, совмещают нитку в предметном диоптре с объектом, съемка которого ведется. Затем по линейке алидады проводят линию направления до измеряемого объекта. Если визируемыхый объект находится выше по отношению к планшету, то на него смотрят из нижнего отверстия, а если ниже – то из верхнего, или же можно выдвинуть пластиинку глазного диоптра. Кроме того, можно менять линейку алидады в зависимости от требуемого масштаба.

Отвес и центрировочная вилка



Отвес и центрировочная вилка служат для того, чтобы расположить планшет горизонтально точно над точкой на поверхности земли.



Как и у теодолита.



Да, как и при центрировании. Позже я объясню, как пользоваться центрировочной вилкой и отвесом, а пока лишь запомните их названия.



Хорошо!

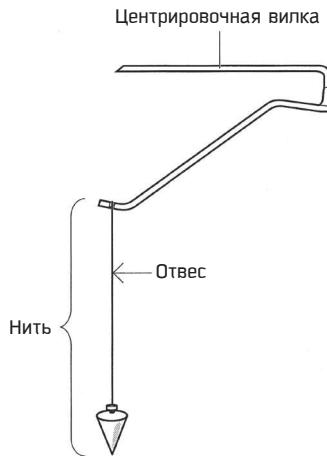


Рис. 4.5. Отвес и центрировочная вилка

4.3. ПОВЕРКА МЕНЗУЛЬНОГО СТОЛИКА



Этап 1. Горизонтизование

СНАЧАЛА РАСПОЛОЖИМ ПЛАНШЕТ ГОРИЗОНТАЛЬНО.

К АЛИДДЕ ПРИКРЕПЛЕН УРОВЕНЬ.

Здесь!

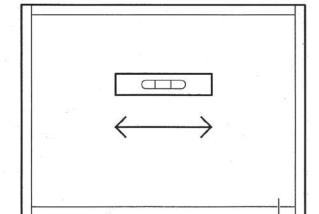
ГЛЯДЯ НА ПУЗЫРЁК, МЫ МОЖЕМ УЗНАТЬ, РАСПОЛОЖЕН ПЛАНШЕТ В ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ ИЛИ НЕТ.

НО ДЛЯ ГОРИЗОНТИРОВАНИЯ ОДНОГО ПУЗЫРЬКА НЕДОСТАТОЧНО.

ПОЭТОМУ НАДО ВЫСТАВЛЯТЬ АЛИДДУ И В ВЕРТИКАЛЬНОМ, И В ГОРИЗОНТАЛЬНОМ ПОЛОЖЕНИЯХ...

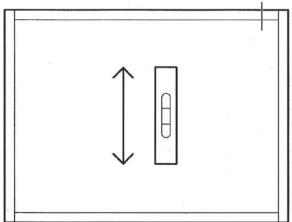
...И ОТРЕГУЛИРОВАТЬ ВИНТЫ ТРЕНОГИ ТАК, ЧТОБЫ ПУЗЫРЁК НАХОДИЛСЯ ЧЕТКО ПОСЕРЕДИНЕ.

ТАК ТОЧНО!



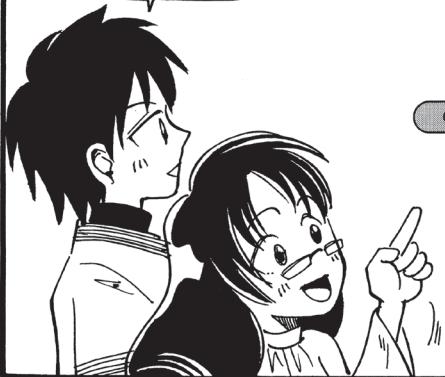
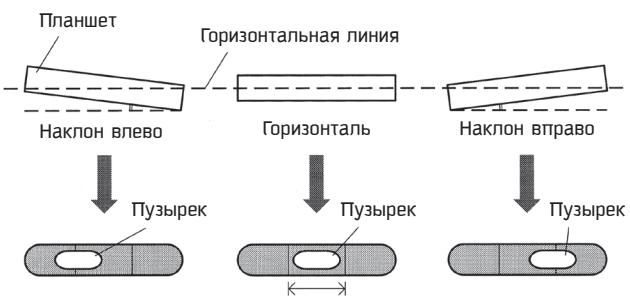
Ставим алидаду горизонтально

Планшет



Ставим алидаду вертикально

КОГДА МЫ НАКЛОНЯЕМ УРОВЕНЬ ВЛЕВО, ПУЗЫРЕК САВИГАЕТСЯ ВПРАВО, А КОГДА НАКЛОНЯЕМ ВПРАВО, ТО ОН САВИГАЕТСЯ ВЛЕВО.

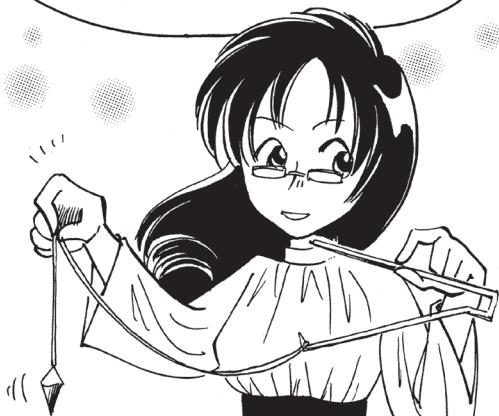


КОГДА ПУЗЫРЕК НАХОДИТСЯ СТРОГО МЕЖДУ ДВУМЯ ЛИНИЯМИ - ЭТО И ЕСТЬ НУЖНАЯ НАМ ПЛОСКОСТЬ!

Этап 2. Центрирование

КОГДА МЫ УСТАНОВИЛИ ПЛАНШЕТ ГОРИЗОНТАЛЬНО...

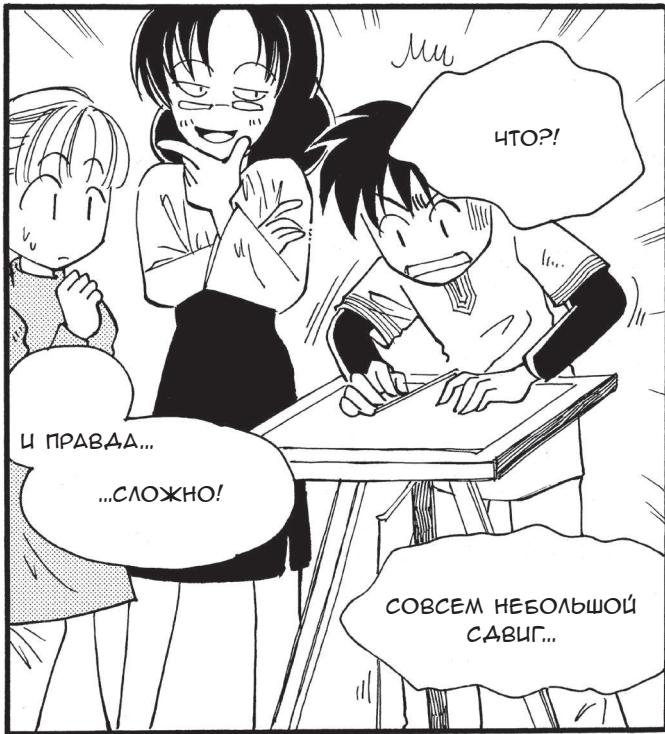
...ТО ИСПОЛЬЗУЕМ ОТВЕС И ЦЕНТРИРОВАННУЮ ВИЛКУ, ЧТОБЫ СОВМЕСТИТЬ ЦЕНТР ПЛАНШЕТА НАД ТОЧКОЙ НА ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ.



СОВМЕСТИМ ЦЕНТР КОЛЫШКА, КОТОРЫЙ ВБИТ В СЪЕМОЧНУЮ ТОЧКУ, И ПОЛОЖЕНИЕ ТОЧКИ 1 НА ПЛАНЕ.



КАЖЕТСЯ,
Я СМОГ!





Расчет поправки на центрирование



Как ни выравнивай отвес точно по точке измерения (центру колышка), всегда возникнет небольшая ошибка (ошибка центрирования, рис. 4.6). Допустимая величина ошибки центрирования e вычисляется по следующей формуле:

$$e = \frac{q \times m}{2},$$

где q – ошибка на карте из-за толщины стержня карандаша, которым проводят линии (0,2 мм); m – величина, зависящая от масштаба чертежа на планшете (если масштаб 1:100, то m равно 100).



Допустим, у нас масштаб 1 к 100, а поправка толщины стержня 0,2 мм, получаем:

$$e = \frac{0,2 \times 100}{2} = 10 \text{ мм.}$$

Величина допустимой ошибки центрирования составляет 10 мм, т. е. можно допустить зазор в 10 мм.

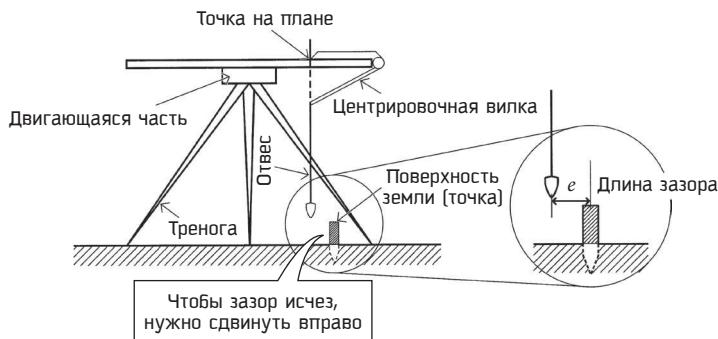
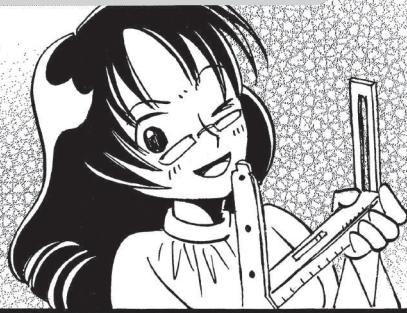


Рис. 4.6. Поправка на центрирование

Этап 3. Ориентирование



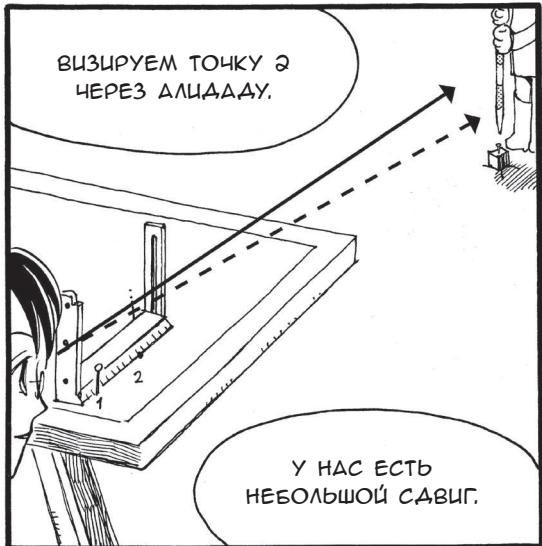
ПОСЛЕДНИЙ ЭТАП –
ОРИЕНТИРОВАНИЕ
НА МЕСТОНСТЫ.

ОРИЕНТИРОВАНИЕ ПРОВОДИТСЯ
ПУТЕМ СОВМЕЩЕНИЯ ЛИНИЙ
НАПРАВЛЕНИЯ ПЛАНШЕТА
С ЛИНИЯМИ СТОРОН ХОДА
НА ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ.

ДЛЯ НАЧАЛА
ОРИЕНТИРУЮТ АЛДАДУ
ПО СТОРОНЕ ХОДА 1-2.



ВИЗИРУЕМ ТОЧКУ 2
ЧЕРЕЗ АЛДАДУ.

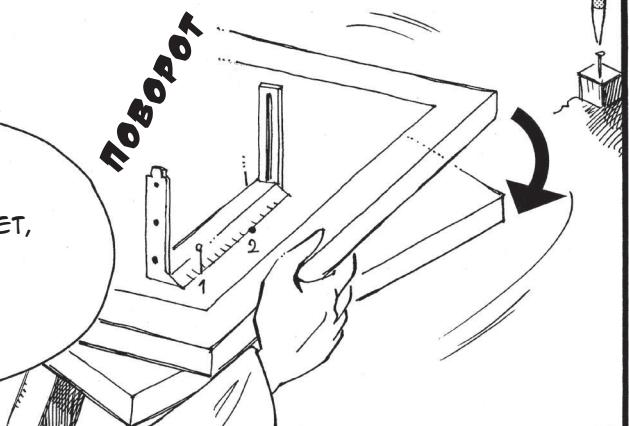


У НАС ЕСТЬ
НЕБОЛЬШОЙ САВИГ.

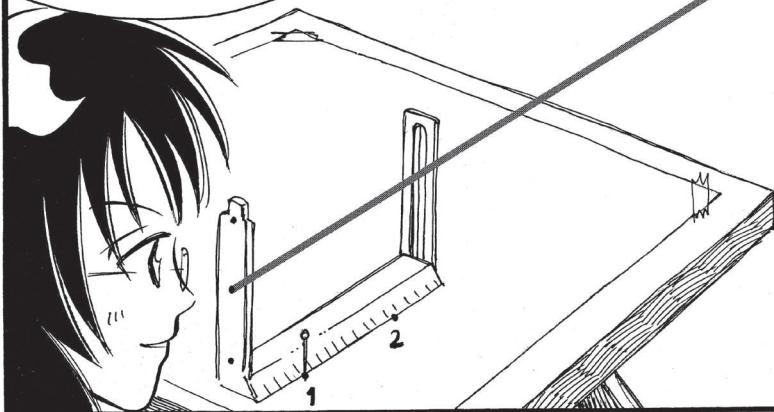
ЧТОБЫ
СОВМЕСТИТЬ СТОРОНУ
ХОДА НА ПЛАНШЕТЕ СО
СТОРОНОЙ ХОДА
НА ЗЕМЛЕ...

...ПОВОРАЧИВАЕМ ПЛАНШЕТ,
НЕ ДВИГАЯ АЛДАДУ
И НЕ ОТКЛОНИЯСЬ
ОТ ЦЕНТРА.

ПОВОРОТ



СМОТРИ ЧЕРЕЗ АЛДАДУ,
ФИКСИРУЕМ ЕЕ ТАК,
ЧТОБЫ СТОРОНА ХОДА 1-2
СОВПАДАЛА С ТОЧКАМИ 1-2
НА ПЛАНЕ.



ТЕПЕРЬ
ОРИЕНТИРОВАНИЕ
ОКОНЧЕНО!



Ч.Ч. СЪЕМКА ПОДРОБНОСТЕЙ НА ПРАКТИКЕ

Полярный способ

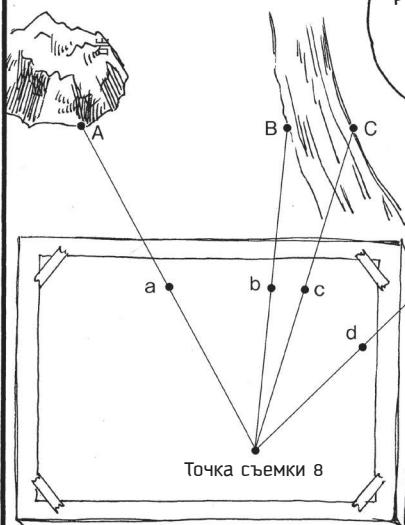
ПОСЛЕ ТОГО
КАК МЫ ЗАКОНЧИЛИ ПОВЕРКУ,
НАЧНЕМ СОСТАВЛЯТЬ ПЛАН.

ПРИ ДЕТАЛЬНОЙ СЪЕМКЕ
МЫ ВЕДЕМ ИЗМЕРЕНИЕ
ПОЛЯРНЫМ СПОСОБОМ.

ЭТО КАК?

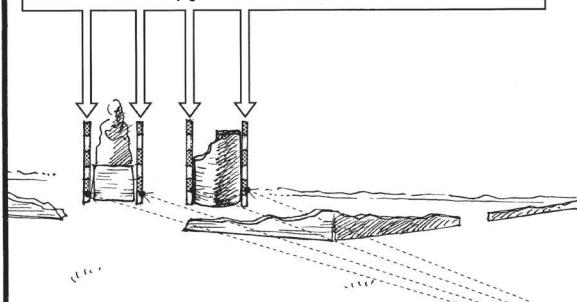
ОТ ТОЧКИ ИЗМЕРЕНИЯ
МЫ НАПРАВЛЯЕМ АЛДАДУ
В НАПРАВЛЕНИИ ОБЪЕКТА ИЗМЕРЕНИЯ
И ПРОЧЕРЧИВАЕМ ЛИНИЮ.

ЗАТЕМ ИЗМЕРЯЕМ
РАССТОЯНИЕ ДО ОБЪЕКТА
И ОТКЛАДЫВАЕМ ЕГО
В МАСШТАБЕ
НА ПОВЕРХНОСТИ
ПЛАНА.



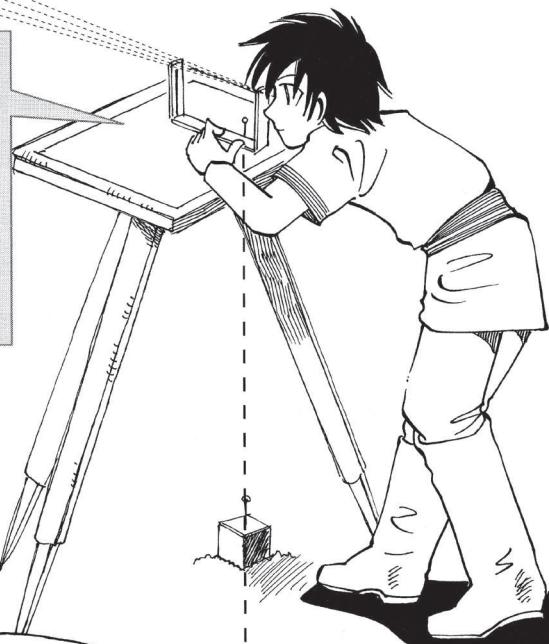
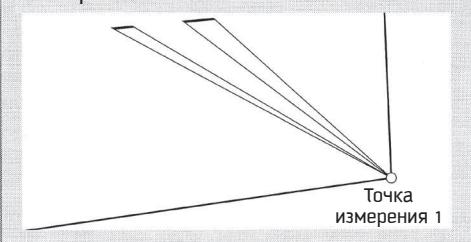
В ЭТОМ СЛУЧАЕ
ВСЕ РАССТОЯНИЯ ДО
ОКРУЖАЮЩИХ ОБЪЕКТОВ
ИЗМЕРЯЮТСЯ ПОЛЯРНО
(ОТ НАЧАЛА КООРДИНАТ –
ПОЛЮСА), ПОЭТОМУ
СПОСОБ НАЗЫВАЕТСЯ
ПОЛЯРНЫМ.

Измеряем расстояние до ближайшей точки на поверхности земли. Если угол здания вертикален, визираем его. Если здание пирамидальной формы, то устанавливаем на поверхности земли шесты на границе с ним и визираем эти шесты.

