

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**А.С. Ведяшкин, О.О. Скаленко**

**МЕТОДИКА ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ  
НА БЕРЕГОВЫХ СКЛОНАХ,  
ПОДВЕРЖЕННЫХ ВОДНОЙ И ВЕТРОВОЙ ЭРОЗИИ**

**Методическое пособие с рекомендациями по организации и выполнению  
инструментальных наблюдений за сдвижением береговых склонов для  
студентов высших учебных заведений по специальности  
280302.65 – Комплексное использование и охрана водных ресурсов**

**Калининград  
Издательство ФГБОУ ВПО «КГТУ»  
2011**

РЕЦЕНЗЕНТ

канд., техн., наук, доцент А.В. Кикот

Ведяшкин, А.С., Скаленко, О.О.

Методика инструментальных наблюдений на береговых склонах, подверженных водной и ветровой эрозии / А.С. Ведяшкин, О.О. Скаленко.– Калининград: Изд-во ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2011.–116 с.

В пособии обоснована необходимость организации и проведения натуральных инструментальных наблюдений за сдвижением береговых склонов, описаны необходимые для этого приборы, их поверки и юстировки.

Ил. 45, табл. 8, список лит. – 18 источников.

Методическое пособие рассмотрено и одобрено кафедрой водных ресурсов и водопользования ФГБОУ ВПО «Калининградский государственный технический университет» 31 октября 2011 г., протокол № 2.

Методическое пособие рекомендовано к изданию методической комиссией факультета промышленного рыболовства ФГБОУ ВПО «Калининградский государственный технический университет» 30 ноября 2011 г., протокол № 3.

УДК 528(076)

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Калининградский государственный технический университет»

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение .....	5
1. Обоснование необходимости организации и проведения инструментальных наблюдений на береговых склонах .....	6
1.1 Краткая характеристика береговых склонов Самбийского полуострова и мер их защиты от эрозии.....	6
1.2 Условия устойчивости фильтрующих береговых склонов.....	14
1.3 Определение прочностных характеристик массива горных пород способом «обратных расчетов» .....	22
2. Методика инструментальных наблюдений за эрозией береговых склонов....	25
2.1 Съёмка верхнего контура обрушения склона.....	25
2.1.1 Способ перпендикуляров (ординат или прямоугольных координат).....	25
2.1.2 Полярный способ.....	31
2.1.3 Способ засечек (угловых и линейных) .....	32
2.2 Съёмка профилей береговых склонов.....	34
2.2.1 Способ линейных засечек.....	34
2.2.2 Тригонометрическое нивелирование .....	36
2.3 Съёмка топографии песчаных пляжей .....	39
2.4 Наблюдения за сдвижением земной поверхности и сооружениями.....	46
2.4.1 Наблюдательная станция и методика наблюдений .....	46
2.4.2 Обработка материалов наблюдений по профильным линиям.....	56
3. Приборы для проведения натуральных инструментальных наблюдений за эрозией береговых склонов.....	62
3.1 Теодолиты .....	62
3.2 Нивелиры и нивелирные рейки.....	72
3.3 Приборы для измерения длин линий .....	80
3.3.1 Приборы для непосредственного измерения длин линий .....	80
3.3.2 Дальномеры и лазерные рулетки .....	86
4. Подготовка приборов к работе.....	91
4.1 Поверка и юстировка теодолитов.....	91

4.2 Поверка и юстировка нивелиров .....	98
4.3 Компарирование мерных лент и рулеток .....	103
Приложение:	
Формы журналов натуральных наблюдений за сдвижением земной поверхности и ведомостей обработки результатов .....	105

## **ВВЕДЕНИЕ**

Вопросы прогнозирования обрушения горных пород на береговых склонах, подверженных интенсивной водной и ветровой эрозии, приобретают важное значение для охраны окружающей среды, сохранения ландшафтной привлекательности морского побережья в рекреационных зонах, обеспечения безопасности отдыхающих, сохранения уникальных естественных природных образований.

В методическом пособии приведено обоснование необходимости организации и проведения натуральных инструментальных наблюдений на береговых склонах морского побережья Самбийского полуострова, изложена методика выполнения наблюдений, описаны используемые приборы, даны их технические характеристики, а также поверки и юстировки, которые необходимо выполнять перед началом наблюдений.

Настоящее методическое пособие призвано оказать помощь студентам при выполнении ими геодезической практики, разделов курсовых и дипломных работ, в которых рассматриваются вопросы охраны окружающей природной среды.

В пособии использованы учебная и специальная литература, инструктивные и методические документы и другие источники, которые помещены в списке использованной литературы.

# **1. Обоснование необходимости организации и проведения инструментальных наблюдений на береговых склонах**

## **1.1 Краткая характеристика береговых склонов Самбийского полуострова и мер их защиты от эрозии**

Протяженность Калининградского побережья составляет 148 км, из них на коренные берега Самбийского полуострова Балтийского моря приходится 74 км. Вислинская и Куршская косы, примыкающие к Самбийскому полуострову, имеют протяженность (в пределах границ Российской Федерации), соответственно 25 и 49 км.

Самбийский полуостров сформирован ледниковыми четвертичными отложениями, залегающими на выступе пород неогенового и палеогенового возраста. Морской берег окаймлен береговыми склонами, высота уступов которых достигает максимального значения 61 м у мыса Таран (рис. 1).

Высота береговых уступов плавно снижается в южном и восточном направлениях до 5 – 7 м у г. Балтийска и Зеленоградска.

В пределах берегов Самбийского полуострова основным динамическим процессом принято считать абразионный с темпом от 0,1 до 0,7 м/год на мысах Таран, Купальный, Гвардейский и на Отрадненском выступе, с темпом до 0,6 – 1,5 м/год в бухтах от поселка Филино до г. Светлогорска, восточнее мыса Гвардейский, на западной окраине г. Зеленоградска, южнее мыса Таран до пос. Бакалино. Результаты анализа картографических материалов за 75 лет (1925 – 2000 гг.) показывают, что берег здесь отступил на 40 – 60 м (по данным БФУ им. Канта). Считается, что воздействие волн на береговой склон формирует у его подножия свежую абразионную выемку (выработку) различной высоты и глубины. Это приводит к нарушению равновесия массива горных пород берегового склона и активизации оползневых и обвально-осыпных явлений. В результате образовавшаяся выемка у подножия перекрывается делювием, который в дальнейшем подвергается абразионному воздействию штормов с

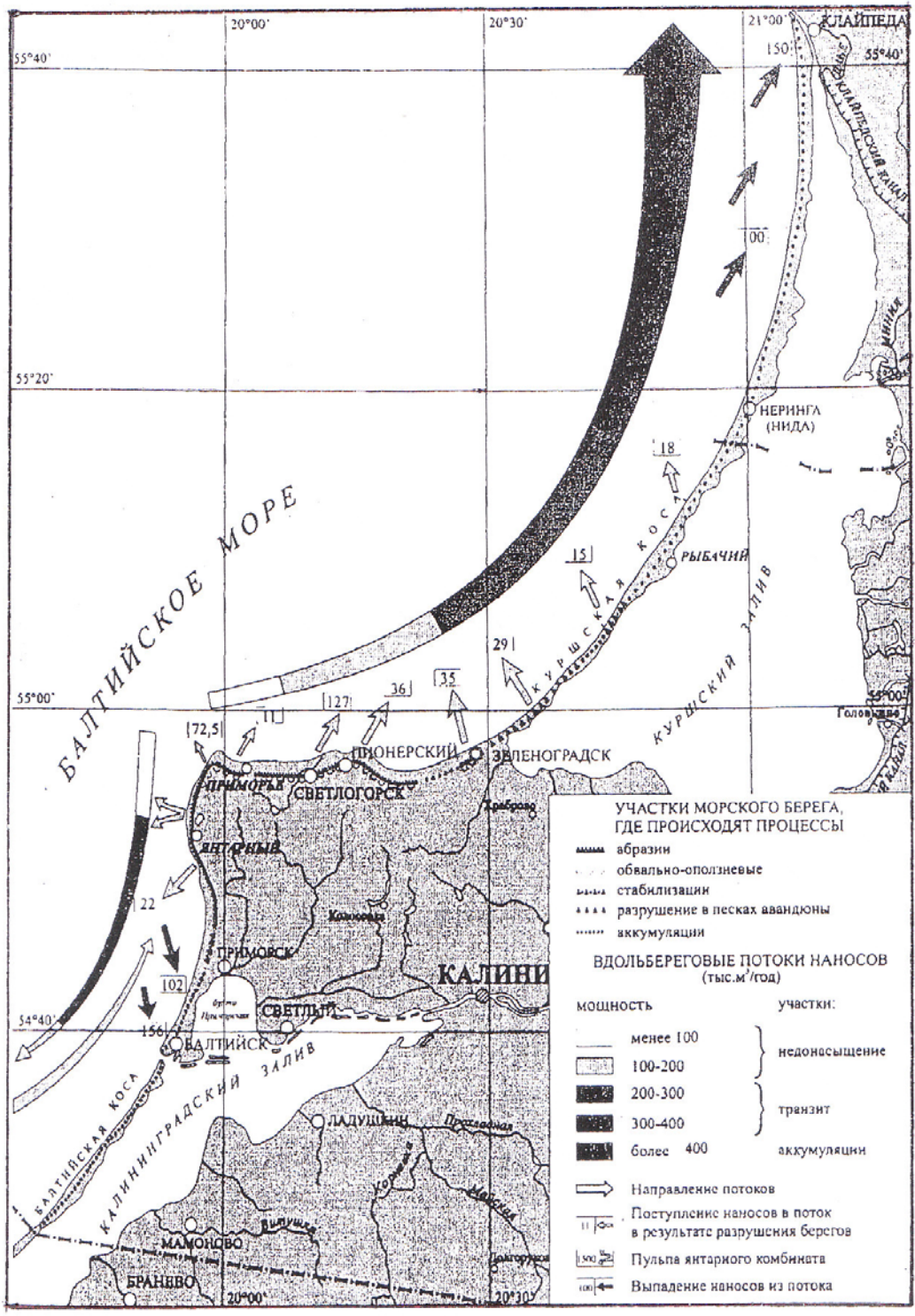


Рис. 1. Морфодинамика береговой зоны

образованием новой выемки в основании склона. В дальнейшем за счет периодического обрушения подножия берегового склона процесс распространяется вплоть до его верхней бровки. Этому благоприятствует и гидрогеологическое строение массива горных пород: частое чередование

песчаных и глинистых прослоев, выходы грунтовых вод на поверхность склона и др.

Литологический состав массива горных пород по одному из разрезов в районе г. Светлогорска показан на рис. 2. Четвертичные отложения представлены прослоями (сверху вниз): морены; лигнита; супесей; суглинков; тонких кварцевых песков; глауконитово-кварцевых песков; песчаников фации «крант»; кварцевых песков «пльвун»; суглинков черных с янтарем; глин голубой земли с янтарем.

На протяжении 32 км Самбийского полуострова береговой уступ отодвигается активно морем, 25 км побережья занимает отмерший береговой уступ, а участок берегового уступа длиной 17 км прикрыт авандюной.

Характерной особенностью высоких участков береговых склонов является их сильное расчленение, подверженность оползневым, овражно-балочным и эрозионным процессам. Деформированию береговых уступов способствуют следующие факторы: строение массива горных пород, представленного частым чередованием песчаных и глинистых пластов и слоев; обнаженность выходов пород на дневную поверхность; значительное количество атмосферных осадков (800-900 мм/год); постоянная влажность и восходящие потоки воздуха, способствующие осаждению этой влаги на поверхности откоса; колебания температуры; разгрузка на откос водоносных горизонтов; морозное пучение и др.

Со стороны моря береговые откосы подвержены круглогодичному волновому воздействию, которое существенно возрастает во время штормов, часто сопровождающихся нагонными явлениями и усилением прибрежных течений.

Некоторые исследователи основной причиной размыва пляжа и береговых уступов считают дефицит наносов на морском склоне и подъем уровня Мирового океана по 1,5 мм в год из-за проявления «парникового эффекта». В отношении дефицита наносов можно согласиться, однако мнение о подъеме уровня Мирового океана (и Балтийского моря) является



необоснованным, так как оно противоречит данным о колебаниях уровня моря, зафиксированным наблюдениями по Кронштадтскому футштоку. Так средний многолетний уровень в Кронштадте за период 1840-1941 гг. был ниже нуля футштока на 0,016 м, а за период 1806 -1970 – ниже на 0,011 м. Нуль футштока – горизонтальная черта на металлической пластине, укрепленной на опоре моста через Обводной канал в г. Кронштадте, – соответствует среднему уровню за период 1825–1840 гг. и фиксирует положение нулевой поверхности системы абсолютных отметок высот России и некоторых стран СНГ (Балтийская система высот).

Искусственные берегозащитные сооружения возводились в виде продольных, глухих и проницаемых стенок, опоясков и берм и поперечных бун. На побережье было возведено 233 буны в различном конструктивном исполнении (из деревянных и железобетонных свай одно, двух и трехрядные с каменным заполнением, из металлического шпунта). Применялись проницаемые для воды конструкции, состоящие из ячеистых берм в виде тетрапоидного ряда с наполнителем, горизонтальных и вертикальных железобетонных балок с нанизанными на них утилизированными автомобильными покрышками и др. Недостатком таких конструкций является ухудшение эстетического вида морского побережья и экологии.

В последние годы для защиты береговых склонов от размыва используются проницаемые габионные стенки. Так в пределах береговой линии в черте г. Светлогорска возведена габионная стенка высотой 4 м (рис. 3).

Вдольбереговая подпорно – защитная габионная стенка содержит коробчатые габионы и фильтрующее полотно (геотекстиль), которое располагают в основании стенки и со стороны берегового уступа.

Однако довольно быстро выявился недостаток такой конструкции габионной стенки – ее невысокая устойчивость против экстремального волнового воздействия при штормах с нагоном воды. На участках побережья с шириной пляжа до 15-20 м (при спокойном уровне воды) прибойные волны

достигали стенки и вызывали деформации коробок габионов, разрыв сетки ящиков, что в конечном итоге приводит к разрушению стенки со стороны моря.

Вдольбереговая подпорно-защитная габионная стенка содержит коробчатые габионы и фильтрующее полотно (геотекстиль), которое располагают в основании стенки и со стороны берегового уступа.

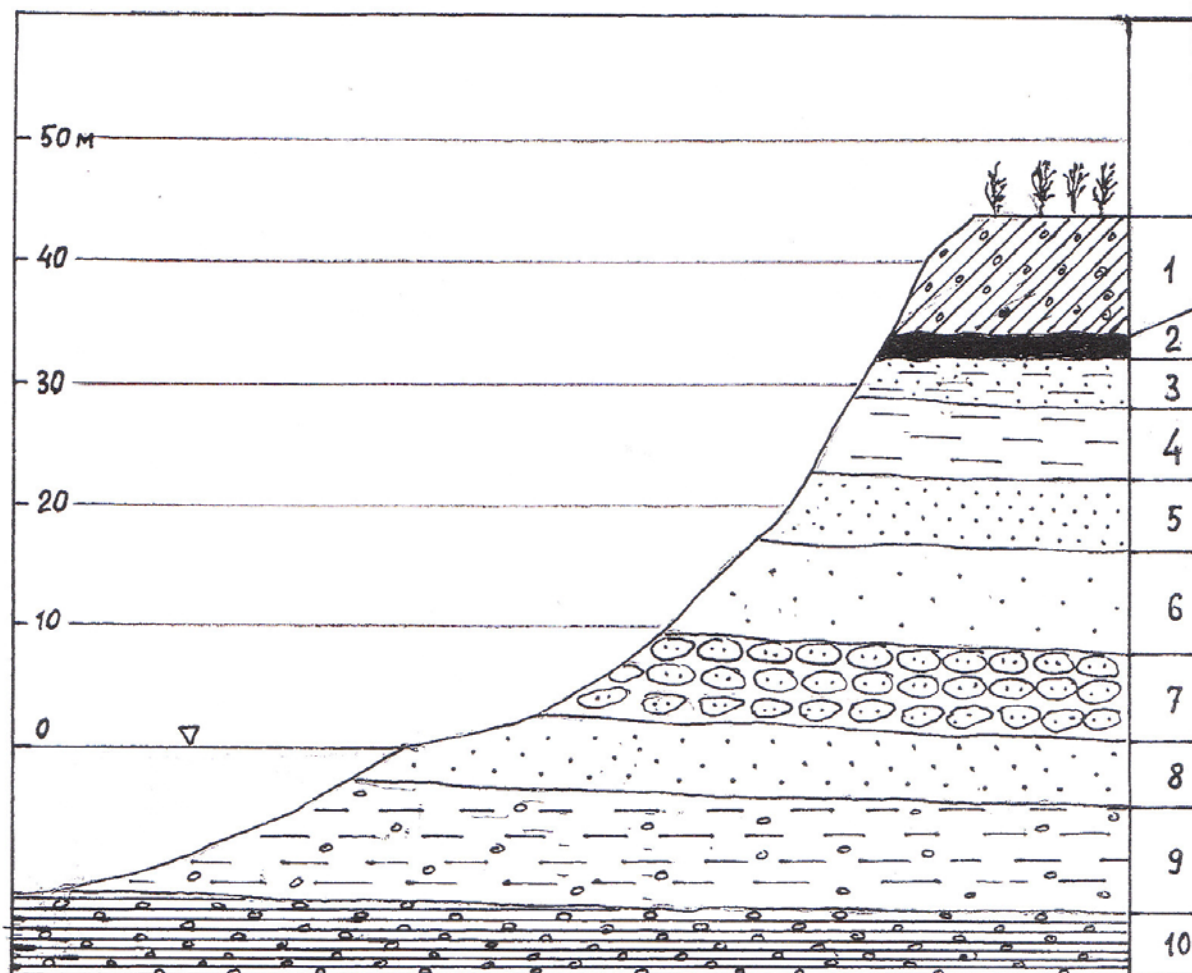


Рис. 2. Литологический состав массива горных пород в районе Самбийского полуострова (г. Светлогорск):

- 1 – морена; 2 – лигнит; 3 – супеси; 4 – суглинки; 5 – тонкие кварцевые пески;  
6 – глауконитово-кварцевые пески; 7 – песчаники фации «крант»;  
8 – кварцевые пески «пльвун»; 9 – суглинки черные с янтарем; 10 – глины голубой земли с янтарем

Однако довольно быстро выявился недостаток такой конструкции габионной стенки – ее невысокая устойчивость против экстремального волнового воздействия при штормах с нагоном воды. На участках с шириной пляжа до 15-20 м при спокойном уровне воды прибойные волны достигали стенки и вызывали деформации коробок габионов, разрыв сетки ящиков, что в конечном итоге приводит к разрушению стенки со стороны моря.

Снижения вредного воздействия волн может быть достигнуто в возведенной габионной стенке путем дополнительного размещения каменной наброски на пляже перед стенкой, либо непосредственно по ступеням стенки (рис. 3).

Таким образом, для защиты береговых уступов морского побережья требуется габионная стенка специальной конструкции, которая способна противостоять не только давлению грунта со стороны уступа, но и волновому воздействию моря.

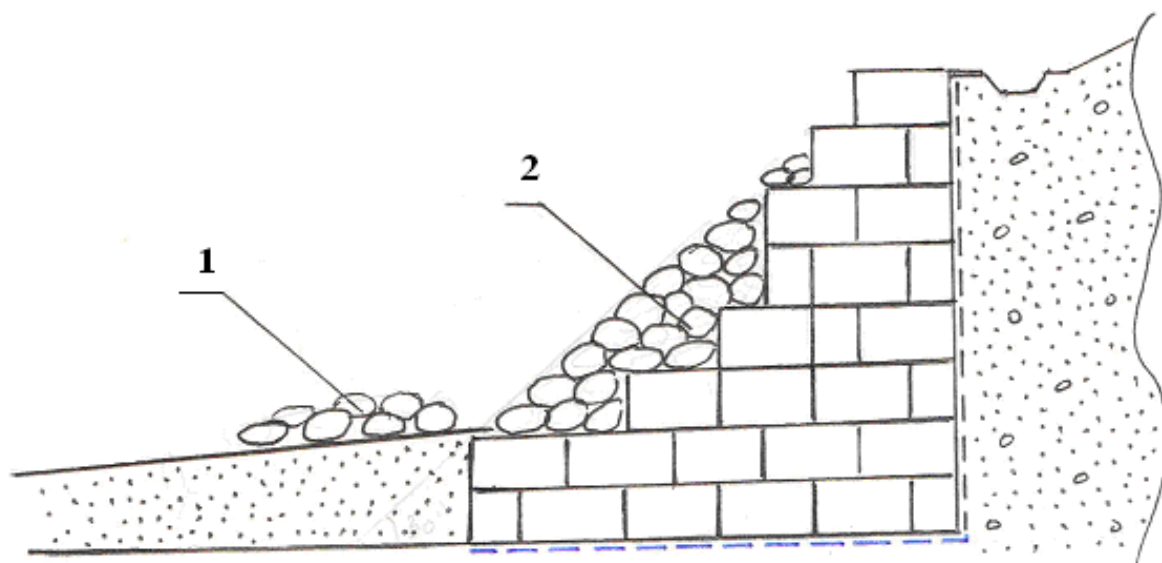


Рис. 3. Меры защиты существующей габионной стенки от воздействия волн:

1 – каменная наброска перед стенкой; 2 – каменная наброска на уступах стенки

На рис. 4 показан поперечный разрез габионной стенки, конструктивно приспособленной авторами методики для защиты морских береговых склонов от разрушения прибойными волнами. Отличие такой стенки от известных конструкций состоит в том, что габионные ящики со стороны моря дополнительно защищены каменной наброской, в основании которой размещен обратный фильтр. Наличие каменной наброски и обратного фильтра обеспечивает защиту габионов от экстремального волнового воздействия.

Габионная стенка работает следующим образом. При ветровом нагоне воды во время шторма забурунившаяся волна разбивается о нижнюю часть каменной наброски и в виде прибойного потока проходит через полости между камнями в средней и верхней частях наброски и только после этого достигает габионов.

Энергия прибойного потока при этом затрачивается на преодоление местных сопротивлений в виде каналов произвольной конфигурации между камнями, на трение между слоями воды и на контакте с твердыми стенками каналов, а также на вихреобразование.

Потеря значительной части энергии существенно снижает силовое воздействие волнового потока непосредственно на габионы при максимальном выбеге волны, которое наблюдается при штормах с ветровым нагоном воды.

Основная масса прибойного потока задерживается в полостях между камнями наброски и габионов и через обратный фильтр поступает в грунт в основании габионной стенки и каменной наброски.