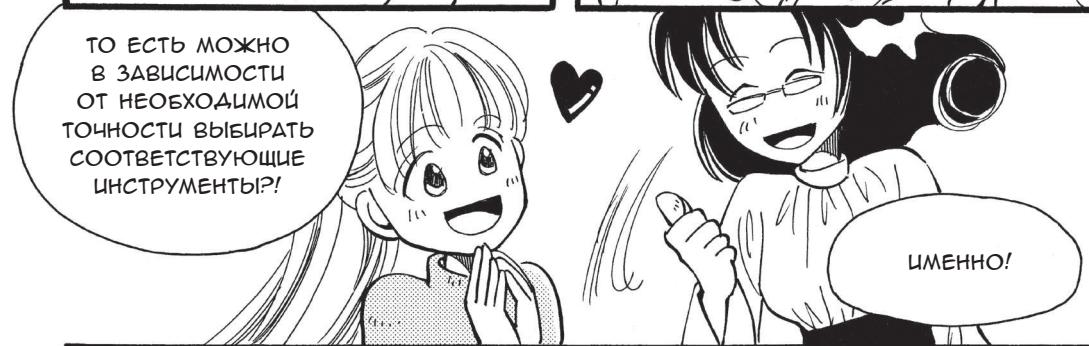


- ① Визираем измеряемые точки из точки измерения
- ② Проводим линию от точки в этом направлении
- ③ Измеряем расстояние и в масштабе чертим ее на плане

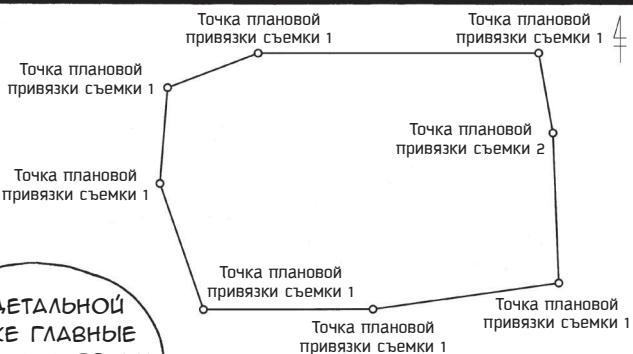
- ④ Соединяя точки на планшете прямой линией

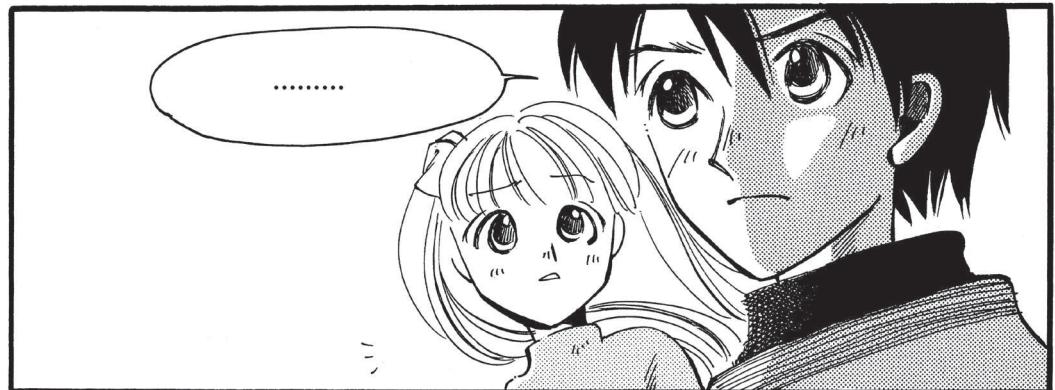
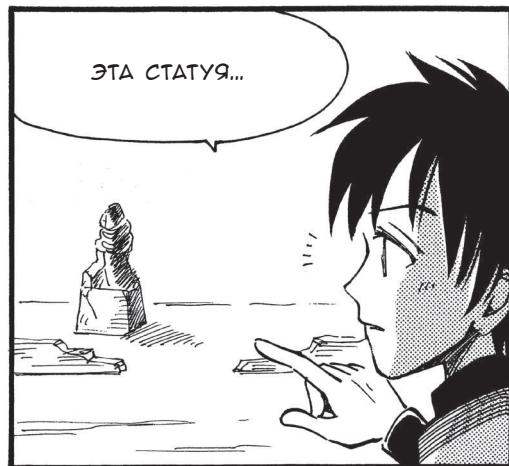


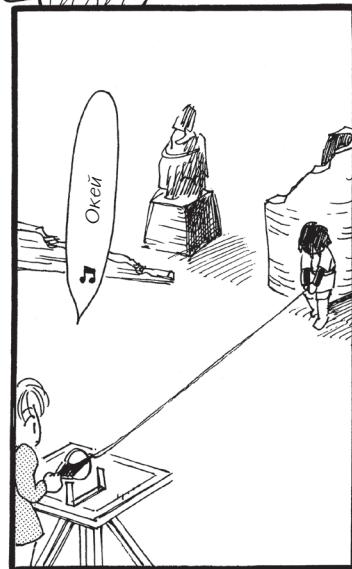
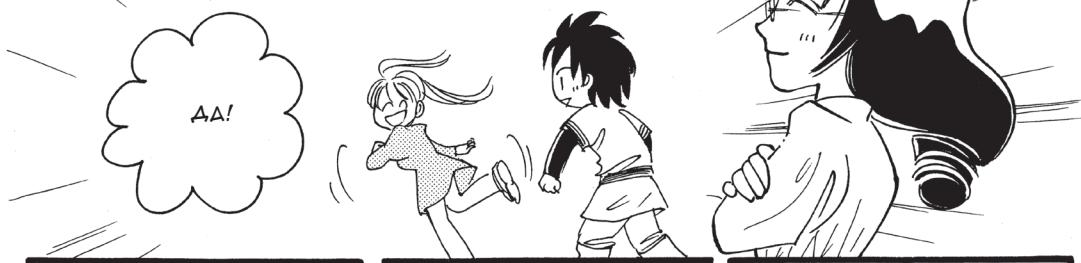
СОЕДИНЯЕМ
СООТВЕТСТВУЮЩИЕ ТОЧКИ
НА ПЛАНЕ ПОСЛЕ ТОГО,
КАК ВСЕ ТОЧКИ ОБЪЕКТА
БУДУТ ОБОЗНАЧЕНЫ.



Практика съемки подробностей









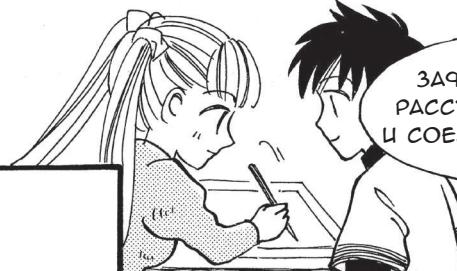
ОТСЮДА ДО СТАТУИ
20 МЕТРОВ...

20 МЕТРОВ -
ЭТО 2000 СМ.

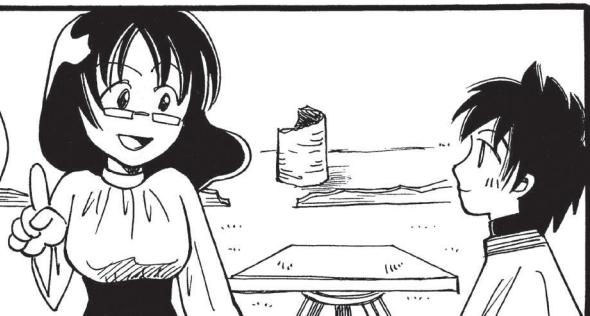
ПРИ МАСШТАБЕ 1 К 500 -
4 СМ.

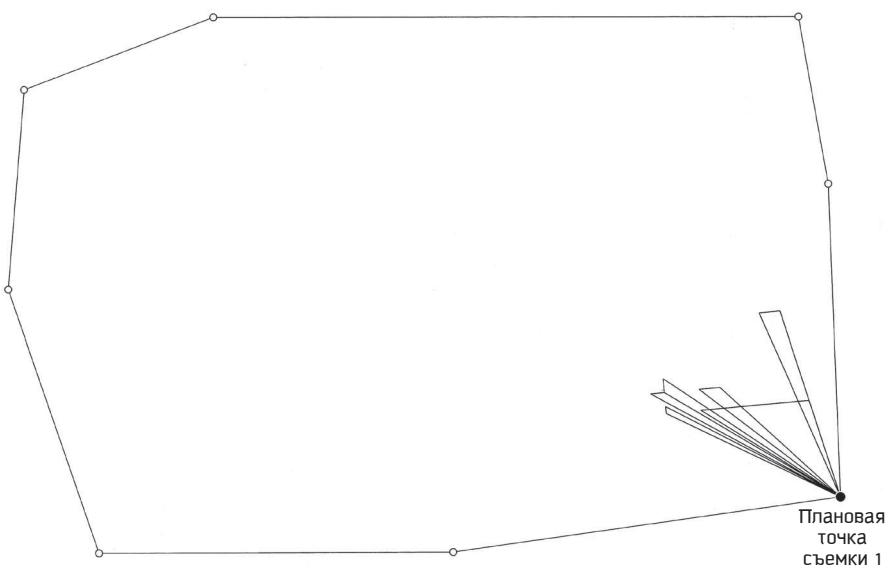
2

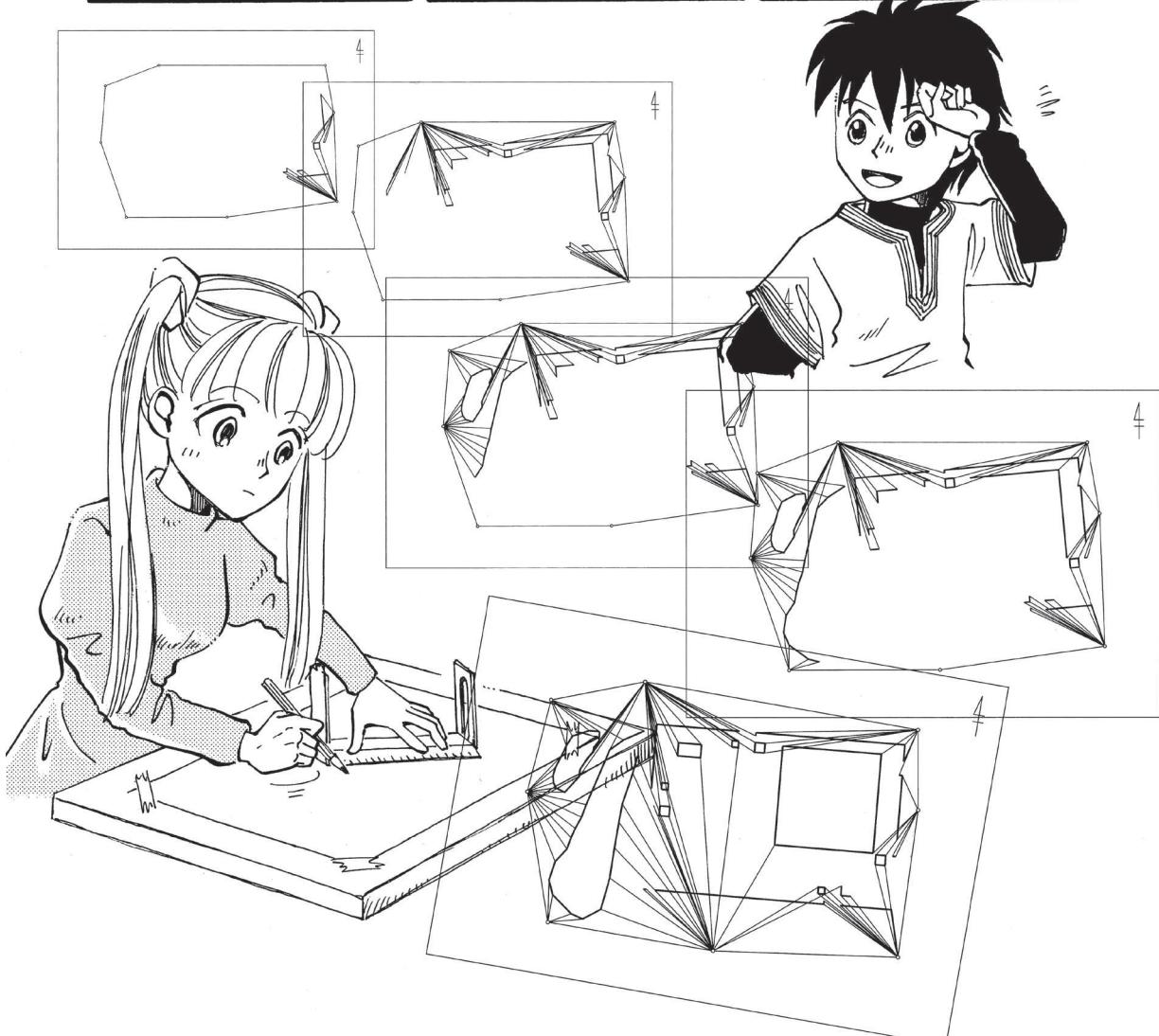
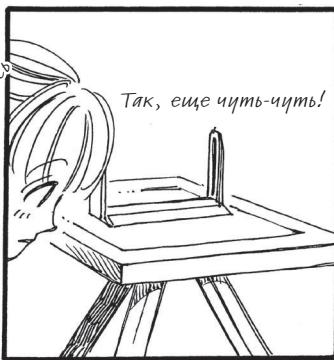
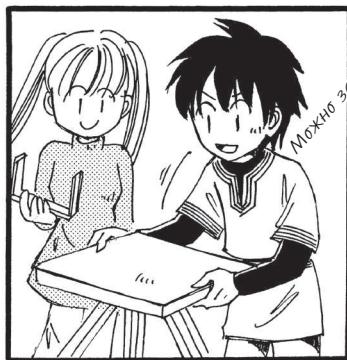
ЗАФИКСИРУЕМ ЭТО
РАССТОЯНИЕ НА КАРТЕ
И СОЕДИНIM ВСЕ ТОЧКИ.



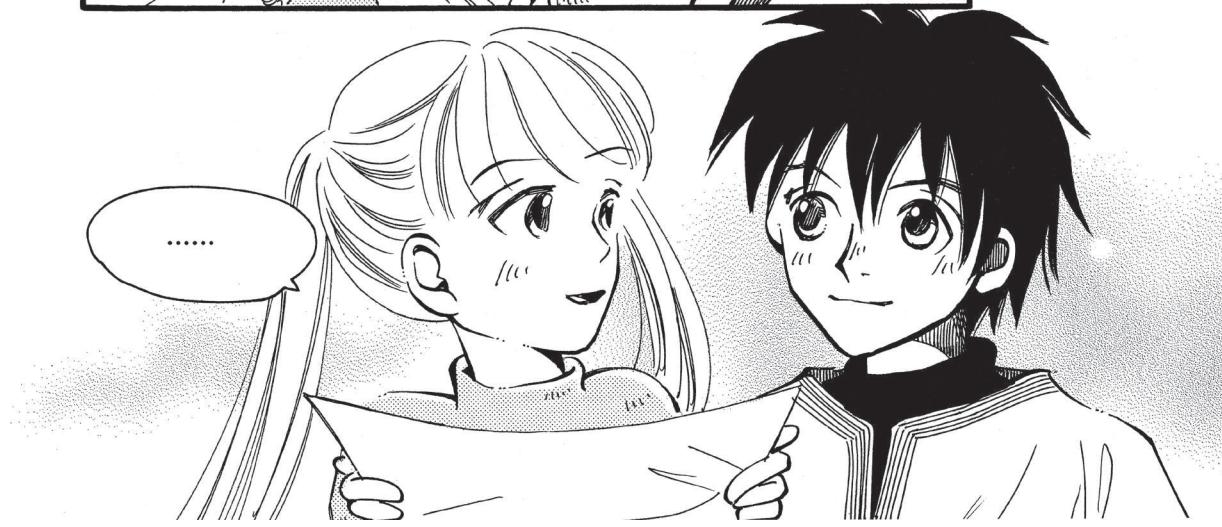
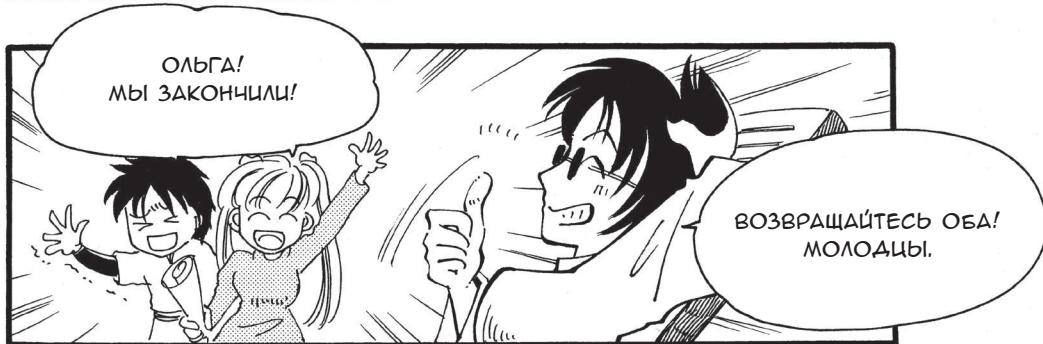
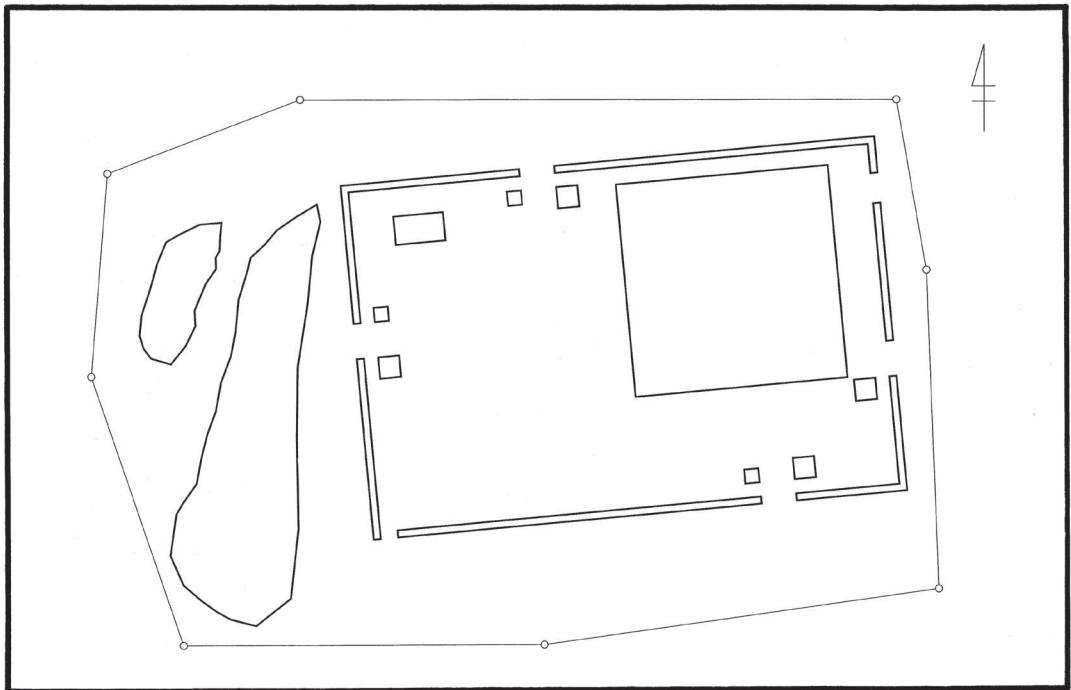
А ТЕПЕРЬ ТАК ЖЕ ИЗМЕРИМ
РАССТОЯНИЕ ОТ ТОЧКИ
ПЛАНОВОЙ СЪЕМКИ 1
ДО ДРУГИХ ПРЕДМЕТОВ!







4





В КАБИНЕТЕ У ОЛЬГИ: ИСПРАВЛЯЕМ ОШИБКИ

Что делать с ошибками при мензульной съемке?



В отличие от других видов съемки, **при мензульной съемке нет необходимости вводить поправки.**



Что? Почему?



Мензульная съемка очень простая, все отражается так, как видится. Поэтому по сравнению с другими видами съемки ошибки точности находятся в ожидаемых пределах.



Поэтому и высокая точность не понадобится.



Однако у нас в стране есть правило, что *ошибки на плане должны быть в пределах 0,2 мм.* Карандашом можно изобразить линии от 0,2 мм. Поэтому если ошибка в пределах 0,2 мм, то возникшие невязки не станут большой проблемой.



0,2 мм... Много это или мало, представить сложно.



Ну, при 0,2 мм на плане могут возникать довольно большие невязки. Например, если масштаб 1:1000, невязка может составлять 20 см, а при масштабе 1:10 000 – 2 м. При других способах съемки такое немыслимо (рис. 4.7).

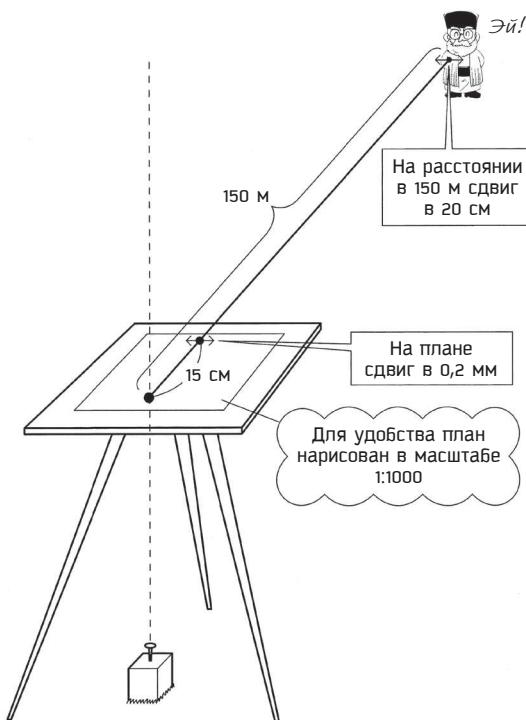


Рис. 4.7. Невязки при мензульной съемке



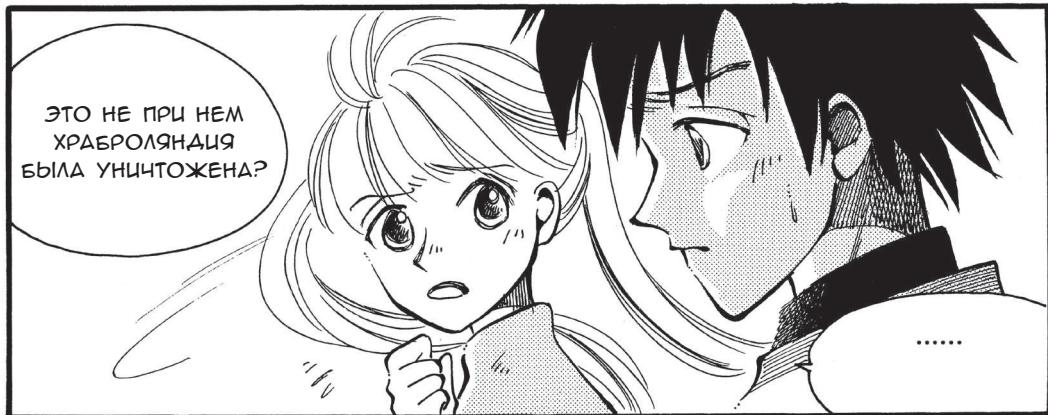
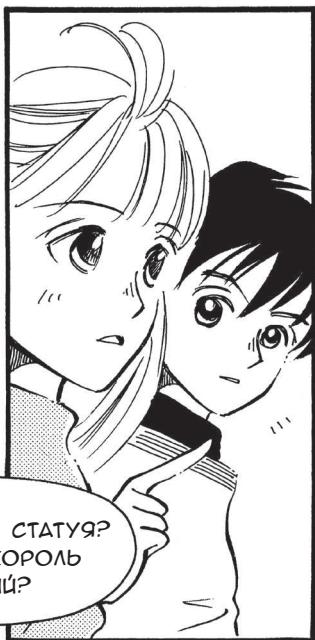
То есть это все очень просто!



Да, однако, зная, что с самого начала могут возникнуть ошибки, нельзя работать на авось.



Точно!





ПОДВЕДЕМ ИТОГИ

Виды мензульной (плановой) съемки: контурная съемка и съемка подробностей

Мензульная съемка, как показано на рис. 4.8, делится на съемку подробностей и контурную съемку. В этой книге речь шла о плановой съемке подробностей Гостляндии способом полярных координат. А теперь познакомимся с контурной съемкой.

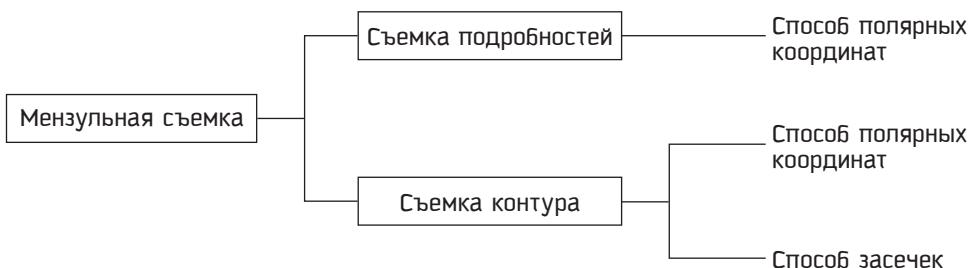


Рис. 4.8. Классификация мензульной съемки

При плановой съемке Гостляндии использовались нанесенные на план точки съемки (называемые точками плановой привязки съемки), которые мы нашли, когда прокладывали теодолитный ход (глава 3). Таким образом, мензульная съемка проводится так: заранее определенные при прокладывании теодолитного хода точки становятся точками плановой привязки съемки, затем выбирается нужный для плана масштаб и ведется съемка подробностей.

Однако если точек плановой привязки съемки нет и мензульная съемка ведется начисто, то сначала необходимо проложить эти точки на плане. Такой вид съемки называется контурной съемкой. При контурной съемке положение точек определяется, исходя из того, что детальная съемка будет вестись в радиусе 50 метров. Способов нанесения этих точек на схему два: **способ полярных координат** и **способ засечек**.

Способ полярных координат

Способ полярных координат заключается в следующем. Планшет располагают так, чтобы все будущие точки плановой привязки съемки были обозримы. Расстояния и линии направления до других точек измеряются относительно точки, называемой полюсом. Контурная съемка при помощи этого способа ведется так:

- 1) планшет устанавливается на точке О, с которой будут обозримы точки плановой привязки съемки. Затем визируется точка А (рейка А), и на планшете проводится линия от точки О до точки А. Потом рулеткой измеряется расстояние между точками О и А. Оно откладывается в масштабе на этой линии (рис. 4.9а);
- 2) та же операция проводится в отношении точки В (рейка В);
- 3) подобная операция проводится в отношении точки С (рейка С);
- 4) после повторения операций в отношении всех точек привязки съемки они наносятся на план (рис. 4.9б).

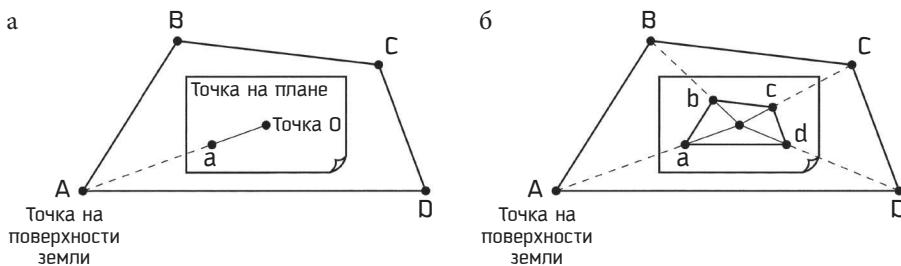


Рис. 4.9. Контурунная съемка способом полярных координат:

a – измерение от точки О до точки А;

b – результат после съемки всех точек

Такой способ съемки помогает добиться высокой точности. Однако поскольку сложно проводить измерение больших расстояний при помощи рулетки, им нельзя пользоваться при составлении планов на больших участках.

Съемка способом засечек

Контурная съемка способом засечек ведется в случаях, когда измеряемый участок имеет вытянутую форму, или в городских или лесных условиях, когда есть объекты, мешающие обзору. Планшет устанавливается в каждой точке, затем проводится съемка угла и расстояния между точками, а потом на планшете прокладывается ход.

Съемка способом засечек проводится следующим образом (рис. 4.10).

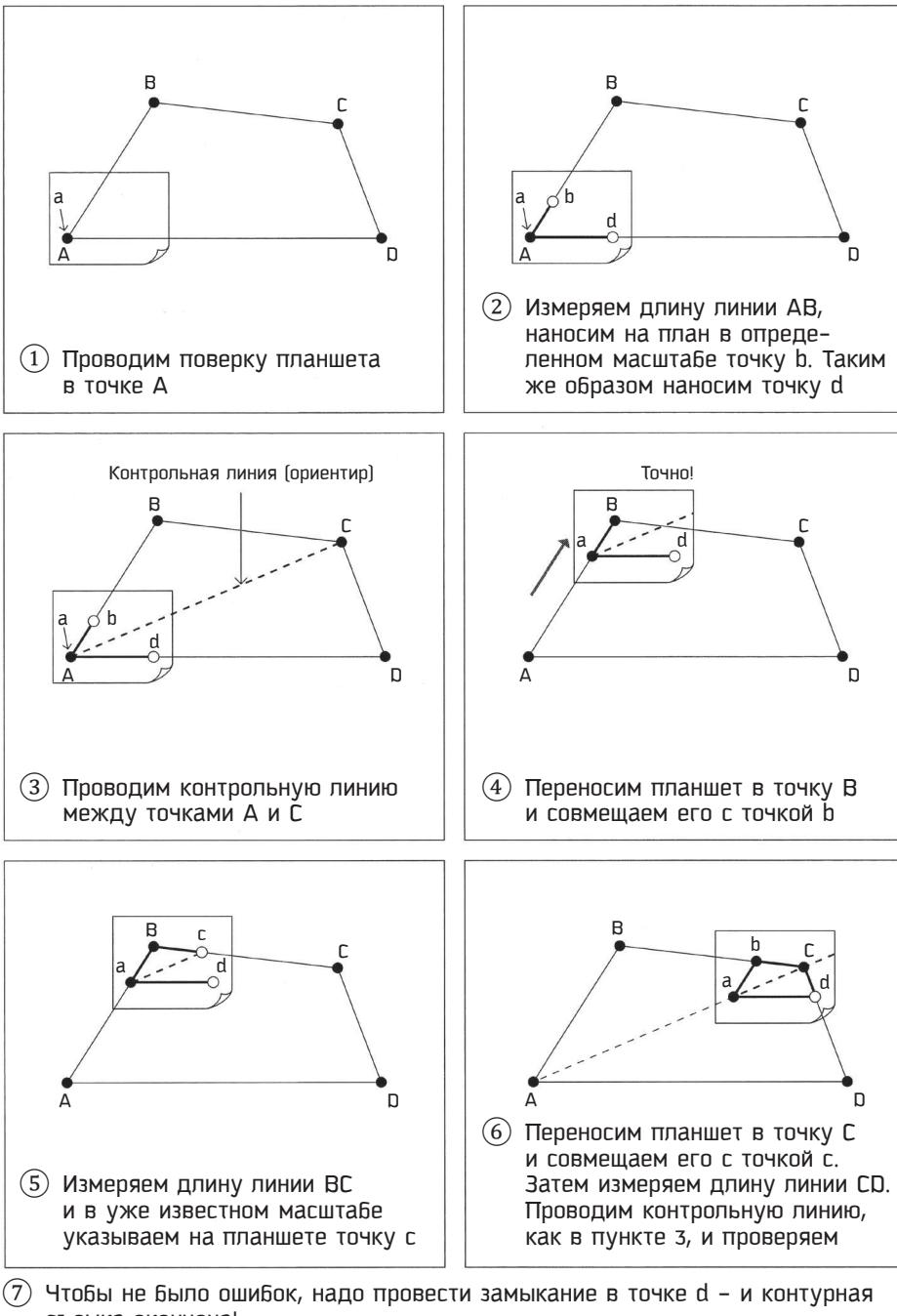


Рис. 4.10. Съемка способом засечек

При контурной съемке способом засечек могут быть ошибки. Как показано на рис. 4.11, при замыкании начальная и конечная точки засечек из-за ошибки измерения не совпадают. Этот сдвиг называется **ошибкой на замыкание**. Коэффициент замыкания можно найти, разделив ошибку замыкания на длину сторон.

Рассмотрим, как возникает ошибка на замыкание и как ее исправляют. При измерении способом засечек мы получили ход съемки $a \rightarrow b \rightarrow c \rightarrow d \rightarrow a'$, как показано на рис. 4.11a. Ошибка на замыкание равна aa' . Как вычислить ошибку на замыкание и исправить ее путем равномерного распределения, показано ниже:

- 1) начертим на планшете прямую aa' и отложим на ней точки b, c и d в соответствии с расстояниями на плане ab, bc, cd, da' (рис. 4.11b);
- 2) отложим от точки a' перпендикулярно вверх величину ошибки на замыкание (сдвиг) aa' ;
- 3) начертим треугольник, как показано на рис. 4.11b;
- 4) проведем перпендикуляры вверх из точек b, c, d . Длина перпендикуляра от каждой точки к гипотенузе станет величиной поправки;
- 5) проведем в точках b, c, d прямые, параллельные прямой aa' , и отложим на них величины поправок, найденные в пункте 4.

Результат внесения поправок в ошибки на замыкание показан на рис. 4.11c.

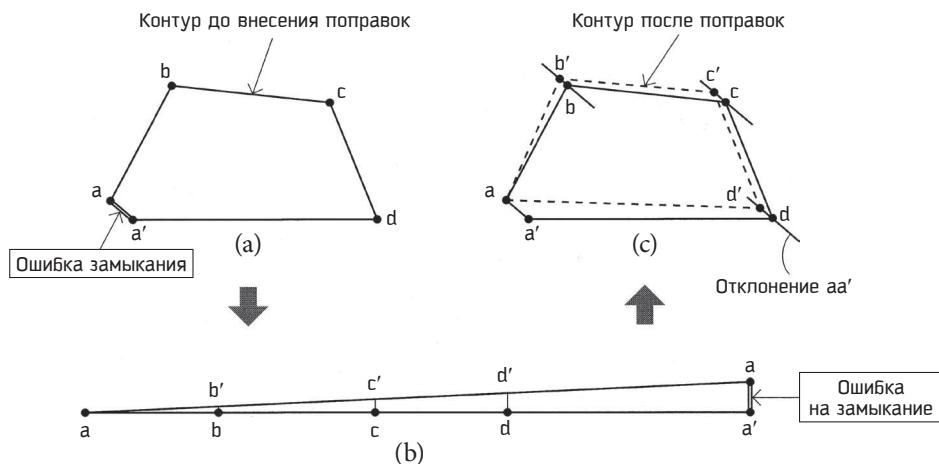


Рис. 4.11. Внесение поправок при съемке способом засечек

Электронные приборы и мензульная съемка

Мензульная съемка проводится при помощи тахеометра и небольшого компьютера, что помогает моментально рассчитывать, вносить, обрабатывать данные съемки (измерение горизонталей и углов от точки отсчета) и создавать план на компьютере. Особенности **мензульной съемки с помощью электронных приборов** приведены ниже.

1. Использование тахеометра при съемке

На рис. 4.12 показаны электронные приборы и устройства, которые используются при мензульной съемке. Вместо алидады и рулетки применяется тахеометр, который позволяет проводить измерения углов и горизонталей от точки отсчета с высокой точностью и эффективностью (подробно см. на стр. 152).

Поскольку расстояния не измеряются при помощи рулеток, можно проводить мензульную съемку на больших участках. Вдобавок данные съемки вносятся автоматически в реальном режиме. Это помогает не тратить времени и сил на запись.

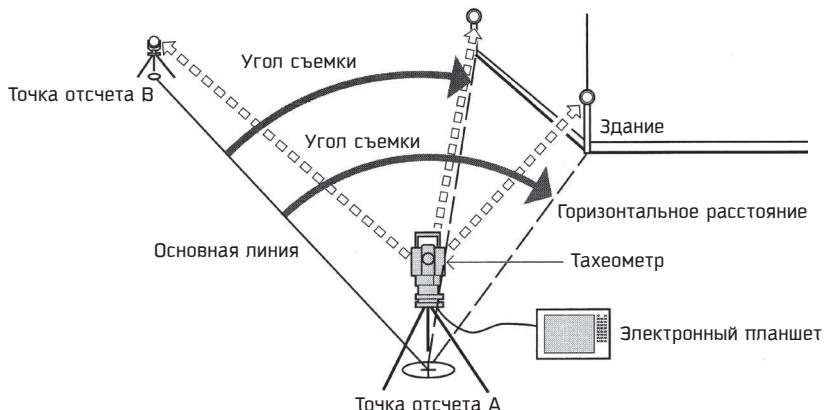


Рис. 4.12. Мензульная съемка с помощью электронных приборов

2. Обработка координат данных съемки

До недавнего времени нельзя было изменить масштаб при мензульной съемке. Однако при использовании электронных приборов все данные съемки **координатизируются**. А как показано в первой главе, положение предмета можно выразить координатами, и когда значения координат вносятся в компьютер и обрабатываются в цифровой форме, масштаб можно свободно менять.

Более того, можно избежать ошибок при записи и ошибок из-за человеческого фактора. Все данныечитываются компьютером, и схема рисуется при помощи программы (рис. 4.13). Точки привязки съемки и точки съемки по-

дробностей записываются при помощи координат, что позволяет избежать возникновения ошибок из-за масштаба.

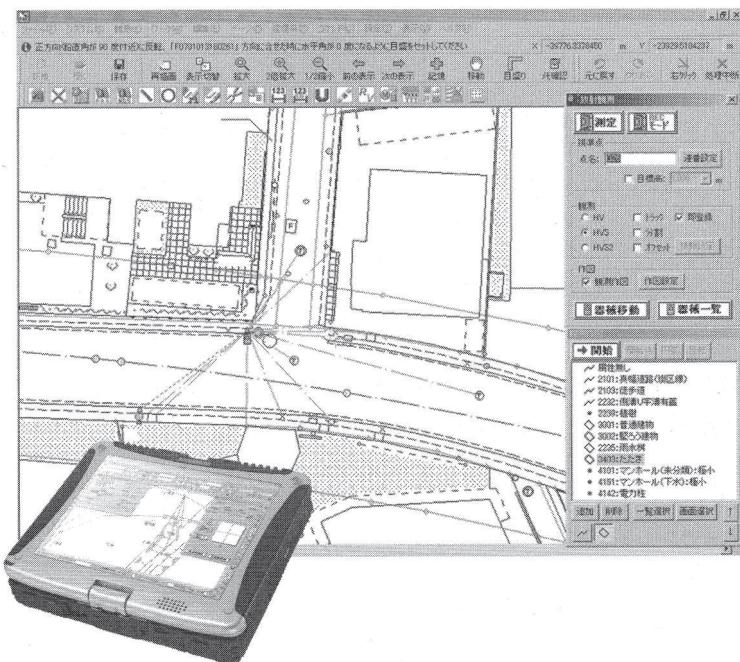
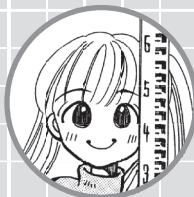


Рис. 4.13. Электронный планшет
(источник: AISAN TECHNOLOGY CO., LTD.)

ГЛАВА 5

НИВЕЛИРОВАНИЕ



5.1. ЧТО ТАКОЕ НИВЕЛИРОВАНИЕ



Б
НАШ КУРС ГЕОДЕЗИИ
ПОТИХОНЬКУ ПОДХОДИТ
К КОНЦУ.

АГА...

НУ ЧТО?
НАЧНЕМ-КА
ПОСЛЕДНИЮ
ЛЕКЦИЮ! ♫

Ага!

СМОТРИТ

ОЛЬГА
ВСЕ ТАКАЯ ЖЕ
ХОЛОДНАЯ!

Мне одиноко...

ИСААК, ТЫ СКОРО СТАНЕШЬ
МАСТЕРОМ И ЗАХОЧЕШЬ
ПЕРЕСТРОИТЬ ЗАМОК.

ХЛОП!

НО ОЛЬГА...

РАЗВЕ МОЖНО ПОСТРОИТЬ
ЗАМОК НА ТАКОЙ ХОЛМИСТОЙ
ТЕРРИТОРИИ?

ВПОЛНЕ!