Устойчивость габионов в такой стенке повышается за счет боковой нагрузки от веса каменной наброски, противоположно направленной гидростатическому давлению со стороны берегового уступа. Давление грунта на вертикальную поверхность габионной стенки, отделенной от грунта берегового уступа фильтрующим полотном, распределяется по линейному закону и представлено на рис. 4 эпюрой 7.

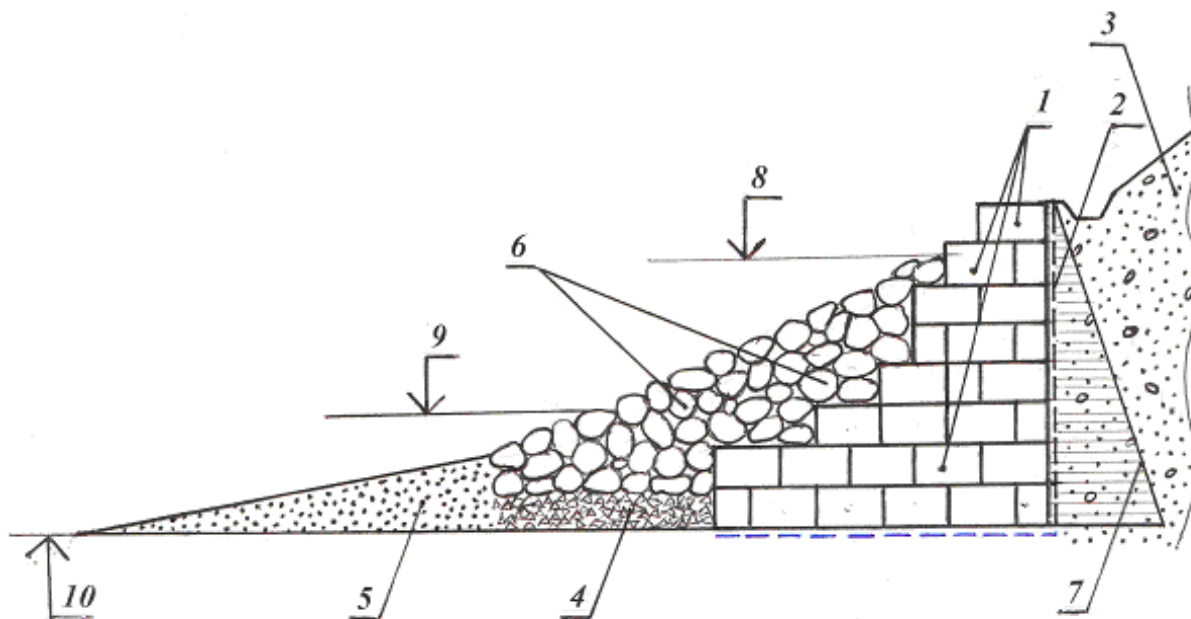


Рис. 4. Конструкция габионной стенки для морского побережья:

1-габионные ящики; 2 – фильтрующий материал; 3 – грунт склона;  
 4 – обратный фильтр; 5 – пляж; 6 – каменная наброска; 7 – эпюра давления  
 грунта склона; 8 – выбег волны при ветровом нагоне; 9 – уровень спокойной  
 воды при ветровом нагоне; 10 – уровень спокойной воды при отсутствии  
 ветрового нагона

При среднем волнении моря 3-4 балла и отсутствии ветрового нагона разбившаяся о песчаный пляж прибойная волна накатывается на нижнюю часть каменной наброски до уровня 9 и частично через обратный фильтр 4 и песчаный пляж 5 возвращается в море в виде грунтового потока. Такое движение воды способствует намыву песчаного пляжа, поскольку откатной поток прибойной волны становится меньше накатного потока и взвешенные твердые частицы в большом количестве осаждаются на напорном откосе.

Предложенная конструкция габионной стенки за счет каменной наброски и обратного фильтра обладает значительно большей устойчивостью к экстремальному волновому воздействию и способствует намыву песчаного пляжа.

Защита основания берегового склона от размыва прибойными волнами может быть обеспечена габионными стенками. Однако разрушение берегового склона от водной (атмосферные осадки) и ветровой эрозии не прекращается и после возведения габионной стенки. Для разработки мер защиты береговых склонов от эрозии необходимо понять механизм разрушения склона, оценить объемы вовлеченных в обрушение массива горных пород, что может быть выполнено только при организации и проведении специальных натуральных инструментальных наблюдений.

## 1.2 Условия устойчивости фильтрующих береговых склонов

Механической характеристикой несвязных горных пород является коэффициент внутреннего трения (тангенс угла естественного откоса), величина которого варьирует в пределах 0,53 – 0,78, а угол внутреннего трения соответственно варьирует в пределах 28-38°.

Условие равновесия в береговых склонах, сложенных из несвязных горных пород соблюдается в том случае, когда угол откоса не превышает угол внутреннего трения.

Как следует из схемы, представленной на рис. 5, частицы несвязной породы удерживаются на свободной поверхности естественного склона под действием силы трения  $S$ , которая уравнивает касательную составляющую  $T$  веса  $P$  частицы.

$$T = S; \quad (1)$$

$$S = fP \cos \alpha; \quad (2)$$

$$T = P \sin \alpha; \quad (3)$$

$$\text{или } P \sin \alpha = fP \cos \alpha,$$

$$\text{откуда } \operatorname{tg} \alpha = f,$$

т. е. тангенс угла естественного откоса равен коэффициенту внутреннего трения сыпучей среды, который в свою очередь равен углу внутреннего трения сыпучей среды.

Исходя из вышеприведенного, получаем:

$$\operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg} \rho \text{ или } \alpha = \rho. \quad (4)$$

Последнее равенство выражает предельное равновесие сыпучей среды. Из него следует, что угол откоса не должен превышать угла внутреннего трения такой среды. Нарушение этого условия приводит к образованию осыпи или обрушения несвязных пород.

Элементарная частица удерживается в равновесии на поверхности, которая представлена совокупностью выступов и впадин соседних частиц, а не на плоской наклонной поверхности.

Поэтому коэффициент внутреннего трения сыпучей среды больше коэффициента трения плоских поверхностей отдельных частиц, в связи с чем угол внутреннего трения сыпучей среды зависит не только от коэффициента трения по поверхности элементарных частиц, но и от их размеров и формы.

Следует отметить, что поверхность откоса является не единственной поверхностью, на которой возникают предельные условия. Предельной поверхностью является также плавная криволинейная поверхность, которая пересекает откос в верхней и нижней точках под углом  $\frac{\pi}{4} - \frac{\rho}{2}$ , а также целое семейство криволинейных поверхностей между поверхностью откос AC и криволинейной поверхностью ABC (рис. 5, б).

Предельное равновесие сыпучих пород по криволинейной поверхности аналогично предельному равновесию связных пород, характеризующихся не только углом внутреннего трения, но и сцеплением.

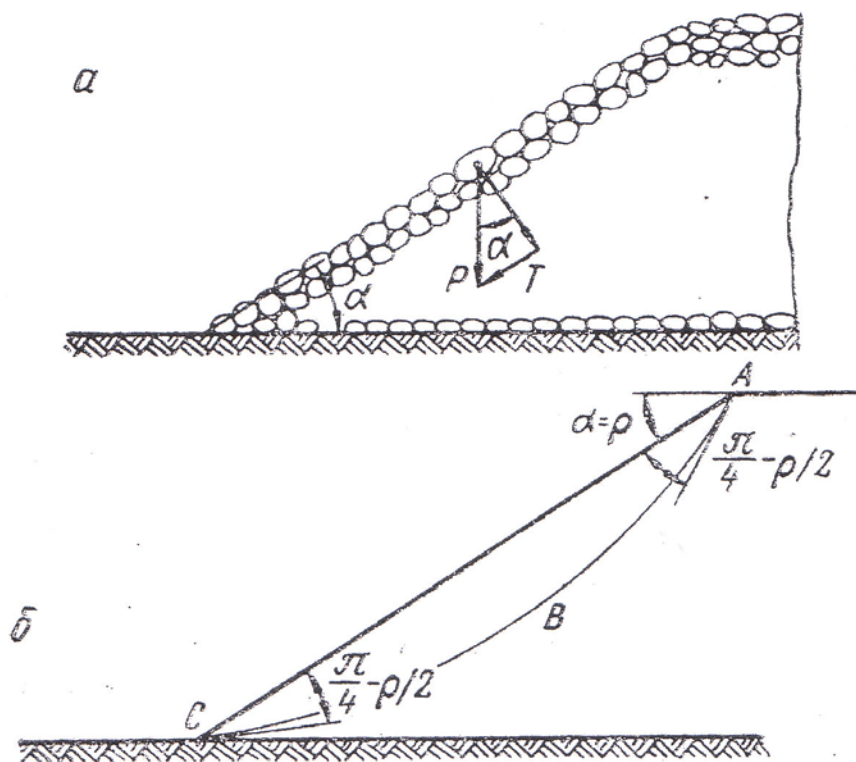


Рис. 5. Равновесие в откосах несвязных пород: а – на поверхности свободного откоса; б – на криволинейной поверхности скольжения

Связные породы (содержащие глинистые частицы) допускают возможность формировать вертикальные откосы определенной высоты  $H_v$ . Для определения степени устойчивости береговых откосов, сложенных из таких пород, в их массиве отыскивают наиболее слабую поверхность, вдоль которой сравнивают удерживающие силы  $\sum S_i$  и сдвигающие –  $\sum T_i$ . Призмой обрушения в этом случае является объем породы склона, ограниченный поверхностью откоса и наиболее слабой поверхностью.

Наиболее слабой поверхностью будет поверхность, по которой действуют силы с наименьшим отношением  $\sum S_i / \sum T_i$ . При равенстве этого отношения единице, поверхность, по которой действуют такие силы, является предельно напряженной и является поверхностью скольжения. Соответствующий этому угол склона является также предельным.



Из вышеизложенного следует, что предельный угол склона связных пород устанавливается по равновесию на наиболее слабой поверхности, которую отыскивают внутри массива склона, в отличие от сыпучих пород, предельное равновесие у которых существует и на поверхности склона.

Действующие по наиболее слабой поверхности сдвигающие силы обусловлены весом массива пород, который расположен над этой поверхностью. Формы поверхностей скольжения и их расположение в массиве зависят от слоистости пород, их механических характеристик, объемного веса, величины угла откоса и его высоты.

В случае, когда массив сложен однородными неводонасыщенными породами поверхность скольжения можно принять круглоцилиндрической, а оценку устойчивости склона можно произвести следующим образом:

- призма возможного обрушения (объем пород между поверхностью склона и поверхностью скольжения), разбивается вертикальными линиями на ряд полос 1,2,...n равной ширины (а, м, рис. 6);

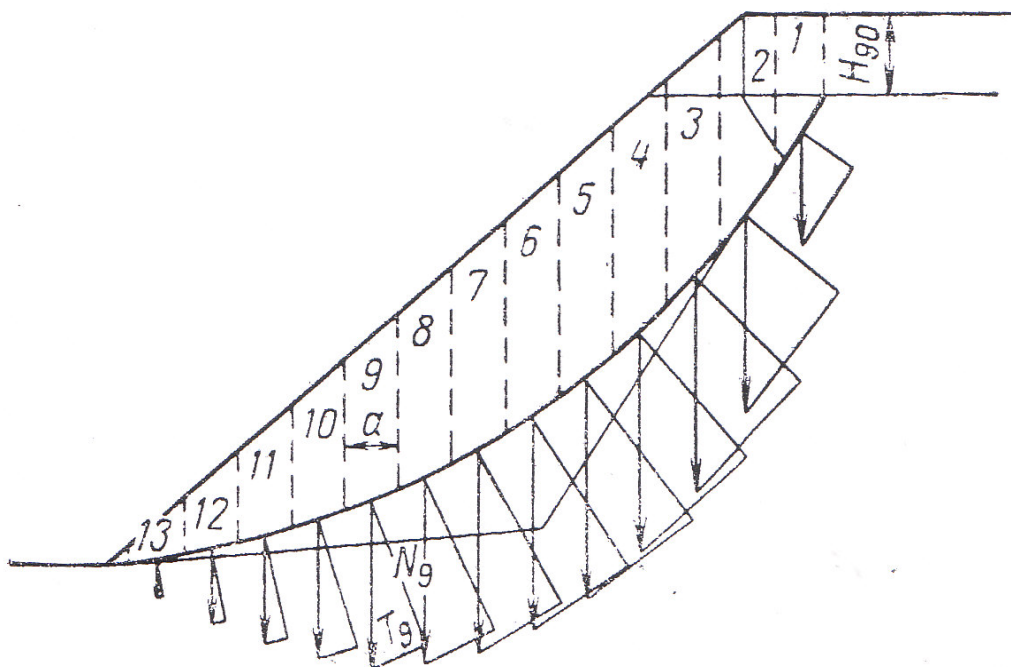


Рис. 6. Равновесие по наиболее слабой поверхности в откосе связных пород

- высота полос, принимается условно за их вес и раскладывается на касательные  $T_i$  и нормальные  $N_i$  составляющие (относительно поверхности скольжения);

- отдельно суммируют все отрезки касательных и нормальных составляющих (в мм), а суммы умножают на масштаб с векторов  $T_i$  и  $N_i$ , который определяют по формуле:

$$c = \frac{\alpha \cdot \gamma \cdot m}{1000}, \quad (6)$$

где  $\gamma$  – объемный вес пород;

$m$  – знаменатель масштаба, в котором построен чертеж (при этом ширина полосы вдоль бровки склона рассматриваемой части призмы возможного обрушения принимается равной 1 м);

- измеряют длину  $L$  расчетной поверхности скольжения АС и составляют следующее отношение:

$$\frac{fc \sum N_i + KL}{c \cdot \sum T_i} \geq 1, \quad (7)$$

где  $f$  – коэффициент внутреннего трения горных пород расчетной поверхности;

$K$  – сила сцепления, которая приходится на единицу площади расчетной поверхности.

Числитель уравнения (7) содержит сумму сил, которые удерживают массив по поверхности скольжения, а в знаменатель – сумму сдвигающих сил. Если суммы сдвигающих и удерживающих сил равны, склон находится в предельном состоянии, при котором начинается оползание или обрушение склона.

В верхней части призмы обрушения, где поверхность обрушения наиболее крутая, сдвигающие силы превышают силы трения и сцепления, и эта часть удерживается только благодаря наличию упора со стороны нижней части призмы обрушения, которая расположена на пологой части поверхности

скольжения. Таким образом, верхняя часть призмы обрушения является призмой активного давления, а нижняя часть – призмой упора.

Для борьбы с оползнями следует уменьшать вес призмы активного давления и увеличивать вес призмы упора.

В случае фильтрации воды через склон сыпучих пород условие устойчивости на его поверхности значительно усложняется. Величина предельного угла склона зависит при этом не только от коэффициента внутреннего трения, но и от гидродинамического градиента  $J$  фильтрующегося полотна, а также от изменения объемного веса взвешенной в воде породы.

Гидродинамический градиент численно равен уклону грунтового полотна (при его выклинивании на поверхности склона) и имеет значение объемной силы, приходящейся на единицу объема горной породы. При этом равнодействующая двух объемных сил (веса песчаного «скелета», облегченного весом вытесненной им воды, и гидродинамического градиента) отклоняется от вертикали на некоторый угол  $\delta$ , значение которого можно найти по формуле:

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{J \cos \alpha_1}{\gamma_2 + J \sin \alpha_1}. \quad (8)$$

Если бы угол  $\delta$  (рис. 7) был равен нулю, т. е. при вертикальном расположении равнодействующей  $OM$ , то угол склона был бы равен углу внутреннего трения среды под водой.

Поскольку  $\delta \neq 0$ , то отклонение равнодействующей от вертикали на угол  $\delta$  соответственно уменьшает угол склона на равнозначный угол, т. е.

$$\alpha_1 = \rho_B - \delta; \text{ или } \delta = \rho_B - \alpha_1. \quad (9)$$

С учетом того, что  $J = \operatorname{tg} \alpha_1$ , можно записать следующее равенство:

$$\operatorname{tg} (\rho_B - \alpha_1) = \frac{\operatorname{tg} \alpha_1 \cos \alpha_1}{\gamma_2 + \operatorname{tg} \alpha_1 \cdot \sin \alpha_1}. \quad (10)$$

В результате преобразования (10) условие предельного равновесия фильтрующего склона принимает вид:

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{\gamma_2}{\gamma_2 + 1} \operatorname{tg} \rho_B. \quad (11)$$

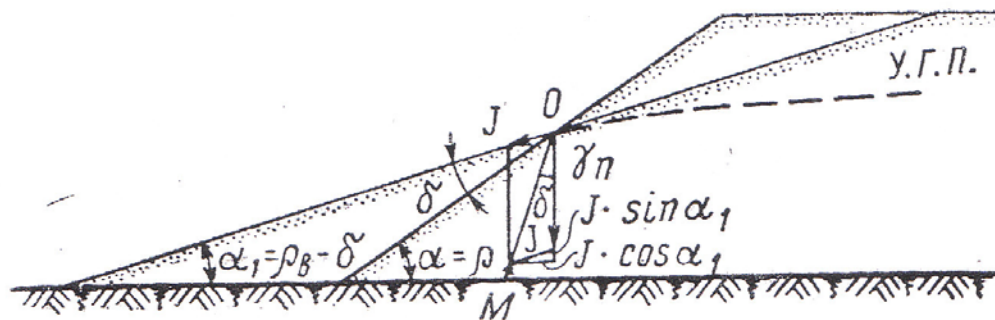


Рис. 7. Схема сил в свободном откосе несвязных пород при фильтрации водного потока. У.Г.П. – уровень грунтового потока

В результате натуральных наблюдений, выполненных на фильтрующих склонах, установлено, что после достижения некоторой высоты участка высачивания поток собирается в отдельные ручейки, в результате чего происходит оплывание и еще большее выполаживание песчаных откосов. Оплывание склона характеризуется углами:  $8 - 10^{\circ}$  – мелкозернистые пески;  $10 - 12^{\circ}$  – среднезернистые пески;  $12 - 16^{\circ}$  – крупнозернистые пески;  $18 - 20^{\circ}$  – гравелистые пески.

Для фильтрующих береговых склонов, сложенных из связных пород, условие их устойчивости записывается так же, как и условие устойчивости связных неводонасыщенных пород. Только в этом случае сумма нормальных напряжений, которые действуют по наиболее слабой поверхности, уменьшается на величину суммарного гидродинамического давления, распределенного по этой поверхности:

$$\sum Ti \leq \sum tg \rho_i (N_i - l_i D_i) + \sum K_i l_i, \quad (12)$$

где  $D_i$  – интенсивность гидродинамического давления по площадке  $l_i$  (рис. 8).

На каждый элементарный объем горного массива фильтрующего берегового склона, который расположен под уровнем грунтовых вод, кроме силы веса, оказывают влияние взвешивающая (Архимедова) сила и силы

берегового гидродинамического давления (при разности напоров по боковым граням этого объема).

Взвешивающая сила уменьшает вес элементарных блоков и, соответственно, нормальную и касательную составляющие. Гидростатическое взвешивание и гидродинамическое давление на призму возможного обрушения проявляется в виде гидростатического давления, распределенного по нормали к поверхности скольжения. На касательную составляющую давление воды существенного влияния не оказывает ввиду малого значения скоростного напора по сравнению с геометрическим напором.

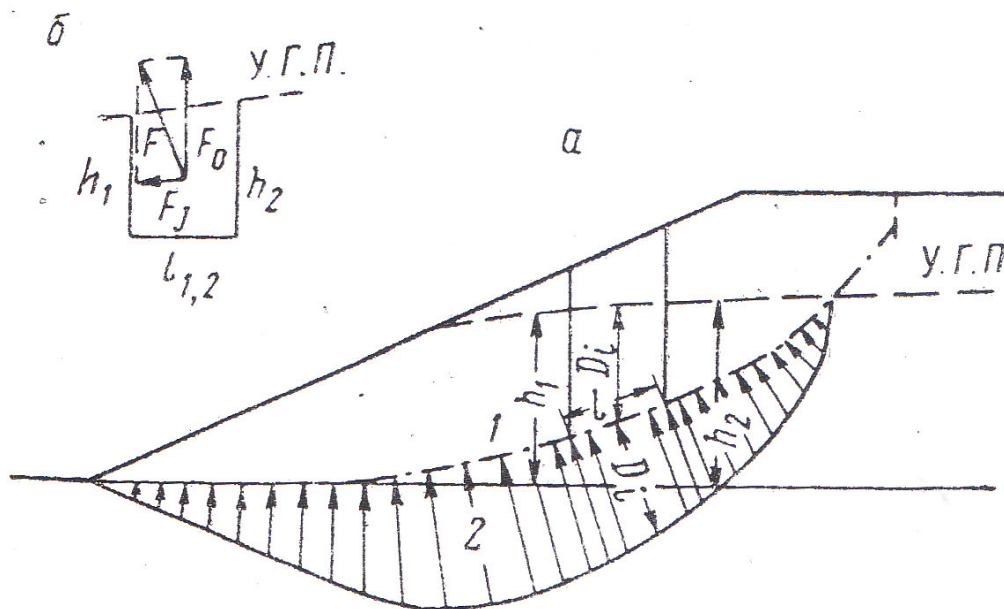


Рис. 8. Схема сил гидростатического и гидродинамического давления: а – в откосе связных пород; б – в элементарном блоке; 1 – поверхность скольжения; 2 – эпюра давления воды на призму обрушения

Грунтовый поток рассматривается как объемная сила, по направлению ориентирования вдоль линий тока, а по величине, равная градиенту потока, который определяется по формуле:

$$J = \frac{h_2 - h_1}{l_{1-2}}, \quad (13)$$

где  $h_1, h_2$  – геометрические напоры в точках 1 и 2, расположенных на одной линии тока, м;

$l_{1-2}$  – расстояние между точками 1 и 2, м.

Объемную силу можно определить как произведение объема на удельную силу, $J$

$$F_J = J \cdot V = \frac{h_2 - h_1}{l_{1-2}} * \frac{1}{2}(h_2 + h_1) \alpha l_{1-2} = \frac{1}{2} S_2 h - \frac{1}{2} S_1 h_1, \quad (14)$$

где  $S_1$  и  $S_2$  – площадь передней и задней граней элементарного блока, м<sup>2</sup>;

$a$  – ширина полосы, м.

Таким образом, формула (14) позволяет перейти от объемных сил к силам по контуру.