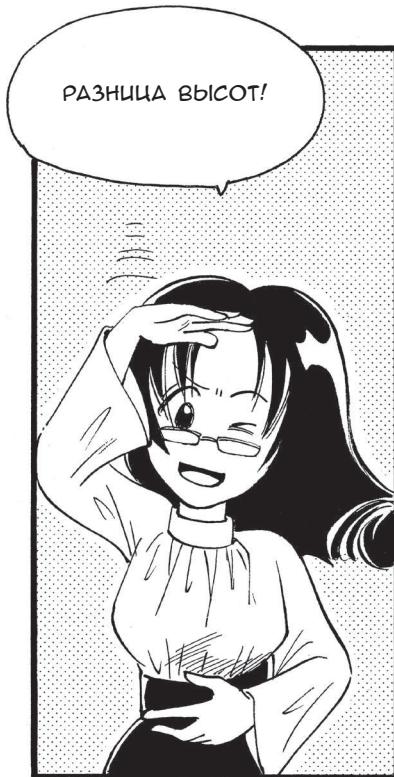
Xe-xe

ПЕРЕД ТЕМ КАК СТРОИТЬ
ЗАМОК, ПОГОВОРИМ О ТОМ,
КАК СДЕЛАТЬ ПЛАН
И КАК ВСЕ РАСПОЛОЖИТЬ.

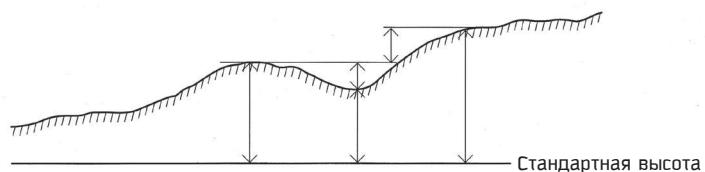
ТАК.

НО ЕСТЬ
ЕЩЕ ОДИН МОМЕНТ,
КОТОРЫЙ НАДО УЧИТЫВАТЬ
ДЛЯ СОЗДАНИЯ ПЛНА.

ЧТО ЭТО?

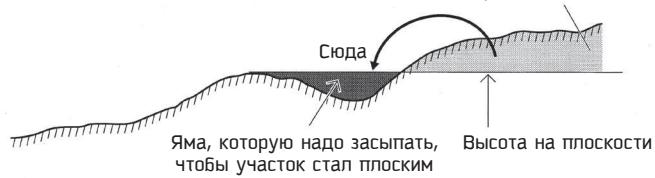


Перед постройкой здания надо оценить холмистость участка! Поэтому и проводится нивелирование.



Когда мы это сделаем, то можно думать, где срыть землю, а где – засыпать, чтобы участок стал плоским.

Земля, которую надо срыть, чтобы участок стал плоским



МЫ ОПРЕДЕЛЯЕМ ВЫСОТУ МЕСТА ОТНОСИТЕЛЬНО ОПРЕДЕЛЕННОЙ ТОЧКИ.

ПОСКОЛЬКУ В ДАННОМ СЛУЧАЕ НЕОБХОДИМО СДЕЛАТЬ ПЛАН С УЧЕТОМ КАНАЛИЗАЦИИ, ЧТОБЫ ЗАМОК БЫЛ ОБЕСПЕЧЕН ВОДОЙ, МЫ БУДЕМ ИСКАТЬ РАЗНИЦУ ВЫСОТ.

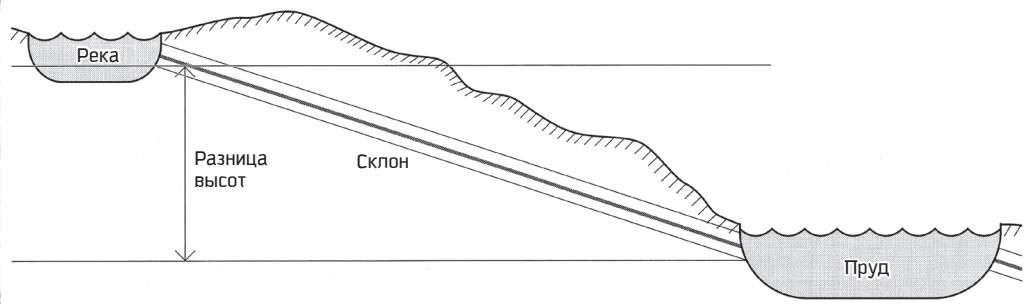
НО ПОЧЕМУ НАМ НУЖНО НИВЕЛИРОВАНИЕ, ЧТОБЫ В ЗАМКЕ БЫЛА ВОДА?

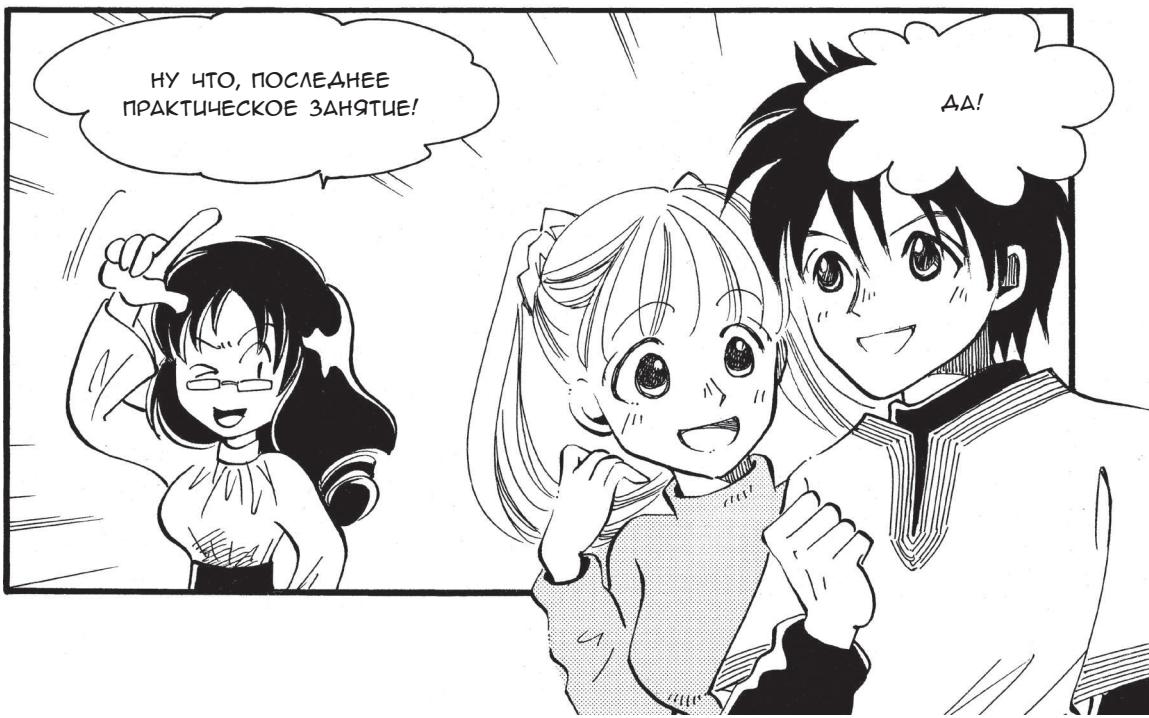
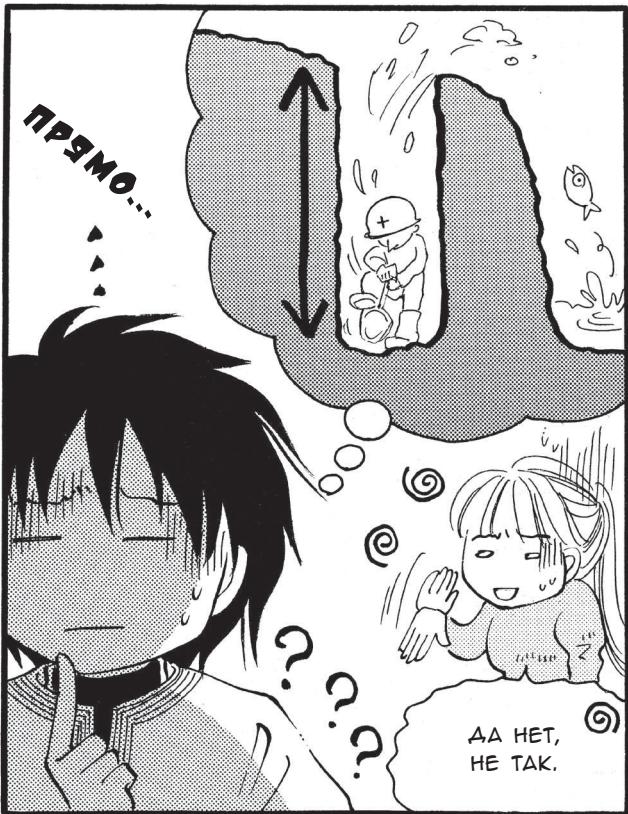
Помогите с переноской!

ЭТОТ ПРОЦЕСС ПОИСКА РАЗНОСТИ ВЫСОТ НАЗЫВАЕТСЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИМ НИВЕЛИРОВАНИЕМ.

ВОДА ЖЕ ТЕЧЕТ ИЗ ВЫСОКОГО МЕСТА В НИЗКОЕ.

ЧТОБЫ ПРОВЕСТИ ВОДУ ИЗ РЕКИ ДЛЯ СНАБЖЕНИЯ ЗАМОКА, НАДО НАЙТИ РАЗНИЦУ ВЫСОТ И РАСПЛАНИРОВАТЬ ТАК, ЧТОБЫ БЫЛ ПОЛОГИЙ СКЛОН.



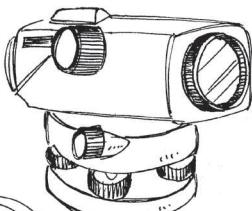


5.2. ПРИНЦИПЫ НИВЕЛИРОВАНИЯ

Оборудование для нивелирования

ДЛЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО НИВЕЛИРОВАНИЯ ИСПОЛЬЗУЮТ НИВЕЛИР И РЕЙКИ.

Рейка



Нивелир

КАК И У ТЕОДОЛИТА,
У НИВЕЛИРА ТОЖЕ ЕСТЬ
ЗРИТЕЛЬНАЯ ТРУБА.

ОДНАКО ТЕОДОЛИТ
МОЖНО ВРАЩАТЬ
ВОКРУГ СВОЕЙ ОСИ
ВЕРТИКАЛЬНО...

Смотри!

Вращает

...А НИВЕЛИР ВРАЩАЕТСЯ
ТОЛЬКО В ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ
ПЛОСКОСТИ.

А ПОЧЕМУ ОН ВРАЩАЕТСЯ
ТОЛЬКО В ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ
ПЛОСКОСТИ?

Что это?

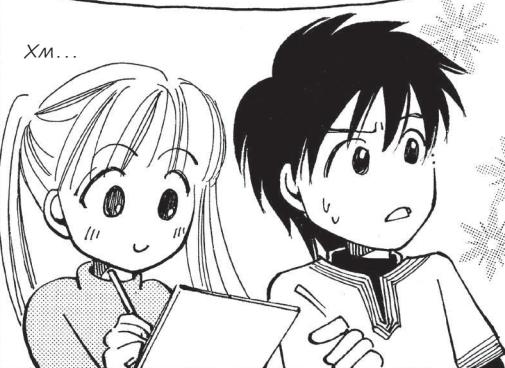
КОГДА ТЫ ПОЙМЕШЬ
ПРИНЦИПЫ НИВЕЛИРОВАНИЯ,
ТЕБЕ ВСЕ СТАНЕТ ЯСНО.



Принципы нивелирования

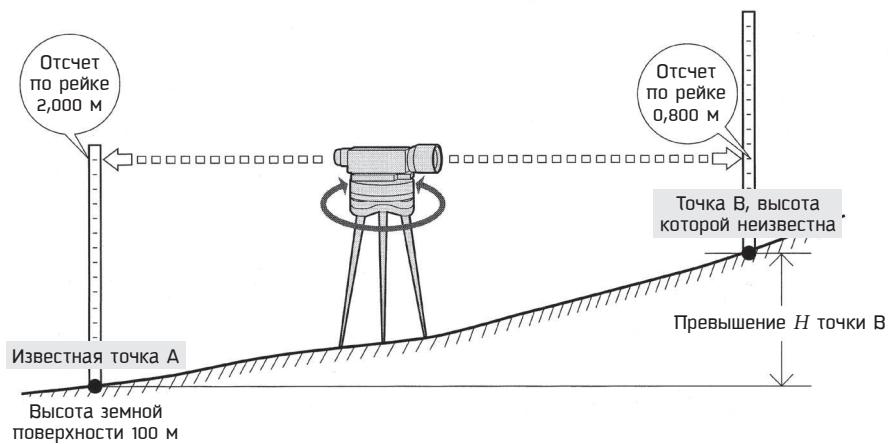
ПРЕДПОЛОЖИМ, НАМ НАДО ИЗМЕРИТЬ ВЫСОТУ ТОЧКИ В, КОТОРАЯ НАМ НЕИЗВЕСТНА, ИЗ ТОЧКИ А, КОТОРАЯ НАХОДИТСЯ НА ВЫСОТЕ 100 МЕТРОВ (ИЗВЕСТНАЯ ТОЧКА А).

Хм...



ЕСЛИ У НАС ТОЧКА А ВЗЯТА ЗА ТОЧКУ ОТСЧЕТА, ТО ПРЕВЫШЕНИЕ H ТОЧКИ В МЫ УЗНАЕМ, ЕСЛИ ВЫЧЕМЕМ ИЗ ВЫСОТЫ ТОЧКИ А ВЫСОТУ ТОЧКИ В.

Превышение точки В над точкой А [м] = отсчет по рейке точки А [м] – отсчет по рейке точки В [м]



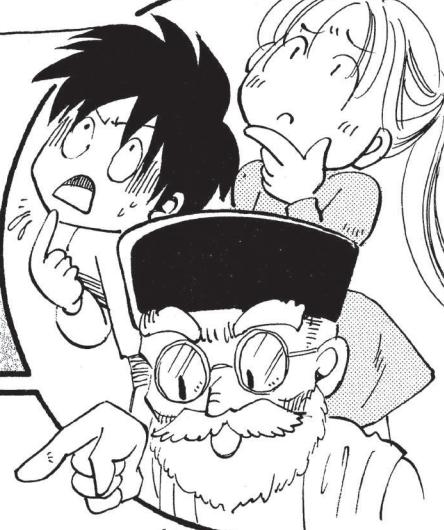


В ЭТОМ ПРИМЕРЕ ОТСЧЕТ
ПО РЕЙКЕ ТОЧКИ А - 2,000 М,
ТОЧКИ В - 0,800 М.

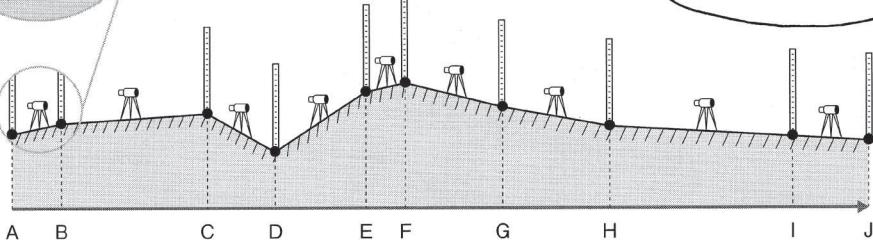
РАЗНИЦА ВЫСОТ РАВНА
 $2,000 \text{ м} - 0,800 \text{ м} = 1,200 \text{ м.}$

ТОЧКА А, КАК НАМ ИЗВЕСТНО,
НАХОДИТСЯ НА ВЫСОТЕ 100 М,
ПОЭТОМУ ДОБАВЛЯЕМ РАЗНИЦУ
ВЫСОТ К 100 М И ОПРЕДЕЛЯЕМ
ВЫСОТУ ТОЧКИ В.

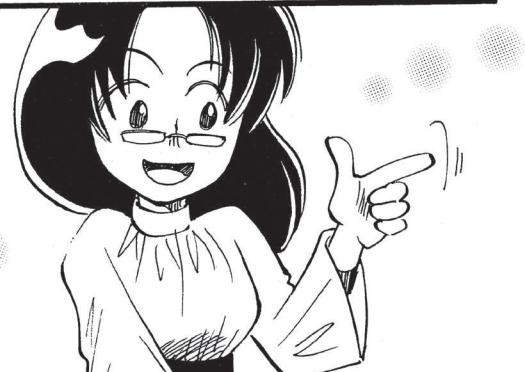
А ПОТОМ ПОВТОРЯЕМ
ЭТУ ОПЕРАЦИЮ НА ОТРЕЗКАХ
ОТ ТОЧКИ А ДО ТОЧКИ J.



Какая огромная
территория!



ПЕРЕД ПРАКТИКОЙ
ПОЗНАКОМИСЬ С ТЕРМИНАМИ,
КОТОРЫЕ ИСПОЛЬЗУЮТСЯ
В НИВЕЛИРОВАНИИ!





Основные понятия нивелирования



Здесь я расскажу о непонятных словах, потому что их много.



Отсчет рейки от нивелира до точки А называется **взглядом назад**. Как показано на рис. 5.1, от нивелира, который находится в центре между точками А и В, можно взять отсчет на уже известную точку А.



Мы визируем рейку, которая стоит в известной нам точке!



Когда мы берем отсчет на неизвестную точку, то это называется **взглядом вперед**.



На рисунке мы визируем вперед из нивелира точку В.

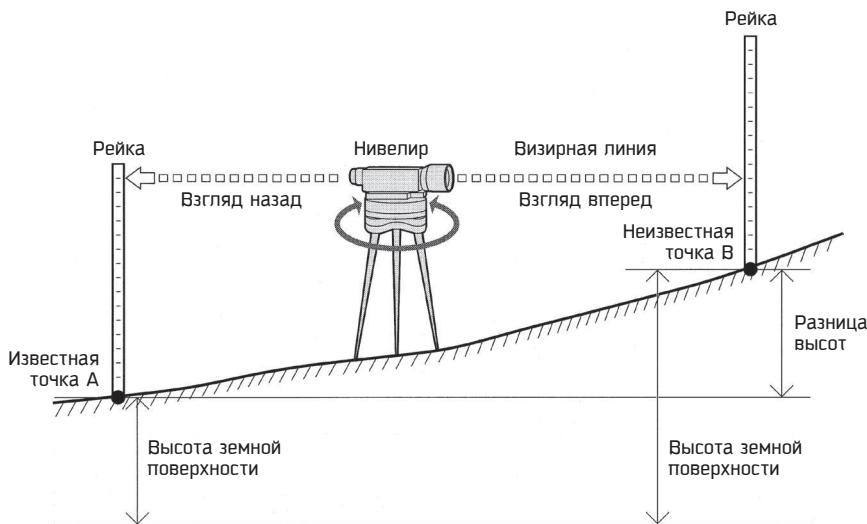


Рис. 5.1. Основные понятия нивелирования



Разница взгляда вперед и взгляда назад называется **превышением**. Высота относительно уровня моря называется **расстоянием от земли**, или **высотой земной поверхности**.

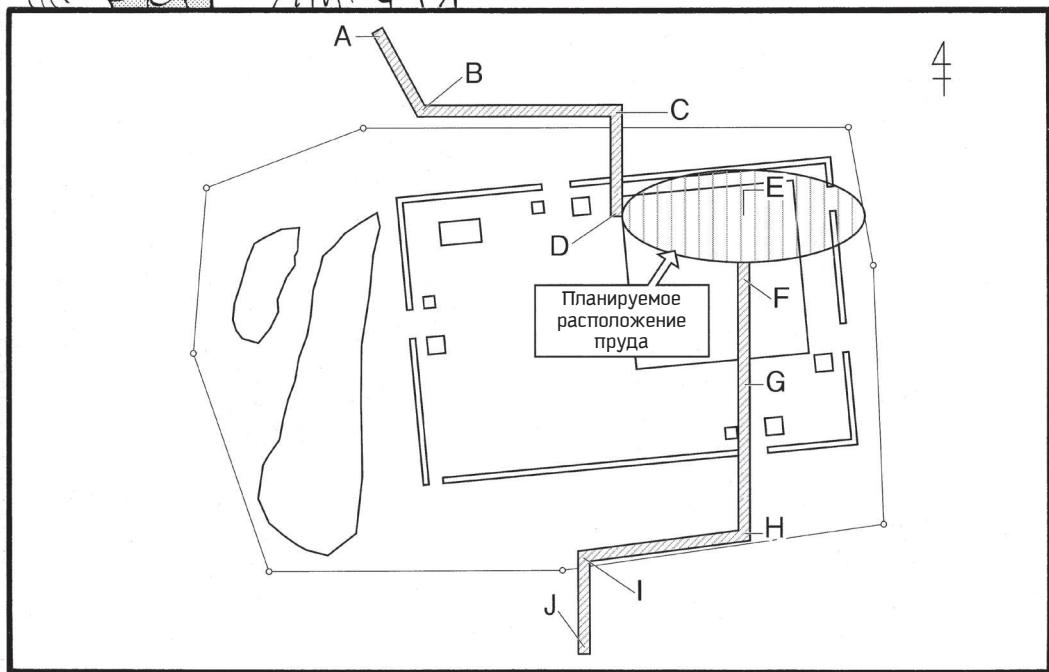
5.3. ПРАКТИКА ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО НИВЕЛИРОВАНИЯ

План и измерения на практике

Ого! ♥♥♥

СДЕЛАЕМ ПРУД,
ЧТОБЫ СОХРАНЯТЬ ВОДУ РЕКИ
ДЛЯ ВОДОСНАБЖЕНИЯ.