Одновременно снизу действует гидростатическая сила, которая направлена снизу вверх (рис. 8,б). Так как для элементарного блока объемные силы можно заменить на контурные, то и для всей призмы возможного обрушения можно перейти к контурным силам, т. е. в расчет принимать только гидростатическое давление, распределенное по поверхности скольжения.

### **1.3 Определение прочностных характеристик массива горных пород способом «обратных расчетов»**

Способ «обратных расчетов» основывается на результатах съемки происшедших оползней (обрушений) береговых склонов. Этот способ нашел широкое применение в практике проведения открытых горных работ, там где организованы и проводятся регулярные натурные инструментальные наблюдения за сдвижением бортов карьеров и откосов отвалов вскрышных пород.

При этом способе определяются сцепление и угол внутреннего трения больших объемов пород, участвующих в обрушении и обладающих всеми структурно-тектоническими особенностями горного массива. Поэтому

параметры прочностных свойств, полученные способом «обратных расчетов», характеризуют горный массив в целом.

Способ «обратных расчетов» основывается на сопоставлении сдвигающих сил и сил сопротивления сдвигу до и после оползня. Перед обрушением массив горных пород удерживается в равновесии силами сцепления и трения, которые действуют по наиболее слабой поверхности. Уравнение равновесия при этом имеет вид:

$$\sum T_i = \operatorname{tg} \rho \sum N_i + KL, \quad (15)$$

где  $\sum T_i$  - сумма сил, сдвигающих массив, Н;

$\operatorname{tg} \rho \sum N_i + KL$  - сумма сил, удерживающих массив в равновесии, Н;

$L$  – длина поверхности скольжения, м.

После обрушения части пород в ненарушенном горном массиве устанавливается его новое равновесное состояние. Однако силы сцепления по наиболее слабой поверхности несколько малы, что в большинстве случаев ими можно пренебречь и тогда уравнение равновесия запишется в виде:

$$\sum T_i' = \operatorname{tg} \rho \sum N_i'. \quad (16)$$

Значение угла внутреннего трения горного массива при применении способа «обратных расчетов» определяется по формуле (16), а величины сцепления – по (15).

Оценка состояния горного массива производится с использованием расчетных значений физико-механических свойств горных пород, которые получаются на основе использования результатов лабораторных опытов и введения определенных коэффициентов.

Исследованиями Всесоюзного научно-исследовательского института горной геомеханики и маркшейдерского дела (ВНИМИ) установлено, что угол внутреннего трения, получаемый для определенной породы в лабораторных условиях, примерно равен углу внутреннего трения для горного массива. В то же время сцепление в массиве горных пород  $K_m$  существенно отличается от

сцепления в образце  $K_{л}$  этой породы в сторону уменьшения и может быть рассчитано по формуле:

$$K_{м} = \lambda K_{л}, \quad (17)$$

где  $\lambda$  – коэффициент структурного ослабления.

При выполнении расчетов устойчивости бортов карьеров ВНИМИ рекомендуют в прочностные характеристики горных пород  $K_{м}$  и  $\rho_{м}$  вводить коэффициент запаса  $\Pi_{зап} = 1,2 - 1,5$ , который учитывает совокупное влияние погрешности лабораторного определения сдвигу, погрешности влияния трещиноватости на сопротивление сдвигу горных пород в массиве и других факторов основных расчетных характеристик сопротивления.

Полученные с учетом коэффициента запаса ( $\Pi_{зап}$ ,  $n_{зап}$ ) значения прочностных характеристик горных пород являются расчетными и используются при обосновании параметров бортов карьеров.

Таким образом, расчетное значение сцепления и угла внутреннего трения пород в массиве определяются из выражений:

$$K_{р} = K_{м}/\Pi_{зап}; \quad \rho_{р} = \arctg(\rho_{м}/n_{зап}). \quad (18)$$

Расчетные значения прочностных характеристик горных пород позволят обоснованно решать вопросы обеспечения устойчивости открытых береговых склонов.

Для использования метода «обратных расчетов» необходимы параметры обрушений, которые могут быть получены в результате проведения натуральных инструментальных наблюдений на береговых склонах.



## **2. Методика инструментальных наблюдений за эрозией береговых склонов**

### **2.1 Съёмка верхнего контура обрушения склона**

#### **2.1.1 Способ перпендикуляров (ординат или прямоугольных координат)**

Съёмка контура обрушения (верхней бровки) берегового уступа заключается в определении положения характерных точек относительно стороны теодолитного хода, либо условной линии между двумя точками, которые закрепляются на длительное время грунтовыми реперами.

Данные измерений при съёмке заносят в схематический чертеж – абрис, масштаб которого принимается произвольным. На абрисе показывают расположение вершины теодолитного хода, либо расположение реперов условной линии, числовые результаты измерений и пояснительные записи. Абрис выполняют в карандаше четко и аккуратно, так как он является основным документом съёмки и служит материалом для составления плана развития обрушения берегового уступа.

Сторону съёмочного обоснования располагают вдоль снимаемого контура – верхней бровки обрушения берегового уступа. Это позволяет измерять линейные расстояния между точками снимаемого контура и стороной съёмочного обоснования. На контуре обрушения по верхней бровке намечают характерные точки 1,2,3... (рис. 9), из которых на сторону I - II опускают перпендикуляры.

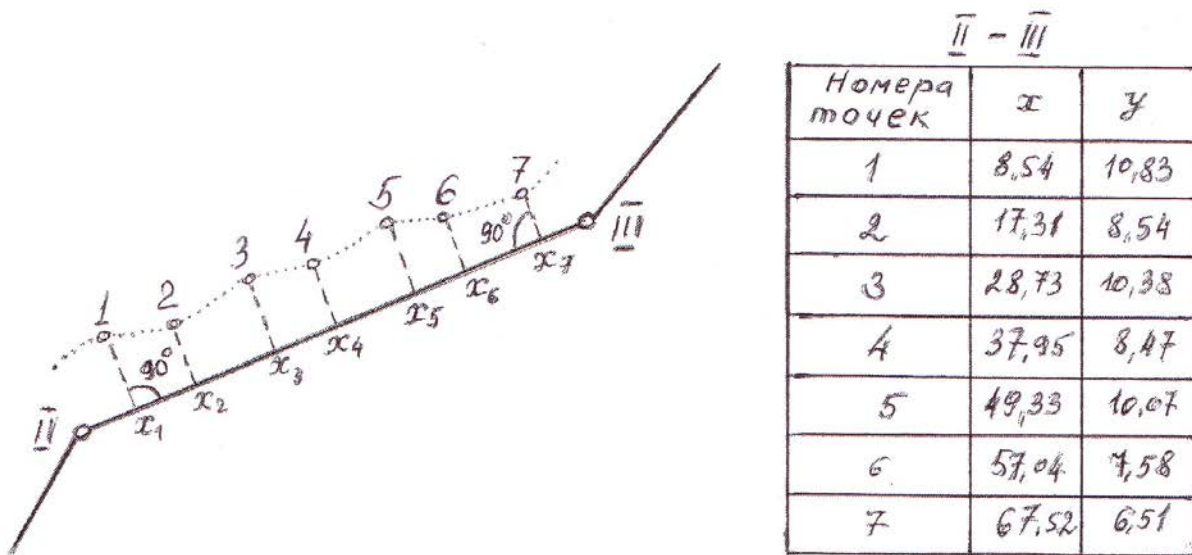


Рис. 9. Съёмка способом перпендикуляров (ординат или прямоугольных координат): а – абрис; б – журнал съёмки

Сторона II – III принимается условно за ось x, а перпендикулярное к ней направление – за ось y. Рулеткой измеряют расстояние  $x_1, y_1, x_2, y_2, \dots$ . Удобнее, когда по линии II - III в створе выполнены вешки с интервалом, равным длине мерной ленты, а сама мерная лента поочередно (на время замеров) натягивается между очередной парой вешек. Отсчеты ведут для всех точек от одного начала – например от точки II.

Результаты съёмки записывают простым карандашом или шариковой ручкой в журнале и составляют подробный абрис. Если участок съёмки наклонный, то в процессе съёмки удерживают ленту в горизонтальном (глазомерно) положении, либо учитывают поправки за наклон, угол которого измеряют эклиметром (рис.10, а). При использовании эклиметра в журнале выделяют дополнительные колонки, в которые записывают углы и горизонтальные проложения.

Наибольшее распространение в практике измерений углов наклона линий получил круговой маятниковый эклиметр. Он состоит из круглой металлической (пластмассовой) коробки 1, в которой вокруг горизонтальной оси вращается кольцо 6. На ободе кольца 6 имеются градусные деления в обе стороны от 0 до  $\pm 60^\circ$ . К кольцу 6 прикреплен груз 7 в виде сектора, под

действием силы тяжести которого нулевой диаметр шкалы устанавливается в горизонтальное положение. Стопорная кнопка 2 (арретир) расположена сверху коробки и служит для торможения кольца. С коробкой соединена пустотелая визирная трубка с двумя диоптрами. Глазной 3 диоптр выполнен виде горизонтальной щели, а предметный 5 – представляет собой окно с горизонтально натянутой металлической нитью. Против глазного диоптра в коробке имеется окошко, через которое с помощью лупы 4 берутся отсчеты по шкале кольца.

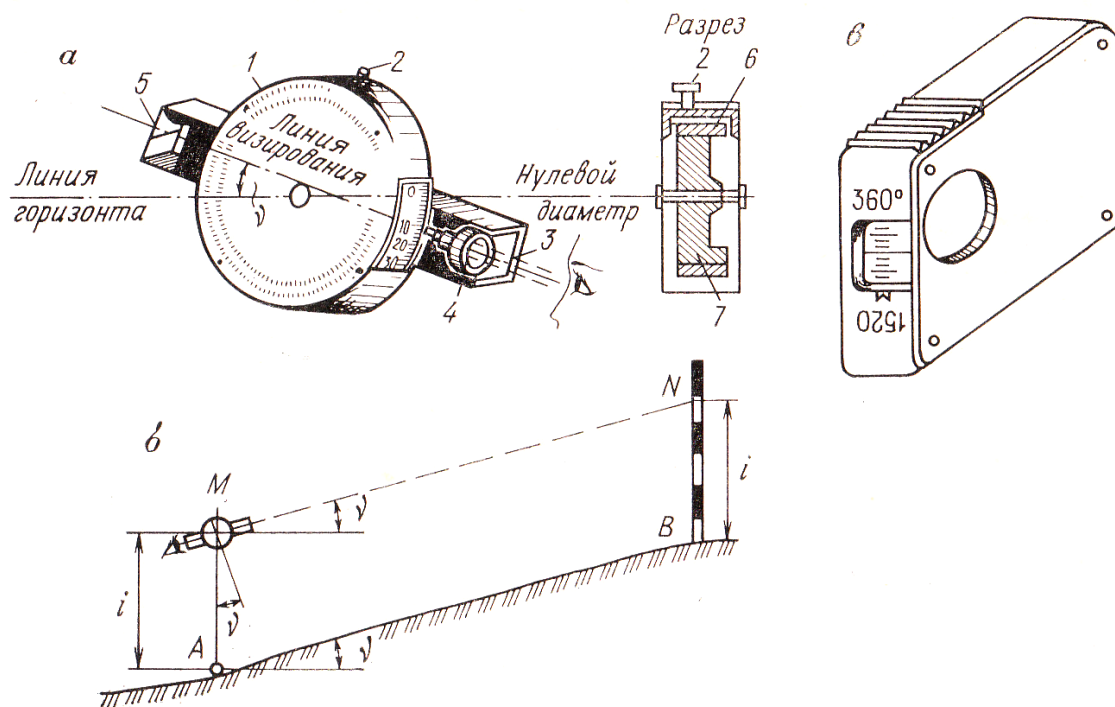


Рис. 10. Эклиметры

Если ось визирной трубки установить параллельно линии АВ (рис. 10, б) наклона и зафиксировать взаимное положение коробки и круга (отпустив кнопку), то между осью трубки и нулевым диаметром образуется угол, равный углу наклона.

По шкале кольца берут отсчеты с точностью до  $15'$ . При этом на противоположном от наблюдателя конце линии на вешке должен быть отмечен уровень глаз наблюдателя. На эту отметку и направляют визирную ось прибора. Для контроля угол наклона линии измеряют в прямом и обратном

направлениях. За окончательное значение угла наклона линии принимается среднее арифметическое.

Эклиметр – высотомер ЭВ – 1 (рис. 10, в) имеет тот же принцип действия. У этого эклиметра на ободе колеса нанесены две шкалы: одна предназначена для измерения углов наклона, другая – для определения превышений при длинах линий 15 и 20 м. Визирование ведется вдоль наружной вертикальной поверхности корпуса путем совмещения индекса диафрагмы с точкой наведения. При этом измерение углов наклона ведется при верхнем, а превышений – при нижнем расположении стопорной планки.

Эклиметры позволяют измерять углы наклона линий местности с погрешностью 15 – 30'. При углах наклона линий более 5 – 6° их измерение должно выполняться с помощью вертикального круга теодолита.

Короткие перпендикуляры (до 1–2 м) можно намечать на глаз, а длинные – намечают с помощью специального геодезического прибора эккера или задают перпендикулярные (90°) направления от линий II – III теодолитом, либо с помощью веревочного треугольника Пифагора (со сторонами, кратными 3, 4 и 5 м).

Эккер – прибор для построения на съемочной площадке прямых углов (и углов, кратных 45°). Они бывают простые, зеркальные, призмные (рис. 11).

Простой эккер представляет собой закрепленные на стержне крестообразно две пластины с визирными штырями. Другие конструкции эккеров имеют вид цилиндрического, либо конусного устройства с диоптрами (смотровыми щелями и щелями с нитями) через 45°. Глазной диоптр является более узким, а предметный диоптр снабжен визирным волоском.

Наибольшее распространение при съемках получил двухзеркальный эккер. В нем зеркала устанавливаются вертикально под углом 45° друг к другу. В металлической оправе над зеркалами устроены смотровые окошечки. Для того, чтобы удерживать эккер в рабочем положении, к его корпусу прикреплен ручка с крючком в нижней части для подвешивания отвеса. Принцип действия эккера состоит в том, что луч света, отраженный от двух плоских зеркал, пересекает свое начальное направление под углом в два раза большим, чем угол между зеркалами (т. е. под углом 90°).

Пусть эккер установлен над точкой В (рис. 11, д) и ориентирован на точку А. Тогда луч АВ дойдет до первого зеркала в точке Е под углом  $\alpha$ , отразится от него (при равенстве углов падения и отражения), а затем дойдет до второго зеркала в точке Д под углом  $\beta$ . Под этим же углом луч отразится из точки Д и пройдет через точку В к наблюдателю. Во втором зеркале наблюдатель увидит точку А. Из  $\triangle ЕДВ$  внешний угол  $x = 2(\alpha + \beta)$ , а из  $\triangle ЕСД$   $\gamma = \alpha + \beta$ , т. е.  $x = 2\gamma$ . Для того чтобы  $x = 90^\circ$ , необходимо, чтобы  $\gamma = 45^\circ$ .

Посредством двухзеркального эккера можно опустить перпендикуляр на прямую линию и построить его к ней в какой-либо точке.

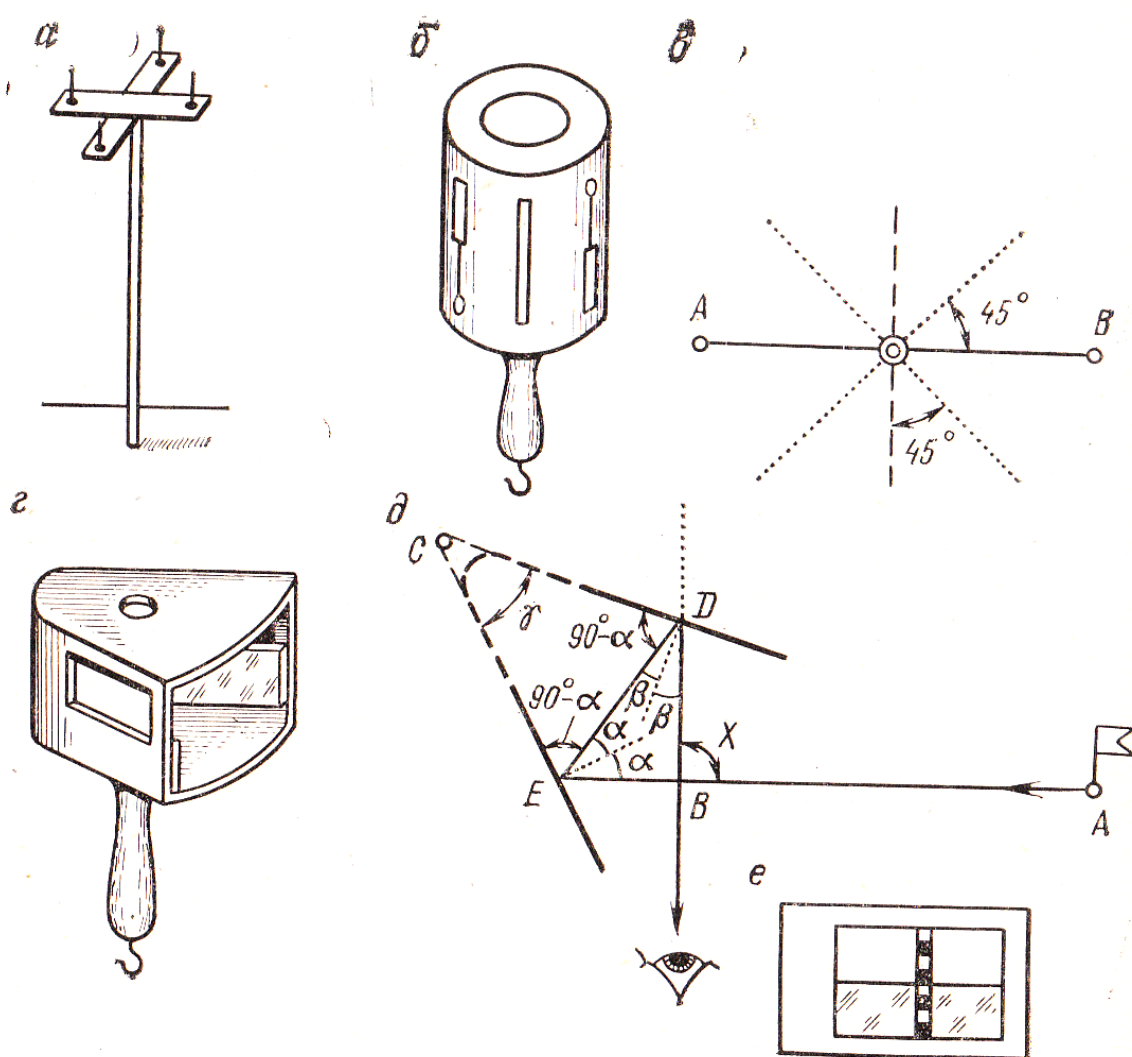


Рис. 11. Эккеры: а – простой; б – цилиндрической формы; в – схема (вид сверху) задания направлений эккером цилиндрической формы; г – двухзеркальный эккер; д - схема хода лучей в двухзеркальном эккере; е – момент совпадения изображений вешки в окошечке и в зеркале

В первом случае эккер устанавливают на линию открытой (объективной) частью в сторону точки, по которой производится ориентирование (рис. 12). Передвигаясь вдоль линии АВ, находят положение точки  $C_2$ , в которой изображения в эккере (ориентирной вешки – в зеркале, выставяемой вешки – в окошечке) совмещаются. Эккер удерживают в руке и под прикрепленным к его ручке отвесом отмечают точку  $C_2$ . Во втором случае наблюдатель удерживает эккер в руке над точкой Д, а его помощник с вешкой перемещается до такого положения (точка С), когда в зеркале и окошечке эккера совместятся изображения ориентирной и выставяемой вешек.

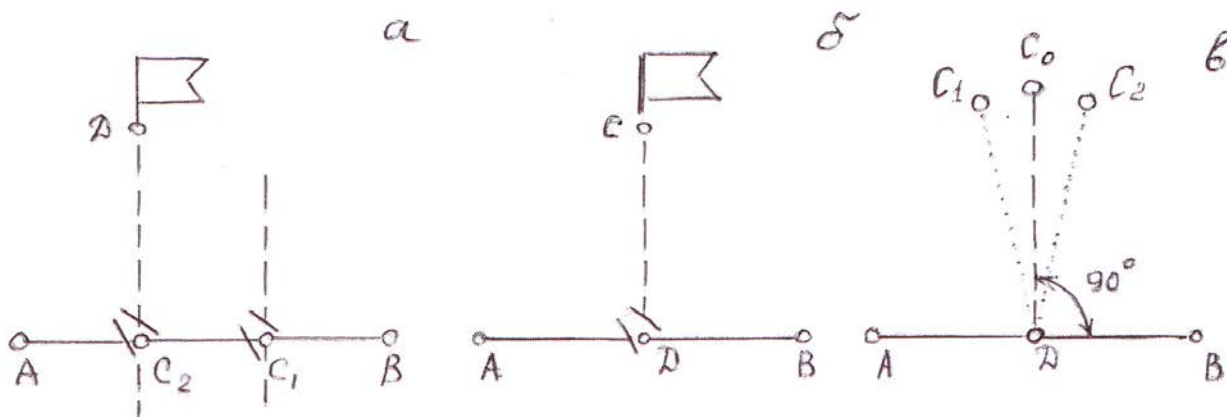


Рис. 12. Построение прямых углов эккером: а- построение перпендикуляра на прямую из точки Д; б - построение перпендикуляра к прямой из точки Д; в - схема поверки эккера

Перед работой выполняют поверку эккера следующим образом. В одной и той же точке строят перпендикуляр к линии, ориентируясь по точкам А и В (рис.12, в). Перпендикулярная линия должна быть единственной. В противном случае расстояние  $C_1C_2$  делят пополам и намечают точку  $C_0$ . Исправительными винтами регулируют угол между зеркалами, пока не добьются совпадения задаваемых направлений с точкой  $C_0$ . Средняя квадратическая погрешность построения прямого угла двухзеркальным эккером составляет  $4'$ .

## 2.1.2 Полярный способ

Съемка способом полярных координат производится теодолитом с пунктов съемочного обоснования или промежуточных пунктов, закрепленных для выполнения наблюдений в течение длительного времени грунтовыми реперами. За исходное направление обычно принимается одна из сторон съемочного обоснования или сторона между промежуточными пунктами.

Сторона теодолитного хода  $4т$   $5т$  (рис. 13) принимается за полярную ось, а вершина  $5т$  за полюс. Для определения положения точек (например 1 и 2) достаточно измерить горизонтальные углы  $\beta_1$   $\beta_2$  между исходным направлением и направлениями на снимаемые точки и расстояния  $l_1$ ,  $l_2$  до этих точек.