ТОЧКА А, ГДЕ МЫ СТОИМ,
НАХОДИТСЯ НА РАССТОЯНИИ
30,000 М ОТ ЗЕМЛИ.

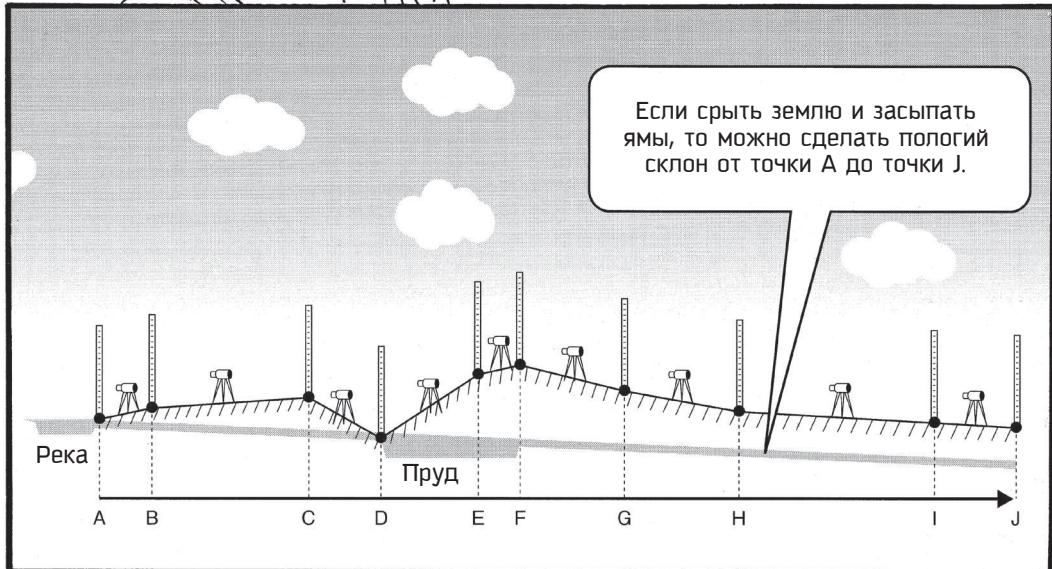


НО ТОЧКИ В И С ВЫШЕ,
И ПОЭТОМУ, Я ДУМАЮ,
ВОДА ИЗ ТОЧКИ А
НЕ ПОТЕЧЕТ.

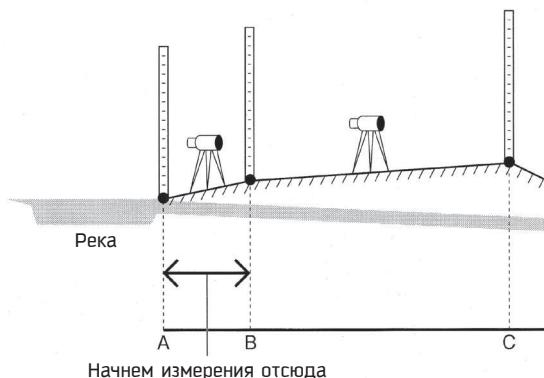
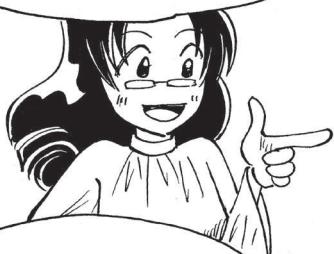
ТЫ ВЕРНО ЗАМЕТИЛ,
ЧТО ТОЧКИ В И С
НАХОДЯТСЯ ВЫШЕ
ТОЧКИ А.



ОДНАКО ТОЧКА J НАХОДИТСЯ НИЖЕ ПО СКЛОНУ, И ВОДА ТУДА ПОТЕЧЕТ.



НАЧНЕМ ПРАКТИКУ!
СНАЧАЛА ИЗМЕРИМ
РАЗНИЦУ ВЫСОТ МЕЖДУ
ТОЧКАМИ А И В.



ПЕРВЫМ ДЕЛОМ
ПРАВИЛЬНО УСТАНОВИ
РЕЙКУ!

НЕОБХОДИМО ВЫТЯНУТЬ РЕЙКУ
ДО КОНЦА ТАК, ЧТОБЫ ЕЕ ДЛИНА
БЫЛА БОЛЬШЕ 2 МЕТРОВ.

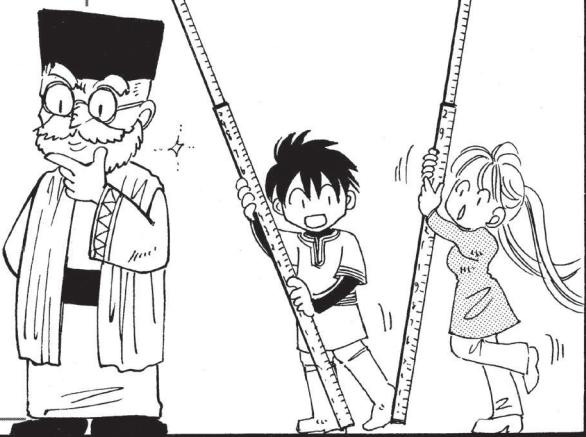
КОГДА РЕЙКА ЩЕЛКНЕТ,
ЭТО ЗНАЧИТ, ЧТО ОНА ВЫТЯНУТА
ДО КОНЦА, И ИЗМЕРЕНИЯ БУДУТ
ПРАВИЛЬНЫМИ!

Проверка рейки



Когда вы вытягиваете рейку,
то важно тянуть ее до щелчка
в месте соединения

В этот момент надо
проверить длину рейки
стальной лентой



ПРОВЕРИМ.
КЛАРА, ВОЗЬМИ РЕЙКУ
И ВСТАНЬ В ТОЧКУ А,
А ПРОФЕССОР -
В ТОЧКУ В.

ПОНЯЛА!

ТАК, ТЕПЕРЬ
УСТАНОВКА
НИВЕЛИРА.

ИСААК, ПРИНЕСИ
НИВЕЛИР!

ДА!

ВОТ ОН.

УЛЫБАЕТСЯ

ХМ,
А ТЫ ИЗМЕНИЛСЯ.

ЧТО ТАКОЕ?

Всякое бываєт
НУ, РЫХЛЫЕ МАЛЬЧИКИ,
КОГДА ВЛЮБЛЯЮТСЯ,
СТАНОВЯТСЯ БОЛЕЕ
МУЖЕСТВЕННЫМИ.

ВЛЮБЛЯ-
ЮТСЯ?

?

Что?

ТЕПЕРЬ ВЕРНЕМСЯ
К ОБЪЯСНЕНИЯМ. НИВЕЛИР
ДОЛЖЕН НАХОДИТЬСЯ
ПОСЕРЕДИНЕ МЕЖДУ
ТОЧКАМИ А И В.

Еще молод...

-3

ТОРОПЛИВО
“”

ТАК, ИСЛААК!
НЕ ВИТАЙ
В ОБЛАКАХ!

П-ПРОСТИТЕ!
ЭТО Я... ТАК.

КРАСИЧЕЕТ

Ага, вот он!

БЫВАЕТ!
У ЭТОГО НИВЕЛИРА
ВОТ ЗДЕСЬ ЕСТЬ
ПУЗЫРЕК.

АА!

“”

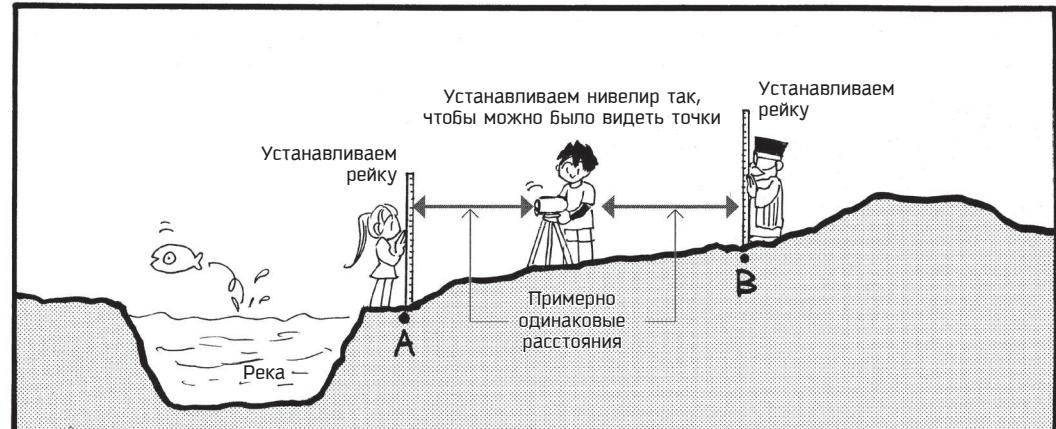
Устанавливаем нивелир так,
чтобы можно было видеть точки

Устанавливаем
рейку

Устанавливаем
рейку

Примерно
одинаковые
расстояния

В



ПРИ НИВЕЛИРОВАНИИ
НЕОБЯЗАТЕЛЬНО ПРОВОДИТЬ
ЦЕНТРИРОВАНИЕ.

НО НАДО УСТАНОВИТЬ
УРОВЕНЬ ПРИМЕРНО
ПОСЕРЕДИНЕ МЕЖДУ ДВУМЯ
ТОЧКАМИ, РАЗНИЦА ВЫСОТ
МЕЖДУ КОТОРЫМИ
ИЗМЕРЯЕТСЯ.

Хорошо

Вот так!

Как производить отсчет на рейках

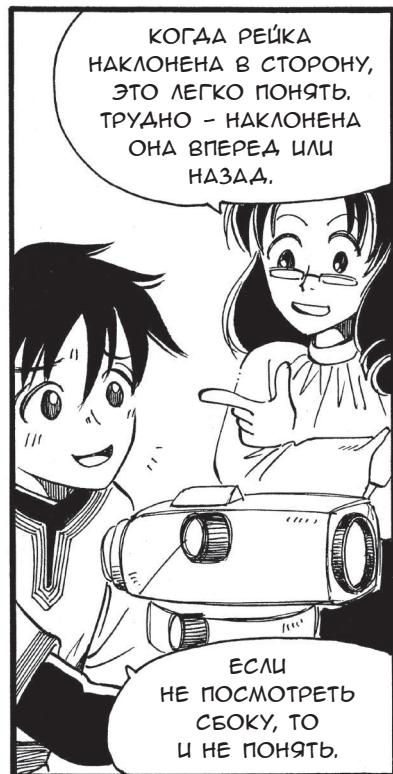
ТЕПЕРЬ РЕЙКИ.
КОГДА СМОТРИШЬ
В ЗРИТЕЛЬНУЮ ТРУБУ
НИВЕЛИРА, ТО ПОСМОТРИ,
РОВНО ЛИ ВСЕ ТАМ,
ГДЕ КРЕСТИК.

ЕСЛИ НАДО
ПОДВИНУТЬ,
СКАЖИ КЛАДЕ!

ТАК.

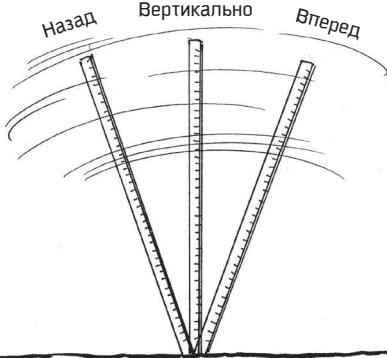
НАКЛОН
ЧУТЬ ВЛЕВО!

138
137
136
135
134
133
132



ЧТОБЫ УСТРАНИТЬ НАКЛОН РЕЙКИ,
НУЖНО АККУРАТНО ПОДВИГАТЬ ЕЕ
ВПЕРЕД И НАЗАД.

Движение рейки
вперед и назад

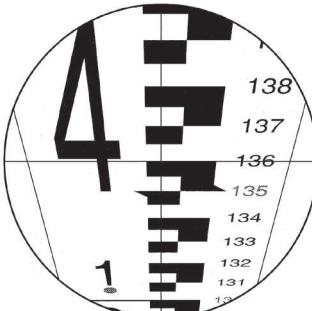


ПОЧЕМУ?

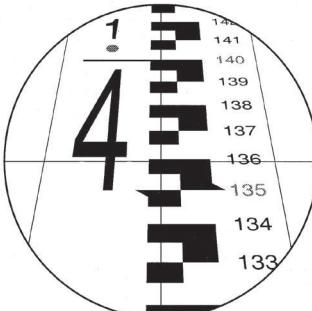
КОГДА РЕЙКА СТОИТ ВЕРТИКАЛЬНО, ЕЕ ДЕЛЕНИЯ КАЖУТСЯ САМЫМИ МАЛЕНЬКИМИ. НАВЕДИ НИВЕЛИР НА РЕЙКУ И СМОТРИ, КОГДА ДЕЛЕНИЯ БУДУТ САМЫМИ МАЛЕНЬКИМИ.



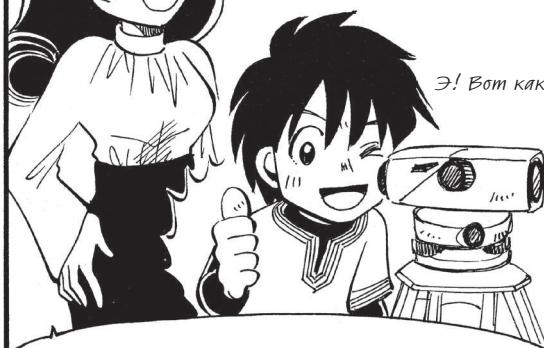
Рейка наклонена вперед



Рейка наклонена назад



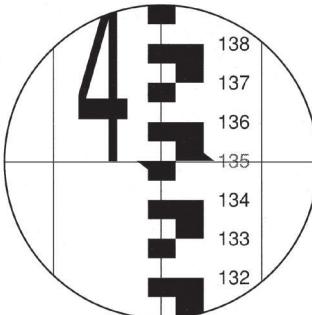
Когда рейка наклонена, то деления становятся больше



Э! Вот как

ЕСЛИ ЗНАЧЕНИЯ МЕНЬШЕ 5 ММ, ТО МЫСЛЕННО РАЗДЕЛИ ПОЛОСКУ 5 ММ НА ПЯТЬ РАВНЫХ ЧАСТЕЙ, ЧТОБЫ СЧИТАТЬ ЗНАЧЕНИЯ С ТОЧНОСТЬЮ ДО МИЛЛИМЕТРА!

Рейка стоит вертикально

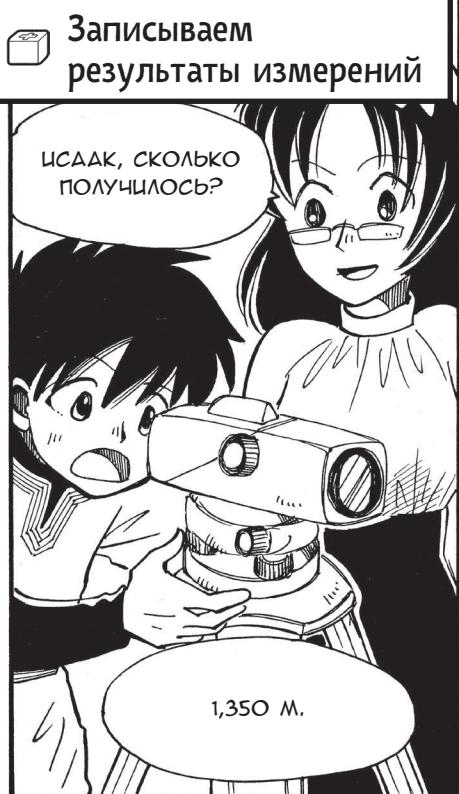


Когда рейка стоит прямо вертикально, то деления меньше всего!

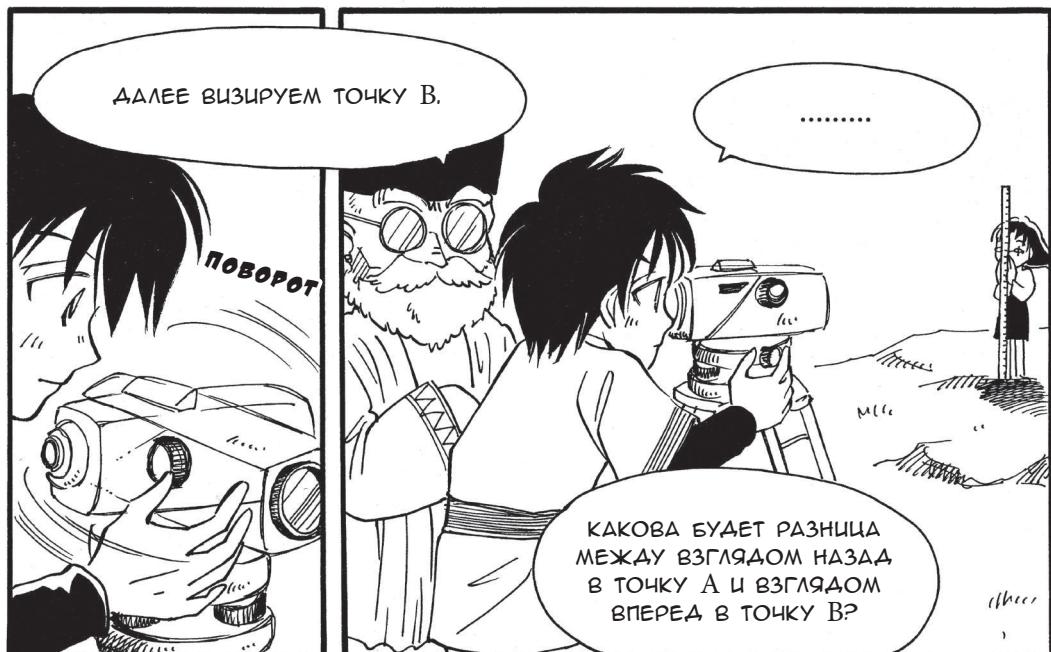
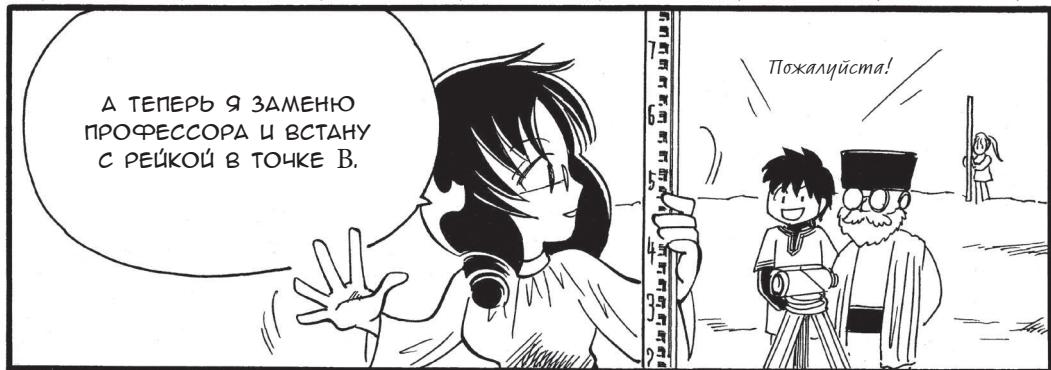
КЛАРА!