Горизонтальные углы измеряются техническим теодолитом, одним полуприемом, расстояния – стальной лентой (рулеткой) нитяным или оптическим дальномером. Для приведения наклонных длин линий  $l$  к горизонтальному расстоянию  $D$  измеряют эклиметром или теодолитом углы их наклона  $\delta_i$ . Допустимые расстояния до речных точек регламентируются инструкцией по топографической съемке в масштабе 1: 5000; 1: 2000; 1: 1000 и 1: 500 в зависимости от условий и масштаба. Результаты съемки записываются чернилами в журнал и отражаются в подробном абрисе, составленном в ее процессе.

Съемку способом полярных координат удобно выполнять нивелиром, снабженным горизонтальным кругом (например, нивелиром Н – 10Л или нивелиром Ni - 007).

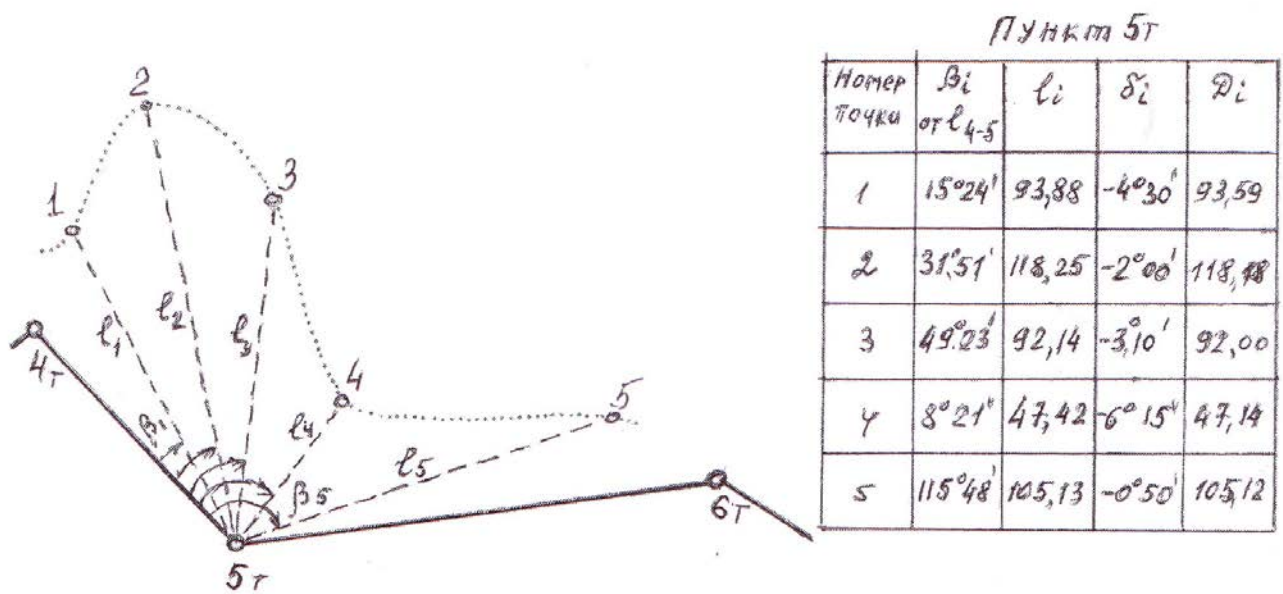


Рис. 13. Съёмка полярным способом (способом полярных координат):

а – абрис; б – журнал съёмки

В этом случае горизонтальные углы берутся по горизонтальному кругу, а горизонтальные проложения от опорной точки до точки контура – по нитяному дальномеру нивелира.

### 2.1.3 Способ засечек (угловых и линейных)

Способ съёмки угловыми засечками применяется в геодезической практике в основном для съёмки недоступных точек, но видимых с обоих концов базисной линии. При угловых засечках теодолитом измеряют горизонтальные углы  $\beta$  (рис. 14) на исходных точках между линией базиса и направлением на снимаемую точку (например, отдельно стоящее дерево, столб, крупный валун и пр.).

При наличии двух теодолитов наблюдатели могут производить угловую засечку одновременно с обеих точек. Доступные для речника (при наличии рейки) снимаемые точки могут быть сняты более надёжным полярным способом, описанным ранее.



Линейные засечки позволяют снять отдельные точки путем измерения расстояний  $L$  от исходных концевых точек базиса. При необходимости в длины линий вводят поправки за наклоны (т. е. определяют горизонтальные проложения).

Линейные засечки следует выполнять таким образом, чтобы их направления пересекались под углами, которые образуют треугольники, близкие к равносторонним.

Линейные засечки с двух точек удобно выполнять лазерными рулетками.

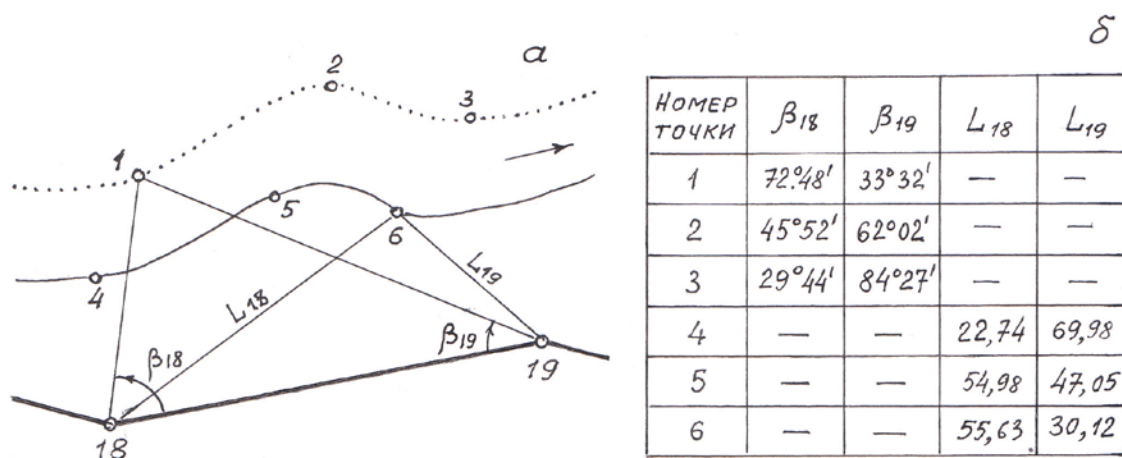


Рис. 14. Съёмка способом засечек: а - абрис; б - журнал съёмки (точки 1, 2, 3 в связи с их недоступностью сняты угловыми засечками; 4, 5, 6 - линейными засечками)

В этом случае речник выставляет плоскость экрана над снимаемой точкой перпендикулярно к наблюдателю, который производит отсчет с первой точки, а затем по команде ориентирует плоскость экрана перпендикулярно к лучу лазерной рулетки наблюдателя, находящегося на второй точке базисной линии. Съёмку можно вести одной рулеткой последовательно, либо двумя рулетками одновременно, но с поворотом плоскости экрана перпендикулярно к лучу визирования с каждой наблюдательной точки.

## 2.2 Съёмка профилей береговых склонов

### 2.2.1 Способ линейных засечек

Съёмка склонов высоких береговых уступов может быть выполнена упрощенным способом съёмки откосов по заданным направлениям – профилям. Одним из наиболее удобных и производительных способов является способ линейных засечек, который используется в горном производстве для съёмки откосов высоких уступов.

На плане берегового склона намечается положение профиля, по которому планируется проведение съёмки, концы профиля отмечают точками А и В. Известными способами определяются координаты этих точек. Точки А и В выносятся в натуру и закрепляются реперами (рис. 15).

На точках А и В устанавливаются легкие переносные стойки, в верхней части которых закреплены рулетки. Стойки выполняются одинаковой высоты, при которой удобно снимать отсчеты при линейных засечках на характерные точки снимаемого профиля.

К нулевым отметкам полотен рулеток прикрепляется легкий груз массой 3-5 кг. В работе участвуют два исполнителя, один из которых находится в районе верхней бровки уступа (точка В), второй – в районе почвы уступа (точка А). Работой по съёмке откоса руководит исполнитель, находящийся у нижней точки.

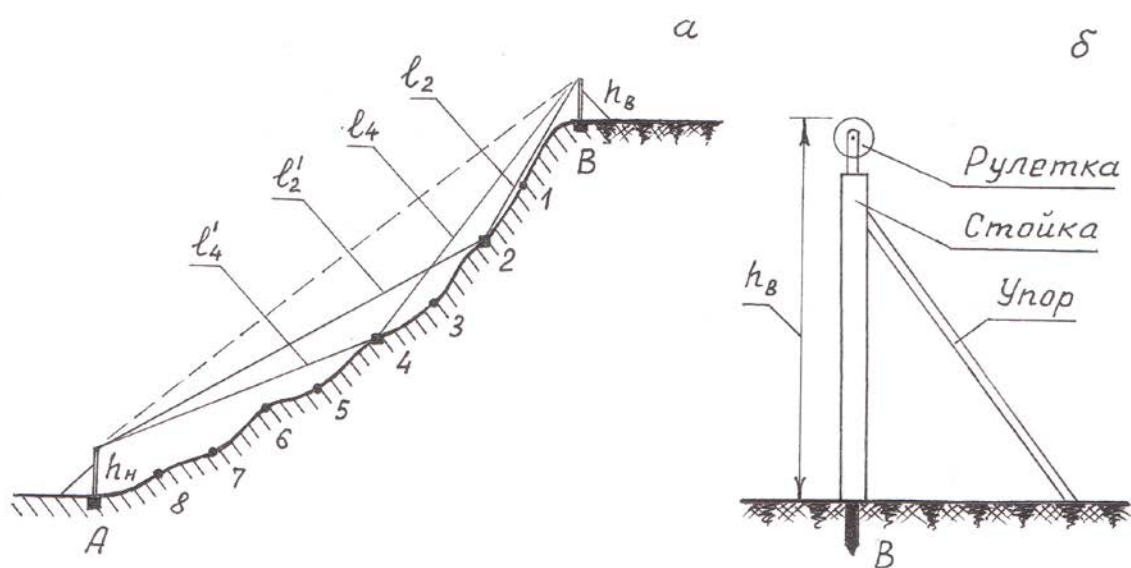


Рис. 15. Съёмка откосов высоких уступов: а – схема линейных засечек; б – распорная стойка

По команде исполнителя у нижней точки, верхний исполнитель производит разматывание рулетки, а первый исполнитель осуществляет сматывание рулетки. Груз перемещается вдоль профиля откоса и прикладывается к его характерным точкам, например, груз приложен к точке 1. В этот момент по условной команде (поднятая вверх рука руководителя) одновременно на распорных стойках берутся отсчеты  $l_1$  и  $l'_1$  по полотнам рулеток.

Затем операция по перемещению груза рулетками повторяется, и груз прикладывается к точке 2 и берутся отсчеты  $l_2$  и  $l'_2$  и т. д. Количество точек выбирается в зависимости от сложности контура откоса и необходимой степени детализации съемки. Все характерные точки контура откоса должны быть зафиксированы в процессе съемки.

При измерении линий стальными рулетками вводят следующие поправки: за компарирование рулетки, за провес полотна и за разность температуры при измерении линий и компарировании рулетки.