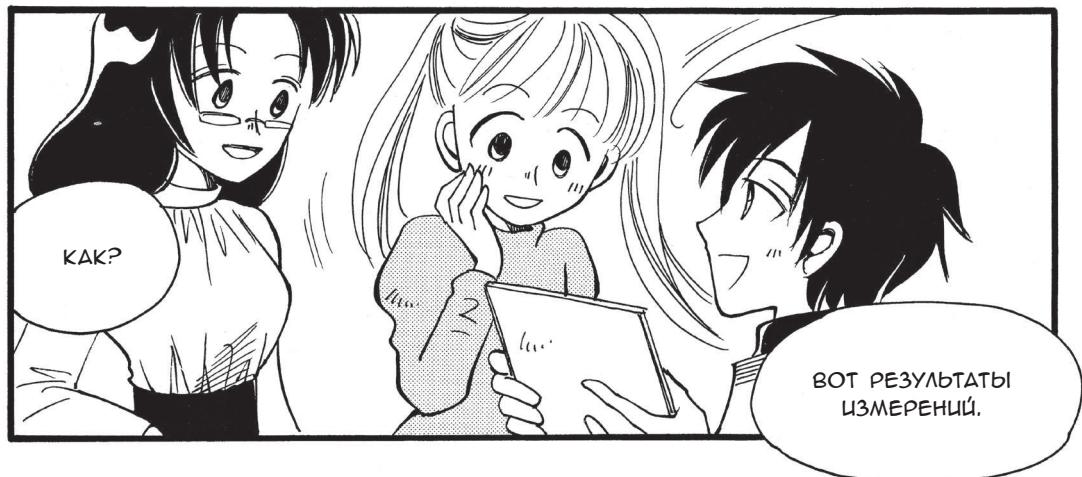
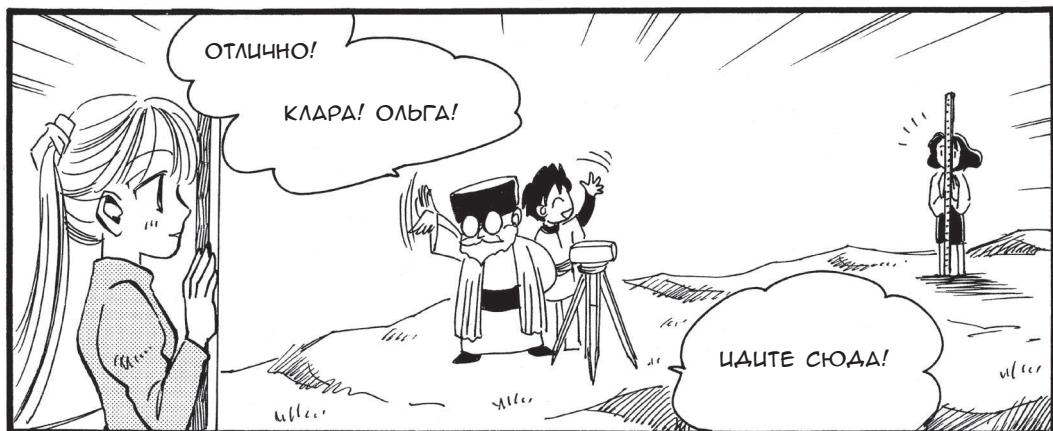
ПОПРОБУЙ МЕДЛЕННО ПОДВИГАТЬ РЕЙКУ ВПЕРЕД И НАЗАД!

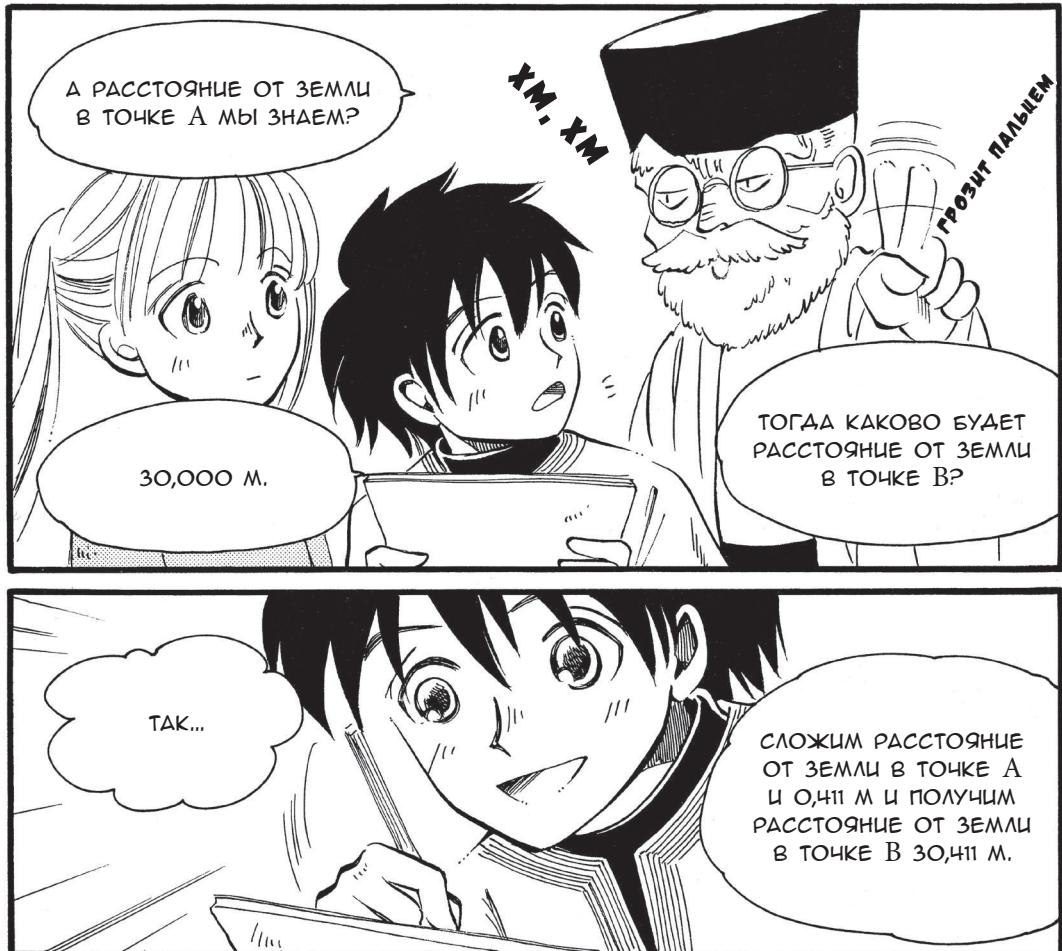
ПОНЯЛА.



Точка визирования	Взгляд назад [м]	Взгляд вперед [м]	Разница высот [м]	Расстояние от земли Г.Н. [м]	Отметки
			+	-	
A	1.350				
B					
C					
D					
E					
F					
G					







Точка визирования	Взгляд назад (м)	Взгляд вперед (м)	Разница высот [м]		Расстояние от земли G.H. [м]	Отметки
			+	-		
A	1,350				30,000	G.H. = 30,000
B		0,939	0,411		30,411	
C						
D						
E						
F						
G						
H						
I						
J						

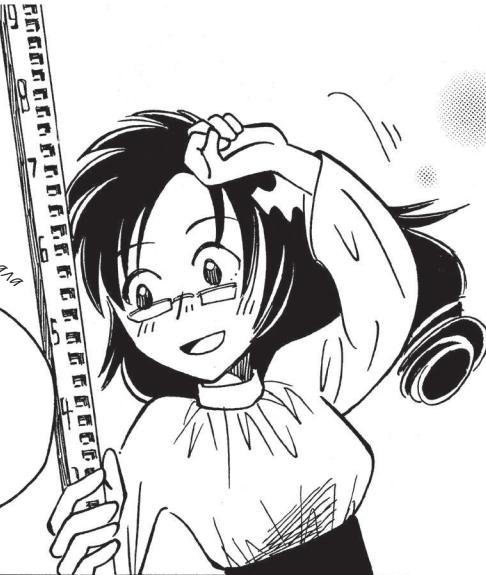
МЫ МОЛОДЦЫ!
ТЕПЕРЬ ПОСМОТРИМ,
КАК БУДЕМ СЧИТАТЬ
ДАЛЬШЕ:

РАЗНИЦА ВЫСОТ В ТОЧКЕ В = ВЗГЛЯД НАЗАД
В ТОЧКУ А - ВЗГЛЯД ВПЕРЕД В ТОЧКУ В;

РАССТОЯНИЕ ОТ ЗЕМЛИ В ТОЧКЕ В = РАССТОЯНИЕ
ОТ ЗЕМЛИ В ТОЧКЕ А + РАЗНИЦА ВЫСОТ В ТОЧКЕ В;

РАЗНИЦА ВЫСОТ В ТОЧКЕ С = ВЗГЛЯД НАЗАД
В ТОЧКУ В - ВЗГЛЯД ВПЕРЕД В ТОЧКУ С;

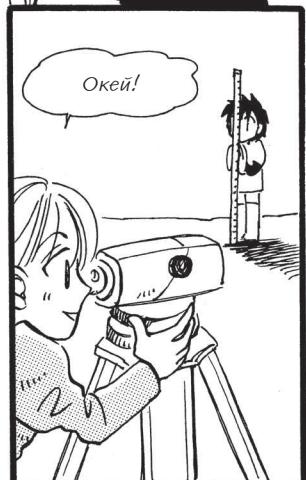
РАССТОЯНИЕ ОТ ЗЕМЛИ В ТОЧКЕ С = РАССТОЯНИЕ
ОТ ЗЕМЛИ В ТОЧКЕ В + РАЗНИЦА ВЫСОТ В ТОЧКЕ С.



А ТЕПЕРЬ ПОВТОРИМ
ЭТИ ДЕЙСТВИЯ
ДЛЯ ТОЧКИ Ј.

ТЕПЕРЬ, КЛАРА,
ТЫ У НИВЕЛИРА.

ДА!

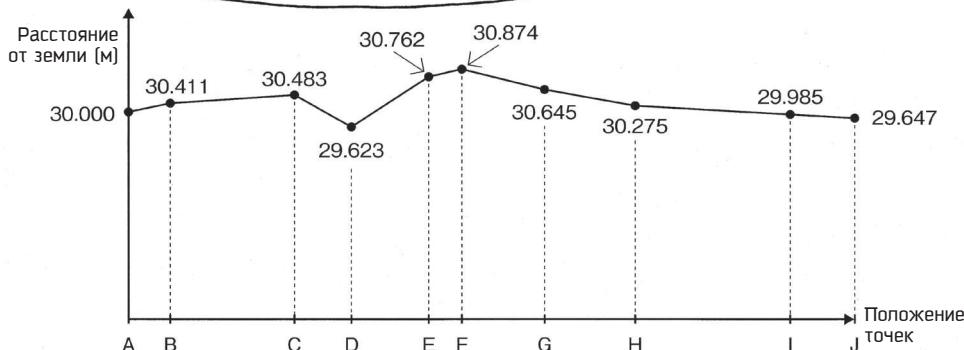


Точка визирования	Взгляд назад [м]	Взгляд вперед [м]	Разница высот [м]		Расстояние от земли Г.Н. [м]	Отметки
			+	-		
A	1,350				30,000	G.H. = 30,000
B	1,221	0,939	0,411		30,411	
C	0,523	1,149	0,072		30,483	
D	1,459	1,383		-0,860	29,623	
E	1,161	0,320	1,139		30,762	
F	0,892	1,049	0,112		30,874	
G	0,471	1,121		-0,229	30,645	
H	1,002	0,841		-0,370	30,275	
I	0,621	1,292		-0,290	29,985	
J		0,959		-0,338	29,647	

Посмотрите

ОГО!

А ТЕПЕРЬ ПРЕДСТАВИМ
РАССТОЯНИЕ ОТ ЗЕМЛИ
В ВИДЕ ГРАФИКА!

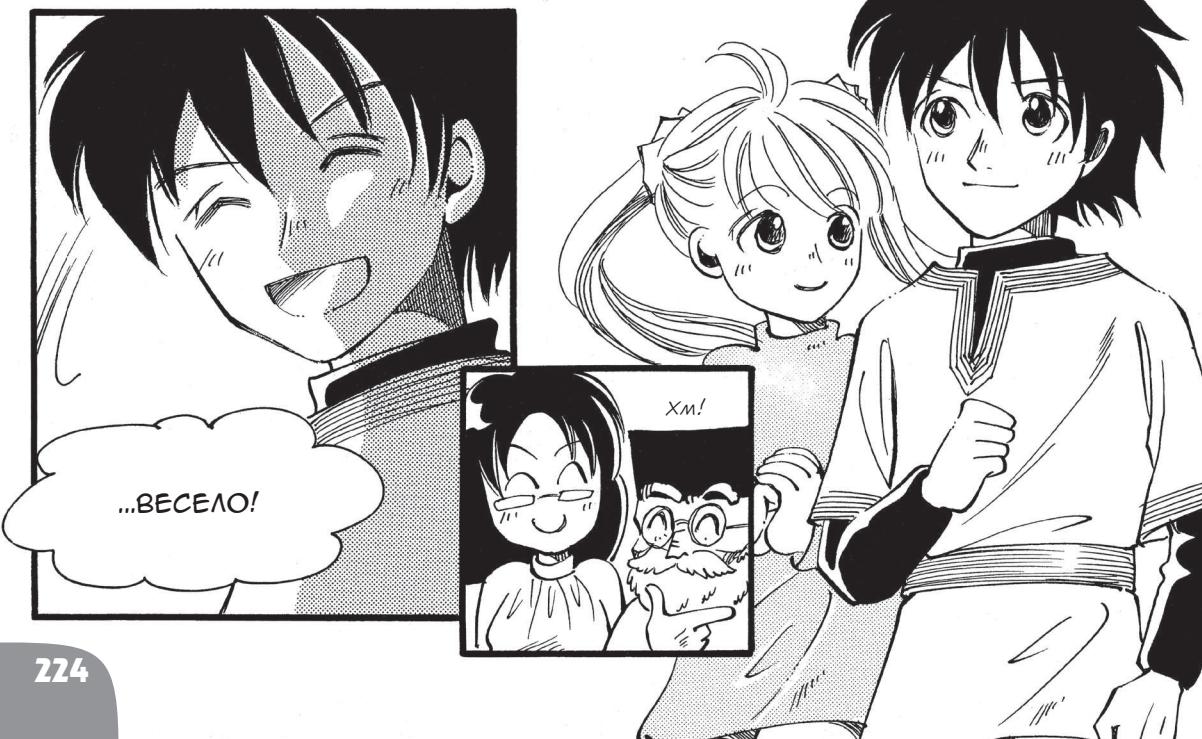
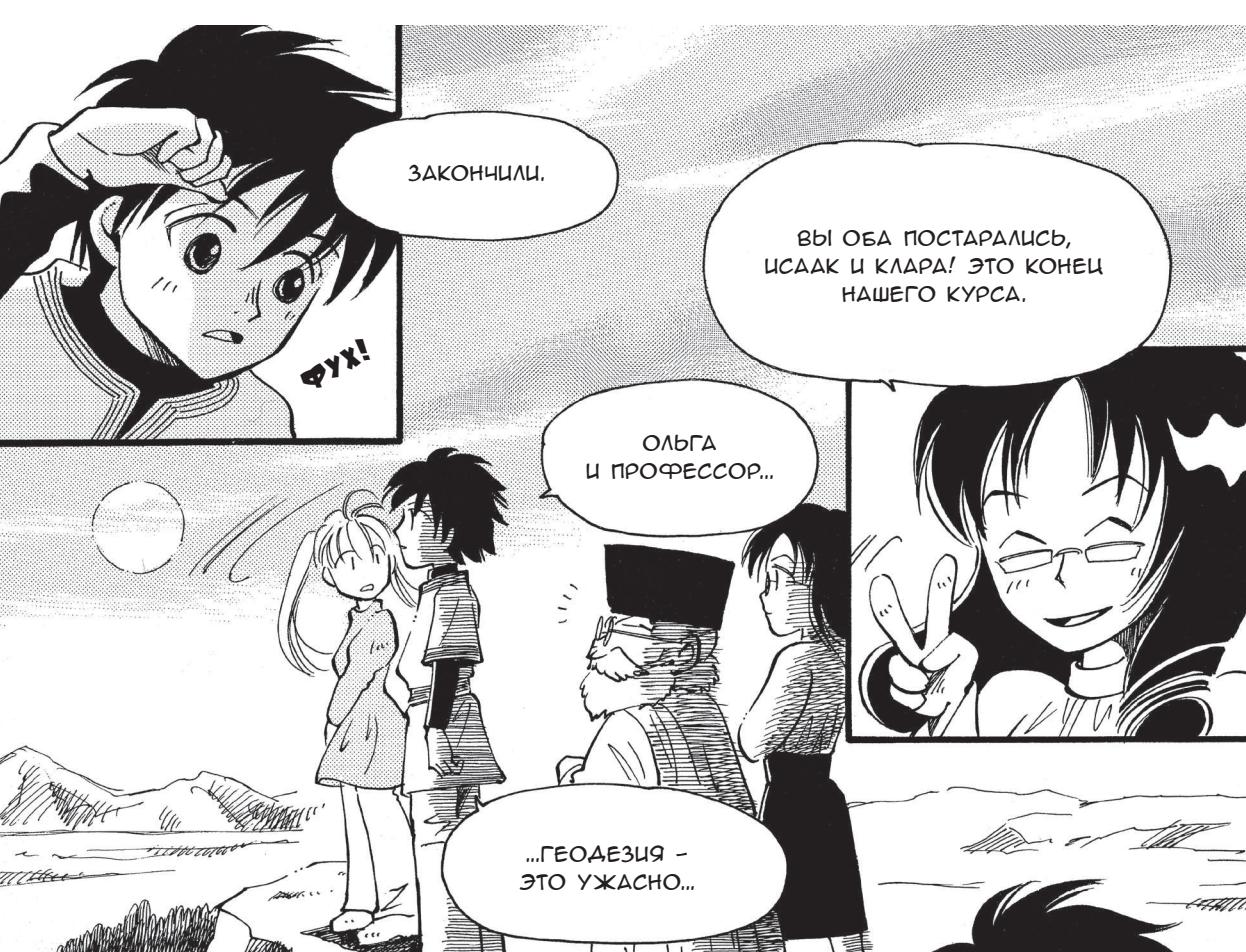


ДАННЫЕ О РАССТОЯНИИ
ОТ ЗЕМЛИ, ПОЛУЧЕННЫЕ
В ХОДЕ НИВЕЛИРОВАНИЯ,
ВАЖНЫ, КОГДА НАДО
ПРОКЛАДЫВАТЬ
КАНАЛИЗАЦИЮ.

ЭТО ОЧЕНЬ
ВАЖНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ
ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТ.

ЭТО БЫЛО ТРУДНО,
НО НЕ ЗРЯ!

АГА!





В КАБИНЕТЕ У ОЛЬГИ: ИСПРАВЛЯЕМ ОШИБКИ

Поправки при нивелировании

В этой главе мы провели нивелирование в Гостляндии от точки А до Ј. Хотя при таком способе можно добиться определенной точности нивелирования, но если еще раз провести измерения, то можно ее повысить. На примере Гостляндии мы измеряли разницу высот от точки А до Ј и обратно, от точки Ј до А.

1. В табл. 5.1 приведены результаты нивелирования от точки А до точки Ј.

Таблица 5.1. Результаты нивелирования туда

Точка визирования	Взгляд назад (м)	Взгляд вперед (м)	Разница высот (м)	
			+	-
A	1,350			
B	1,221	0,939	0,411	
C	0,523	1,149	0,072	
D	1,459	1,383		0,860
E	1,161	0,320	1,139	
F	0,892	1,049	0,112	
G	0,471	1,121		0,229
H	1,002	0,841		0,370
I	0,621	1,292		0,290
J		0,959		0,338

2. В табл. 5.2 показаны результаты нивелирования, проведенного в обратном направлении, от точки Ј до точки А.

Таблица 5.2. Результаты нивелирования обратно

Точка визирования	Взгляд назад (м)	Взгляд вперед (м)	Разница высот (м)	
			+	-
J	1,231			
I	1,252	0,891	0,340	
H	1,149	0,960	0,292	
G	1,298	0,781	0,368	
F	1,349	1,071	0,227	
E	1,203	1,461		0,112
D	1,131	2,340		1,137
C	1,232	0,269	0,862	
B	1,363	1,302		0,70
A		1,775		0,412

3. Затем найдем сумму взглядов назад (Σ взглядов назад) и сумму взглядов вперед (Σ взглядов вперед) при прямом и обратном нивелировании.

Прямой ход: Σ взглядов назад = 8,700,

Σ взглядов вперед = 9,053.

Разница = 0,353.

Обратный ход: Σ взглядов назад = 11,208,

Σ взглядов вперед = 10,850.

Разница = 0,358.

Разница взглядов при прямом

и при обратном ходах (невязка) = 0,358 – 0,353 = 0,005 (м).

4. Сравним невязку при нивелировании с допустимой ошибкой. Установленные в нивелировании допустимые значения невязок приведены в табл. 5.3.

Таблица 5.3. Допустимые значения невязок

Класс	Допустимые значения невязок (м)
Нивелирование I класса	$2,5\sqrt{L}$
Нивелирование II класса	$5\sqrt{L}$
Нивелирование III класса	$10\sqrt{L}$
Нивелирование IV класса	$20\sqrt{L}$
Техническое нивелирование	–

L – длина хода (км). В данном случае это расстояние, измеренное прямо от точки А до точки J.

Далее в табл. 5.4 приведены значения длин сегментов от точки А до точки J, а в табл. 5.5 – рассчитанные допустимые значения невязок.

Таблица 5.4. Длины сегментов
при геометрическом нивелировании

Сегмент	Расстояние (м)
AB	27,264
BC	78,074
CD	30,982
DE	58,245
EF	17,350
FG	47,092
GH	52,049
HI	80,552
IJ	29,742
Всего	421,350

Таблица 5.5. Допустимые значения невязок
при нивелировании

Класс	Допустимые значения невязок (м)
Нивелирование I класса	0,0016
Нивелирование II класса	0,0032
Нивелирование III класса	0,0065
Нивелирование IV класса	0,0130
Техническое нивелирование	–

В нашем случае расстояние $L = 0,42135$ км.

Как показано выше, полученное нами значение невязки 0,005 м удовлетворяет условиям нивелирования III класса. Если бы мы проводили нивелирование I или II класса, то эта невязка не была бы допустимой, поэтому пришлось бы провести нивелирование заново.

Далее проведем корректировку расстояния от земли в каждой точке, с учетом того, что невязка удовлетворяла допустимой ошибке, т. е. нивелирование было проведено на уровне III или IV класса.

5. Найдем средние значения разниц высот на одинаковых сегментах нивелирования (табл. 5.6). Исправленные значения с учетом средней разницы представлены в табл. 5.7.

Таблица 5.6. Среднее значение разниц высот

Точка визирования	Взгляд назад (м)	Взгляд вперед (м)	Разница высот (м)	
			+	-
A	1,350			
B	1,221	0,939	0,411	
C	0,523	1,149	0,072	
D	1,459	1,383		0,860
E	1,161	0,320	1,139	
F	0,892	1,049	0,112	
G	0,471	1,121		0,229
H	1,002	0,841		0,370
I	0,621	1,292		0,290
J		0,959		0,338

Среднее значение
 $(0,411 + 0,412)/2 = 0,412$

Точка визирования	Взгляд назад (м)	Взгляд вперед (м)	Разница высот (м)	
			+	-
J	1,231			
I	1,252	0,891	0,340	
H	1,149	0,960	0,292	
G	1,298	0,781	0,368	
F	1,349	1,071	0,227	
E	1,203	1,461		0,112
D	1,131	2,340		1,137
C	1,232	0,269	0,862	
B	1,363	1,302		0,70
A		1,775		0,412

Среднее значение
 $(0,411 + 0,412)/2 = 0,412$

Таблица 5.7. Исправленные значения разниц высот

Точка визирования	Взгляд назад (м)	Взгляд вперед (м)	Поправка разниц высот (м)	
			+	-
A	1,350			
B	1,220	0,940	0,412	
C	0,520	1,150	0,071	
D	1,460	1,380		0,861
E	1,160	0,320	1,138	
F	0,890	1,050	0,112	
G	0,470	1,120		0,228
H	1,000	0,840		0,369
I	0,620	1,290		0,291
J		0,960		0,339

6. Вычислим на основании данных табл. 5.7 расстояния от земли и приведем их с поправками в табл. 5.8.

Таблица 5.8. Величины расстояний от земли с поправками

Точка визирования	Взгляд назад (м)	Взгляд вперед (м)	Поправка разниц высот (м)		Расстояние от земли G.H. (м)	Отметки
			+	-		
A	1,350				30,000	G.H. = 30,000
B	1,220	0,940	0,412		30,412	
C	0,520	1,150	0,071		30,483	
D	1,460	1,380		0,861	29,622	
E	1,160	0,320	1,138		30,760	
F	0,890	1,050	0,112		30,872	
G	0,470	1,120		0,228	30,644	
H	1,000	0,840		0,369	30,275	
I	0,620	1,290		0,291	29,984	
J		0,960		0,339	29,645	

Таким образом можно вносить поправки, учитывая среднее значение одинаковых сегментов при прямом и обратном ходах.

Невязки в измерении

Причины для неточностей нивелирования бывают самые разные. Причины возникновения ошибок и меры их предотвращения или минимизации приведены ниже.

Механические ошибки

Ошибки, возникающие из-за структуры прибора, инструмента или недостаточной настройки:

- 1) недостаточная настройка нивелира. Ошибка возникает, когда зрительная труба и ось пузырька уровня не параллельны. Ее можно уменьшить, если расстояния, визируемые при взгляде вперед и взгляде назад, одинаковы;
- 2) ось нивелира не вертикальна. Можно уменьшить, если проводить осмотр и настройку нивелира перед работой;
- 3) несовпадение оси визирования и оптической оси. Можно уменьшить, если расстояния, визируемые при взгляде вперед и взгляде назад, одинаковы;
- 4) ошибка нулевого значения рейки. Можно уменьшить, если рейка сертифицирована, а также установкой ее четное количество раз.

Природные ошибки

1. *Ошибка, которая возникает из-за искажения света, вызванного кривизной Земли, или плотностью атмосферы, или дымки.* Можно уменьшить, если визировать на не слишком большие расстояния (однако если расстояние визирования короткое, могут возникнуть ошибки из-за многочисленных установок реек), и если расстояния, визируемые при взгляде вперед и взгляде назад, одинаковы.
2. *Ошибки из-за проседания инструментов во время съемки.* Можно уменьшить, если твердо фиксировать треножник, а также выбирать для положения реек твердые поверхности.

Индивидуальные ошибки

1. *Ошибки неправильного считывания при визировании (ошибка зрения = фокусировка).* Можно уменьшить, если точно совмещать фокус (подтвердить точность можно, если подвигать глазом в стороны во время визирования и объект не будет двигаться).
2. *Ошибки из-за недостаточной настройки нивелира.* Можно уменьшить, если точно настраивать нивелир при помощи пузырька.

Искажения

Это не ошибки. Искажения возникают из-за небрежности съемщика и включают в себя ошибки, которые перечислены ниже.

1. *Ошибка из-за движения нивелира.* Съемщик по небрежности может забыть закрепить винты треноги, нивелир будет недостаточно укреплен и сможет вращаться во время съемки. Чтобы этого не случилось, не забывайте проверять нивелир.
2. *Ошибки из-за человеческого фактора во время съемки.* Можно уменьшить, если не применять излишнюю силу (проседание инструментов приведет к нарушению уровня горизонтали) к приборам во время съемки.
3. *Ошибки записи или считывания.* Многочисленные ошибки, которые возникают во время съемки. Можно уменьшить, если вести съемку совместно, группой в несколько человек.

ПОДВЕДЕМ ИТОГИ

Что, если расстояние от земли на участке неизвестно?

При описании процесса нивелирования в Гостляндии мы знали расстояние от земли точки А, но если расстояние от земли ни одной точки на участке неизвестно, то как его определить?

Для того чтобы определить расстояние от земли при нивелировании, вспомним о реперной точке. Реперная точка точно указывает на расстояние от земли от определенного стандарта (см. стр. 32).

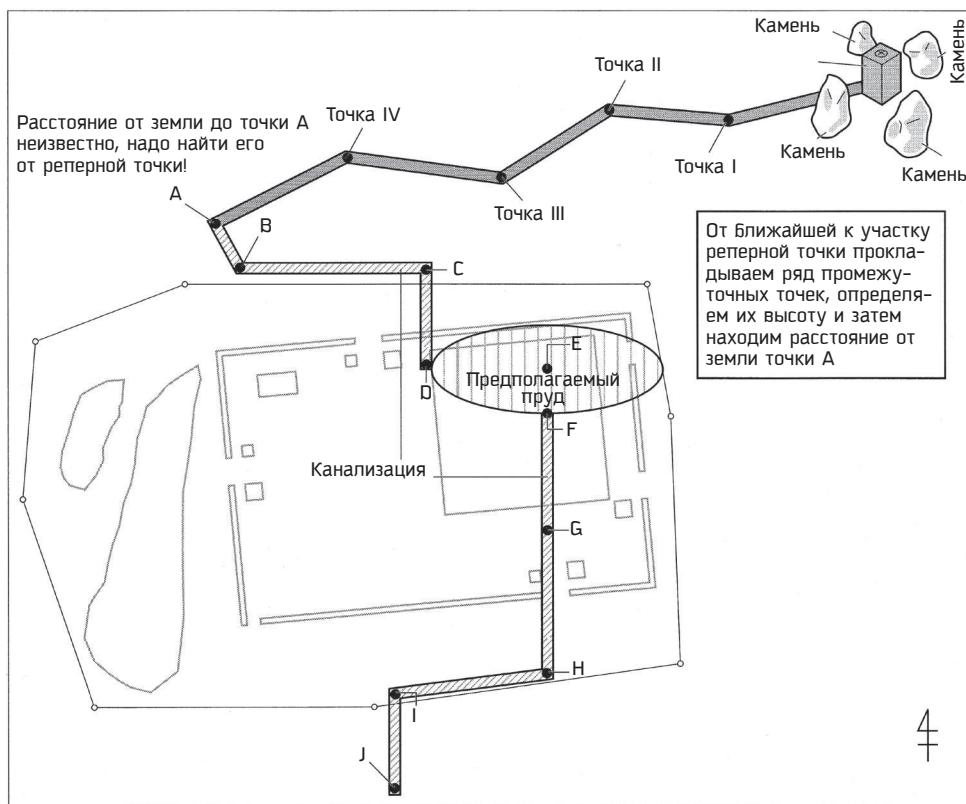


Рис. 5.2. Нивелирование от реперной точки

Даже если в Гостляндии нет реперных точек, они наверняка установлены не-подалеку. Следовательно, если на участке нет точек, расстояние от земли которых нам известно, то, используя методы нивелирования, с которыми мы познакомились в этой главе, измерим расстояние от земли от самой близкой реперной точки до точки на участке. На рис. 5.2 показано, как узнать расстояние от земли точки А, проводя нивелирование от реперной точки.

Для этого устанавливаем несколько точек от реперной точки до точки А, самая близкая к реперной точке точка I, за ней точки II, III и точка IV. Измеряем в каждой из них расстояние от земли, а затем узнаем расстояние от земли точки А. Таким же образом можно узнать расстояние от земли и других точек.

Нивелирование через горизонт инструмента

Существует два способа провести нивелирование и узнать высоту точки. В этой книге мы познакомились с нивелированием через **превышение**, другой способ нахождения высоты точек – это способ через **горизонт прибора**. Поговорим о нем.

При нивелировании через горизонт прибора высоту неизвестной точки определяют через высоту от плоскости нивелирования до прибора (нивелира), высота прибора или нивелира указана жирной стрелкой на рис. 5.3. На этом рисунке показано, что расстояние от земли H_B неизвестной точки В можно найти, вычтя из высоты инструмента отсчет высоты по передней рейки. Такое нивелирование проводится при хорошем обзоре на ровной местности.

Расстояние от земли точки H_B = высота прибора – отсчет высоты по передней рейки.

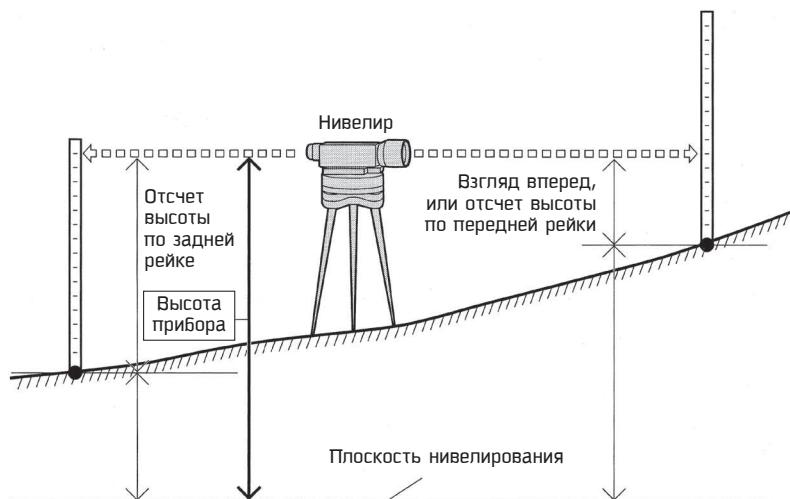


Рис. 5.3. Принцип нивелирования через горизонт прибора

Попробуем, используя приведенные в книге данные нивелирования от точки А до точки J, рассчитать высоту точки А по высоте прибора.

1. Визируем назад точку А и считываем данные с рейки.

Таблица 5.9. Взгляд назад на точку А

Точка визирования	Взгляд назад (м)	Взгляд вперед (м)	Высота прибора	Расстояние от земли G.H. (м)	Отметки
A	1,350			30,000	G.H. = 30,000
B					
C					
D					
E					
F					
G					
H					
I					
J					

2. Добавляем взгляд назад точки А к расстоянию от земли и записываем высоту прибора.

Таблица 5.10. Расчет высоты прибора

Точка визирования	Взгляд назад (м)	Взгляд вперед (м)	Высота прибора	Расстояние от земли G.H. (м)	Отметки
A	1,350		31,350	30,000	G.H. = 30,000
B					
C					
D					
E					
F					
G					
H					
I					
J					

3. Визируем вперед точку В и считываем данные с рейки.

Таблица 5.11. Взгляд вперед на точку В

Точка визирования	Взгляд назад (м)	Взгляд вперед (м)	Высота прибора	Расстояние от земли Г.Н. (м)	Отметки
A	1,350		31,350	30,000	G.H. = 30,000
B		0,939			
C					
D					
E					
F					
G					
H					
I					
J					

4 Рассчитываем неизвестное расстояние от земли по формуле: высота прибора – взгляд вперед. Высота прибора в точке А равна 31,350 м, из нее вычитаем взгляд вперед точки В – 0,939 м, получаем расстояние от земли точки В.

Таблица 5.12. Расчет расстояния от земли точки В

Точка визирования	Взгляд назад (м)	Взгляд вперед (м)	Высота прибора	Расстояние от земли Г.Н. (м)	Отметки
A	1,350		31,350	30,000	G.H. = 30,000
B		0,939		30,411	
C					
D					
E					
F					
G					
H					
I					
J					

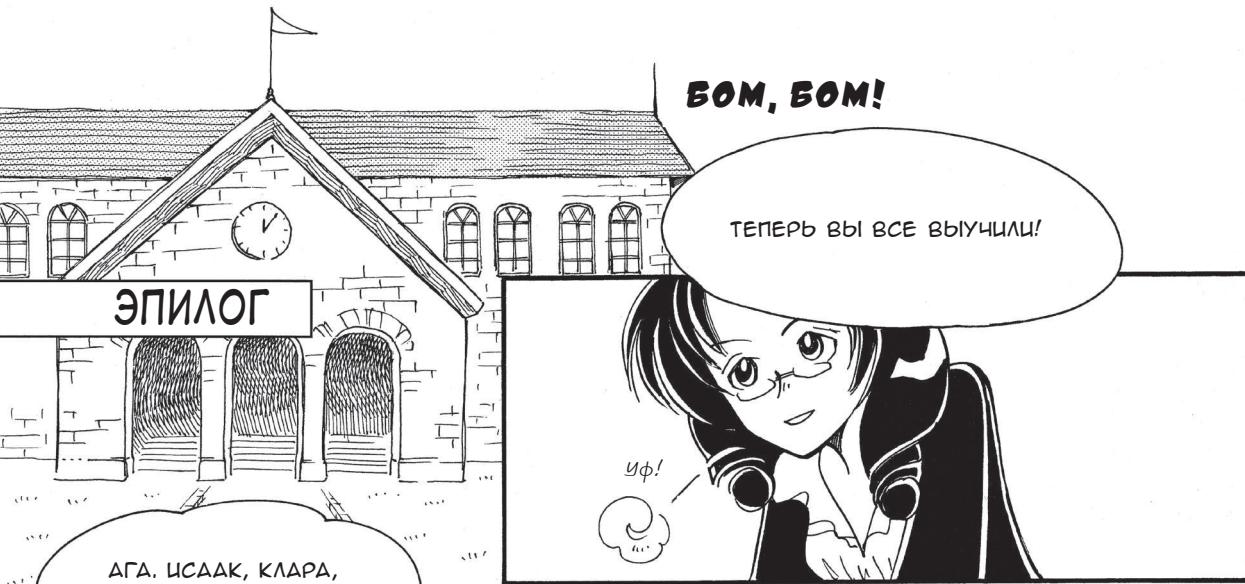
Таким же образом повторяем операцию от точки С и ниже, получится табл. 5.13.

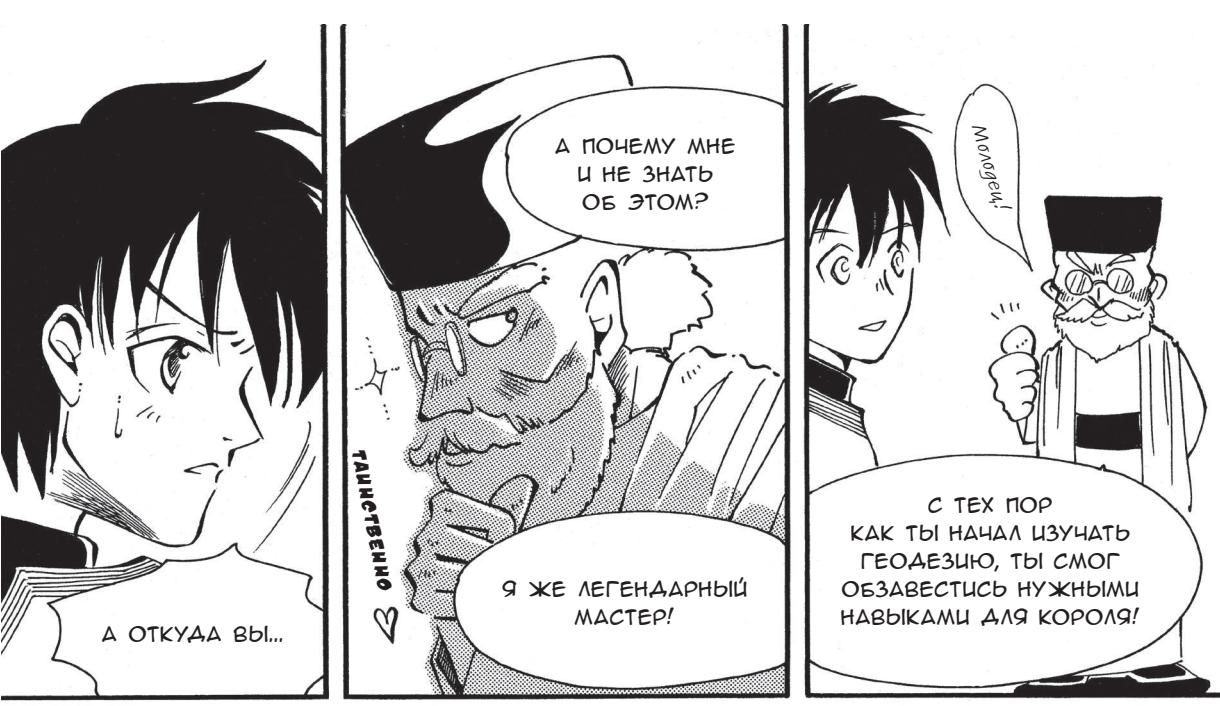
Таблица 5.13. Сводные данные измерения методом горизонта прибора

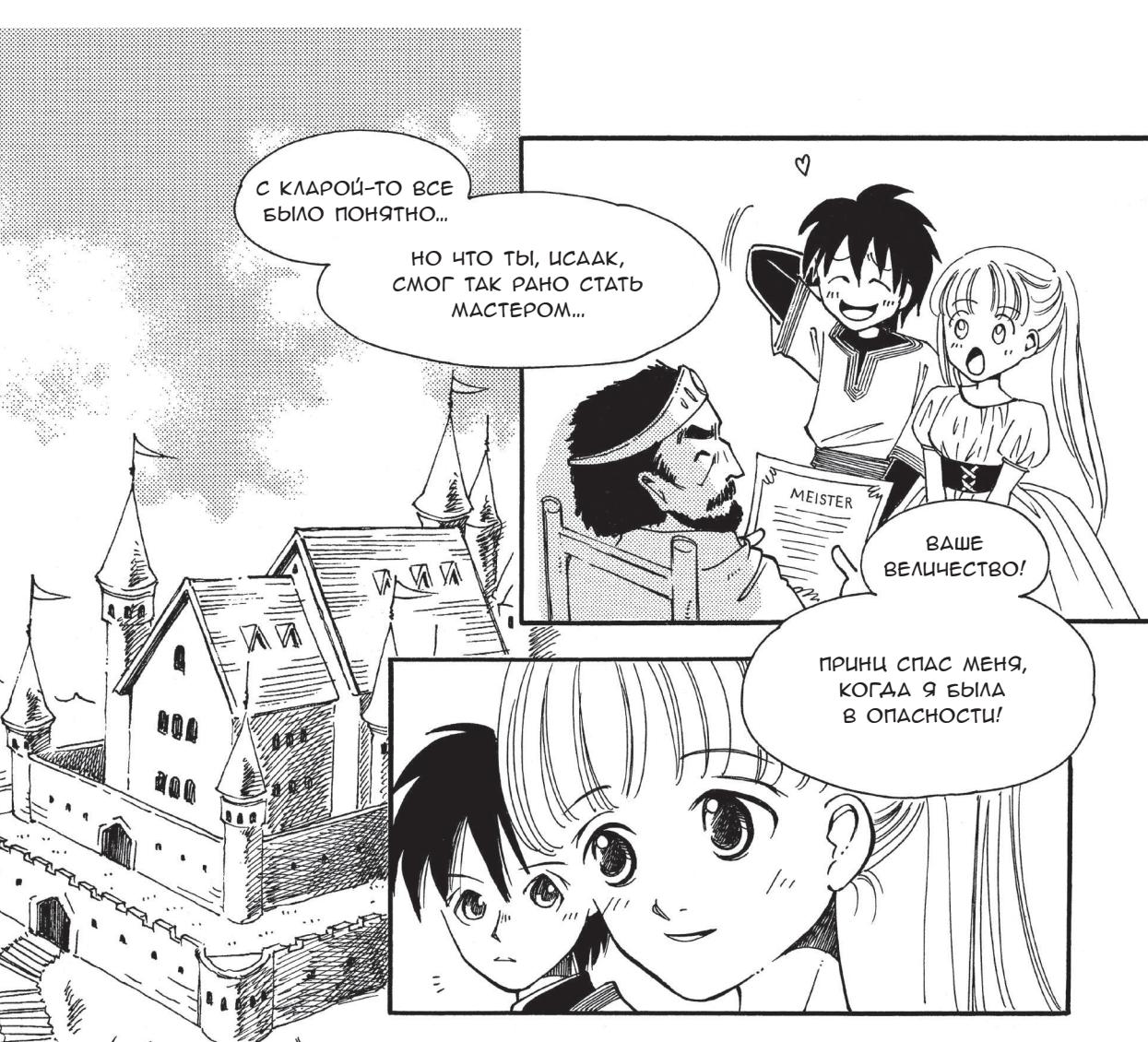
Точка визирования	Взгляд назад (м)	Взгляд вперед (м)	Высота прибора	Расстояние от земли Г.Н. (м)	Отметки
A	1,350		31,350	30,000	G.H. = 30,000
B	1,221	0,939	31,632	30,411	
C	0,523	1,149	31,006	30,483	
D	1,459	1,383	31,082	29,623	
E	1,161	0,320	31,923	30,762	
F	0,892	1,049	31,766	30,874	
G	0,471	1,121	31,116	30,645	
H	1,002	0,841	31,277	30,275	
I	0,621	1,292	30,606	29,985	
J		0,959		29,647	

При взгляде на табл. 5.13 понятно, что данные такие же, как и при нивелировании через превышение (см. стр. 222).

В способе измерения через горизонт прибора при сложении взглядов назад известных точек (точек отсчета) получится высота прибора, а если вычесть из высоты прибора взгляд вперед, то получается высота точки.







...ЧТО Я СМОГУ
ВОССТАНОВИТЬ ЗАМОК!

И ГЕОДЕЗИЯ НАУЧИЛА
МЕНЯ ТОМУ, ЧТО РАБОТАТЬ
С ЛЮДЬМИ - ВЕСЕЛО.

ВАЖНО
РАБОТАТЬ
СЛАЖЕННО...

И КАК ПРАВИТЕЛЬ СТРАНЫ...

Я СМОГ НАЙТИ СИЛЫ,
ЧТОБЫ ПРЕТВОРИТЬ В ЖИЗНЬ
СТАРОДАВНИЕ МЕНТЫ И ЦАЕДЛЫ.

А ТЫ ВЫРОС...

ИСААК.

УРА!

ПОБЫСТРЕЕ
ВОССТАНОВИМ
ЗАМОК, ИСААК!

ПОДОЖДИТЕ!

ДА, ОТЕЦ!

ЧТО?

Я ВЫУЧИЛ ГЕОДЕЗИЮ
И ТЕПЕРЬ НЕ СМОГУ
ПОСТРОИТЬ ЗАМОК?

Я ЖЕ ГОВОРЯЛ,
ГЕОДЕЗИЯ - ПРЕЖДЕ ВСЕГО,
НО ТОЛЬКО С ЕЕ ПОМОЩЬЮ
ЗАМОК НЕ ПОСТРОИШЬ!

ВЕДЬ ПРИ ПОСТРОЙКЕ
ЗАМКА ЕСТЬ МНОГО
ДРУГИХ ВЕШЕЙ,
О КОТОРЫХ НАДО
ДУМАТЬ.

УДИВЛЕНЫ

Хорош...

ТО ЕСТЬ ТЫ ЕЩЕ
НЕ СОВСЕМ
ВЗРОСЛЫЙ...

Погодите

Мы все
вместе
сделаем

НАДО БЫ ТЕБЕ ЕЩЕ ПОУЧИТЬСЯ.

И только
вот отец
обрадовался...

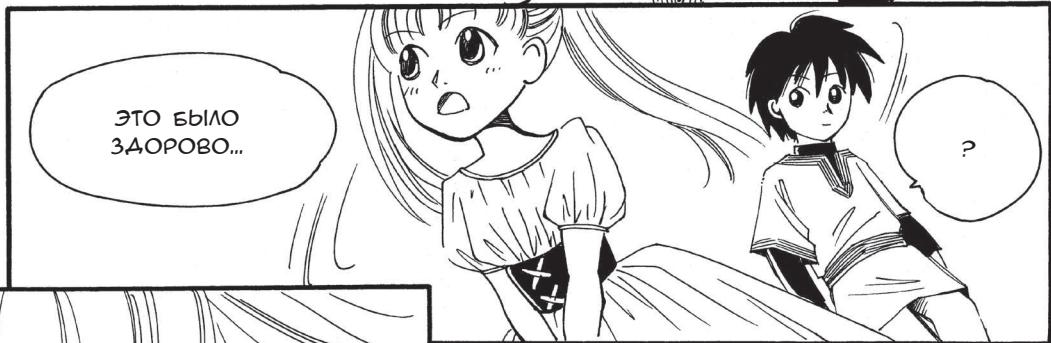
ПОЧЕМУ-У-У-У-У?



ЧТО Ж, ВЕРНЕМСЯ В КАБИНЕТ!
ПУТЬ К МАСТЕРСТВУ ДОЛОГ И ОПАСЕН...

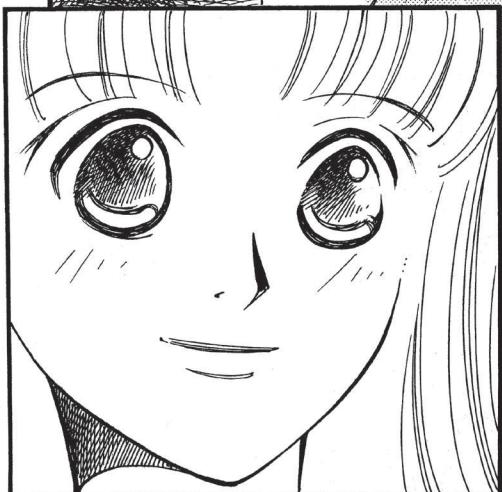
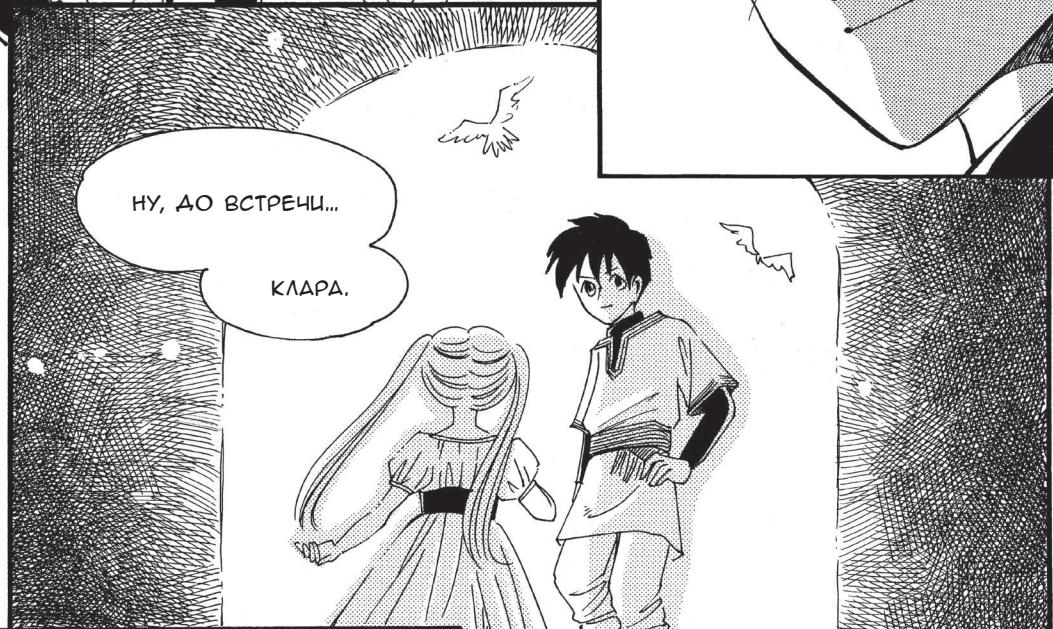


ВСХЛИПЫВАЕТ



ЧТО Я СМОГЛА
УЧИТЬСЯ ВМЕСТЕ
С ТОБОЙ...





ЭПИЛОГ

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

А

- Абсолютная высота 32
Азимут 132
Алидада 170

Б

- Буссоль 129

В

- Вертикальный угол 110
Веха геодезическая 117
Взгляд назад, взгляд вперед 209
Висячий ход 91
Выбор точек 88, 97
Высота 23
 теодолита 113
Высота земной поверхности 209
Высота прибора 232

Г

- Гёкидзу (карта монаха Гёки) 44
Геодезический пункт 27
Геометрическое
нивелирование 200, 204
Глазной диоптр алидады 170
Горизонт прибора 232

- Горизонтальное расстояние 55
Горизонтальный угол 109
Горизонтирование 172, 173
 теодолита 114
Градус 111

Д

- Дирекционный угол 124, 128
Долгота 30
Допустимая величина ошибки
при центрировании (мензульная
съемка) 176
Допустимая погрешность
рулетки 76

Е

- Естественные ошибки 36
 природные ошибки
 при нивелировании 230
 при измерении теодолитом 148

З

- Замкнутый теодолитный ход 90
Значения координат точки 28
Зрительная труба 151

И

Измерение расстояния	54
при теодолитной съемке	125
Измерение углов при съемке	121
Измеренный угол	119
Ино Тадатака	46
Искажения	36
при нивелировании	230
при прокладывании	
теодолитного хода	149
Исследования в поле	88, 97

К

Кайдзодзу (карта морских путей)	44
Колья, колышки	108
Константа прибора	82
Контурная съемка	192
Координаты	19, 21
Круг лево	119
Круг право	118

М

Малые отверстия алидады	170
Мензульная съемка	164
Меры длины	41
Металлический держатель	
для буссоли	151
Метод полярных	
координат	179, 192, 193
Метрическая система	43
Минута	111

Н

Наклонное расстояние	56
Направление	21
Невязка замкнутого хода	195
Невязка приращения	
абсцисс	143

ординат	143
Нивелирная сеть	52
Нивелирный ход	52
Нулевой меридиан	30

О

Окуляр оптического	
центрира	116, 151
Ориентирование	172, 177
Отвес	171
Ошибки (невязки)	
нивелирования	229
теодолитного хода	146
ленты (рулетки)	76
центрирования	175

П

Планирование	88, 93
Плановые приращения	
абсцисс	137
ординат	137
Планшет	169
Поверка	172
Подставка уровня	151
Подъемные винты теодолита	115
Поправка	
за компарирование	76
за наклон	79
за натяжение	79
за провисание	79
за температуру	78
прибора	83
расчет	77
Превышение (способ)	232
Предметный диоптр алидады	170
Привязка координат к пунктам	
триангуляции	161
Приращение	
абсцисс (широта)	134

ординат (отществие, долгота)	134
Проведение съемки.....	88, 109, 125
Промежуточные точки.....	61
Прямое нивелирование.....	206
Пузырек уровня	
круглый уровень	114, 151
цилиндрический уровень.....	170, 173
Пункт триангуляции	27, 28, 49
P	
Разница высот.....	56, 200, 209
Разность фаз.....	81
Разомкнутый ход	90, 154
Расстояние от земли.....	209
Расчеты	88, 126
приращений абсцисс, ординат	134
плановых приращений	
абсцисс, ординат.....	137
Регулировочные винты.....	170
Рейка.....	206, 215
Реперная точка	32, 51
Рулетка.....	60
C	
Светодальномер	81
Секунда.....	119
Составление плана (съемка	
ситуации)	88, 126
Стальная лента	60
Стандартный уровень моря.....	32
Съемка подробностей.....	165, 179, 192
T	
Тахеометр.....	152
Теодолит	113, 150, 151
Теодолитный ход.....	86
Теорема Пифагора	74
Точка отсчета	
высоты реперных точек.....	33, 51
сети триангуляции	50
Точка плановой привязки	
съемки.....	181
Точка съемки	87
Три принципа съемки	24, 25
Y	
Увязка (поправка ошибок)	
приращений абсцисс	
и ординат	142
исправление ошибок	
в приведенном угле.....	126
исправление ошибок	
при нивелировании.....	225
при съемке методом засечек.....	195
замкнутого теодолитного хода.....	126
Увязка (поправка) значения	
абсцисс	143
ординат.....	143
Угол возвышения.....	110
Угол опущения	110
Уровень.....	206
F	
Футшток	51
Ц	
Центрирование.....	116, 172, 174
теодолита	116
Центрировочная вилка	171
Центрировочный шест.....	151
Цилиндрический уровень.....	151
Человеческий фактор	36
индивидуальные ошибки	
(человеческий фактор)	
при нивелировании.....	230
при прокладывании	
теодолитного хода.....	148
Четверть	133

Ш

Шест.....	59
Широта	30
Штатив (тренога)	
при измерении теодолитом ...	113, 151
при нивелировании.....	180

Э

Экватор.....	30
Электронный планшет.....	196
Эратосфен.....	40

Книги издательства «ДМК ПРЕСС» можно купить оптом и в розницу в книготорговой компании «Галактика» (представляет интересы издательств «ДМК ПРЕСС», «СОЛОН ПРЕСС», «КТК Галактика»).

Адрес: г. Москва, пр. Андропова, 38;

тел.: (499) 782-38-89, электронная почта: books@aliens-kniga.ru.

При оформлении заказа следует указать адрес (полностью), по которому должны быть высланы книги; фамилию, имя и отчество получателя.

Желательно также указать свой телефон и электронный адрес.

Эти книги вы можете заказать и в интернет-магазине: www.a-planeta.ru.



Курихара Норихико, Сато Ясую (авторы), Ёсино Харука (художник)

Геодезия

Манга

Главный редактор Д. А. Мовчан
dmkpress@gmail.com

Переводчик А. С. Слащева

Редактор М. Е. Петровичева

Корректор Г. И. Синяева

Верстальщик А. А. Чаннова

Формат 70×100 1/16.

Гарнитура Anime Ace. Печать офсетная.

Усл. п. л. 20,8. Тираж 500 экз.

Отпечатано в ООО «Принт-М»
142300, Московская обл., Чехов, ул. Полиграфистов, 1

Веб-сайт издательства www.dmkpress.com

ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ МАНГА



ГЕОДЕЗИЯ

ПЕРЕД 18-ЛЕТНИМ ИСААКОМ, ПРИНЦЕМ СИБЕРИИ, СТОИТ НЕЛЕГКАЯ ЗАДАЧА: ПОСТРОИТЬ ЗАМОК И ВОССТАНОВИТЬ ЛЕГЕНДАРНУЮ СТРАНУ СВОИХ ПРЕДКОВ. А ПОСКОЛЬКУ ЗА ОБУЧЕНИЕ ПРИНЦА ВЗЯЛСЯ ЗНАМЕНИТЫЙ ПРОФЕССОР ГОГЕНХАЙМ, УСПЕХ ГАРАНТИРОВАН!

ВМЕСТЕ С ГЕРОЯМИ МАНГИ ЧИТАТЕЛЬ ИЗУЧИТ ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ, УЗНАЕТ, КАК ИЗМЕРЯТЬ РАССТОЯНИЕ НА МЕСТНОСТИ ПРИ ПОМОЩИ РУЛЕТКИ, КАК РАБОТАТЬ С ТЕОДОЛИТОМ, ЧТО ТАКОЕ НИВЕЛИРОВАНИЕ И КАК УСТРАНЯТЬ ПОГРЕШНОСТИ ПРИ ИЗМЕРЕНИЯХ. ЧАСТЬ МАТЕРИАЛА ПРЕДСТАВЛЕНА В УДОБНОМ ТАБЛИЧНОМ ФОРМАТЕ, КОТОРЫЙ УПРОЩАЕТ ПОНИМАНИЕ РАСЧЕТОВ.

МАНГА ПРЕДНАЗНАЧЕНА ШКОЛЬНИКАМ И СТУДЕНТАМ, А ТАКЖЕ ВСЕМ, КТО ИНТЕРЕСУЕТСЯ ГЕОГРАФИЕЙ, КАРТОГРАФИЕЙ И СТРОИТЕЛЬСТВОМ.

Интернет-магазин:
www.dmkpress.com

Оптовая продажа:
КТК «Галактика»
books@aliens-kniga.ru

ДМК
издательство
www.дмк.рф

ISBN 978-5-97060-892-0

A standard linear barcode representing the ISBN number 978-5-97060-892-0.

9 785970 608920 >