Поправку за компарирование рулетки вычисляют по ее результатам, которые внесены в паспорт рулетки. Если изменение температуры во время измерения относительно температуры компарирования превышает  $\pm 5^{\circ}\text{C}$ , вводят поправку за разность температуры. Величину поправки вычисляют по формуле:

$$\Delta l_t = \alpha l (t_n^0 - t_k^0), \quad (19)$$

где  $\alpha$  – коэффициент линейного расширения материала, из которого изготовлено полотно рулетки;

$l$  – измеренная длина линии;

$t_n^0$  – температура при измерении линии;

$t_k^0$  – температура при компарировании полотна рулетки.

Результаты съемки откоса наносятся на профиль посредством линейных засечек.

## 2.2.2 Тригонометрическое нивелирование

Превышение между точками на профиле берегового склона можно вычислить по результатам измерения вертикальных углов теодолитом и наклонной длины луча визирования нитяным дальномером.

Как следует из схемы рис.16, превышение точки 2 над точкой 1 составит:

$$h = MN + NE - MF. \quad (20)$$

Подставив в формулу (20) значения этих отрезков, будем иметь:

$$h = D \operatorname{tg} \delta + i - \tilde{v}, \quad (21)$$

где  $D$  – горизонтальное проложение линии 1-2;

$\delta$  – угол наклона линии, измеренный теодолитом;

$i$  – высота установки теодолита;

$\tilde{v}$  – высота визирной точки над точкой наблюдения 2 (т. е. высота вехи).

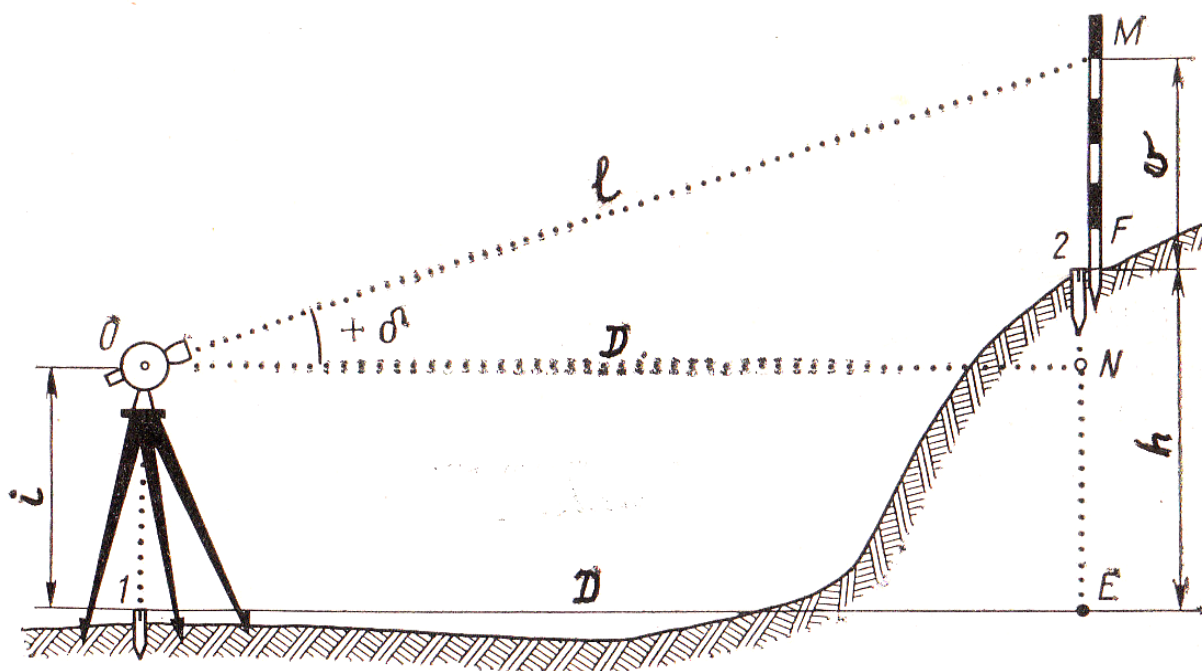


Рис. 16. Схема тригонометрического нивелирования

Высоту установки теодолита  $i$  измеряют от верха центра пункта 1 до оси вращения зрительной трубы прибора с помощью рулетки или нивелирной

рейки. Более точно высоту  $i$  можно определить используя приборный высотомер, состоящий из двух раздвижных трубок, длиной 70 и 40 см. Верхняя короткая трубка плавно перемещается внутри другой и свободно проходит через отверстие станвого винта. Наружная поверхность короткой трубки имеет шкалу миллиметровых делений с оцифровкой сверху вниз через 1 см. При измерении верхнюю трубку выдвигают вверх до объектива оптического центрира теодолита и берут отсчет по шкале. Этот отсчет суммируют с постоянной для данного прибора величиной (расстояние от объектива оптического центрира до оси вращения зрительной трубы) и получают высоту  $i$  установки теодолита.

Величину  $\check{u}$  измеряют от верха центра пункта 2 до точки наведения перекрестьем трубы с помощью рулетки с точностью 1 – 2 мм. При использовании вместо вехи нивелирной рейки величину  $\check{u}$  отсчитывают непосредственно по шкале рейки в процессе визирования на нее.

При  $D < 300$  м расчет выполняют по формуле (21), а при  $D \geq 300$  м в нее добавляют поправку  $f$  в превышение за отсчет влияния кривизны Земли и рефракцию световых лучей:

$$f \cong 0,42D^2/R, \quad (22)$$

где  $R$  – радиус рефракционной кривой (принимается равным среднему радиусу Земли  $R_{cp}=6,37 \times 10^6$  м).

При измерении наклонной длины линии с помощью нитяного дальномера горизонтальное положение рассчитывается по формуле:

$$D \cong (kl_1 + q) \cos^2 \delta. \quad (23)$$

После подстановки (23) в формулу (21) получаем:

$$h = (kl_1 + q) \cos^2 \delta + i - \check{u},$$

а после преобразования

$$h = 0,5 (kl_1 + q) \sin 2\delta + i - \check{u}. \quad (24)$$

Последняя формула является основной для расчета превышения расчетных точек над станцией при выполнении тахеометрической съемки. На

основе этой формулы Ф.И. Макеевым составлен целый ряд тахеометрических таблиц.

где  $k$  – коэффициент нитяного дальномера;

$l_1$  – длина отрезка изображения рейки между дальномерными нитями;

$q$  – дополнительная величина (постоянная величина) нитяного

дальномера:

$$q = f_{об} + t_{об} \text{ (для приборов с внутренней фокусировкой } q=0\text{);}$$

здесь  $f_{об}$  – фокусное расстояние объектива;

$t_{об}$  – расстояние от объектива до вертикальной оси вращения прибора.

Для построения профиля берегового склона (рис. 17) на дату проведения съемки последовательно определяют положение точек 1,2,3,...,6 в вертикальной плоскости, ориентированной перпендикулярно к плоскости склона.

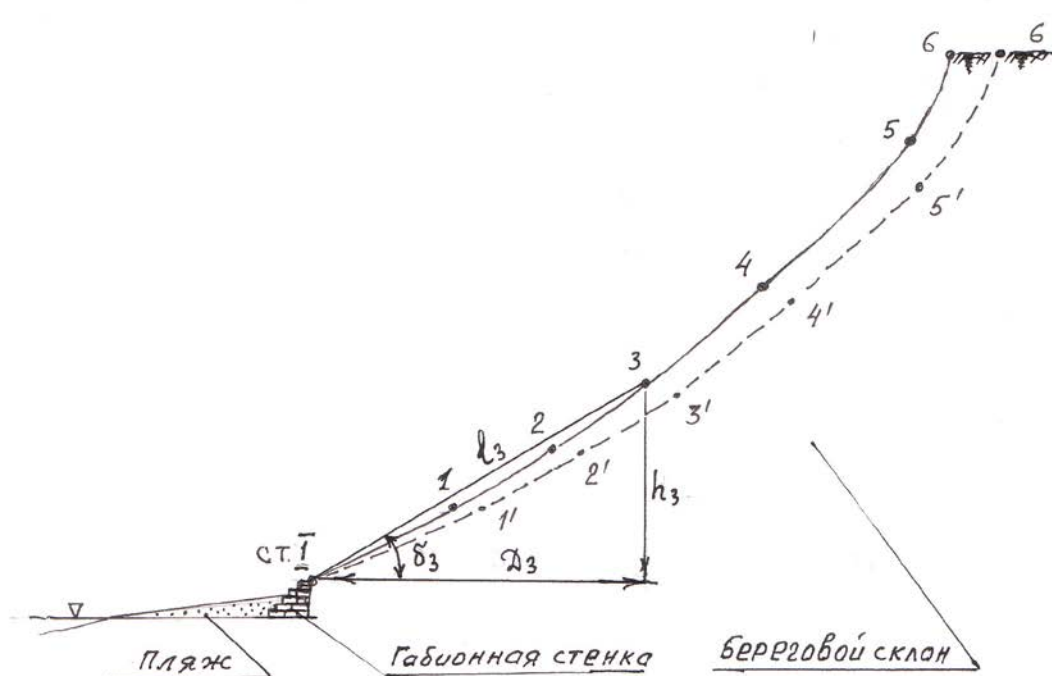


Рис. 17. Наблюдения за эрозией берегового склона способом тригонометрического нивелирования

Эрозию склона за промежуток времени  $T$  между наблюдениями находят как разность между профилями, полученными в начале и в конце рассматриваемого времени (разность между сплошной и пунктирной линиями положения профиля).

### **2.3 Съёмка топографии песчаных пляжей**

Степень переработки песчаных пляжей может быть установлена при проведении систематических инструментальных наблюдений за динамикой их формирования. Проведение таких наблюдений особенно необходимо при натуральных испытаниях различных способов и устройств для намыва пляжей, поскольку позволяет оценить их техническую эффективность.

Положение в плане линии уреза водной поверхности, ширину и уклон пляжа, а также объем намываемого грунта и изменение указанных параметров с течением времени, можно установить в результате периодических съёмок топографической поверхности прибрежной зоны. По данным топографической (контурно-высотной) съёмки строят план участка земной поверхности с изображением ситуации рельефа. Таким образом, натурные наблюдения за процессом формирования песчаных пляжей должны включать комплекс инструментальных наблюдений, необходимых для получения ситуации и рельефа на каждую дату наблюдений. Отслеживая изменение ситуации и рельефа пляжа во времени, производят оценку его переработки.

Для исследования процесса формирования песчаных пляжей необходимо выполнять крупномасштабную съёмку с созданием специализированных топографических планов. В соответствии с требованиями к таким планам допускается наносить на план не всю ситуацию местности, а только необходимую ее часть и применять при этом нестандартное сечение рельефа, а также увеличивать или уменьшать точность изображения контуров рельефа пляжа.

Масштаб съемки и высота сечения рельефа определяют содержание и точность ситуации на топографических планах. Точность топографических планов характеризуется средними или предельными погрешностями в положении контуров пляжа и высот точек по отношению к плановому и высотному обоснованию.

Согласно требованиям к топографической съемке в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500 средние погрешности в положении на плане предметов и контуров пляжа можно принять не превышающими 0,5 мм. При этом средние погрешности съемки рельефа относительно ближайших точек геодезического обоснования при углах наклона до  $2^0$  не должны превышать  $1/4h$  ( $h$  – принятая высота сечения рельефа) и  $1/3h$  при углах наклона до  $10^0$  на планах масштабов 1:1000 и 1:500. В этих масштабах преимущественно следует производить съемку топографической поверхности пляжей. Сечение рельефа при масштабах 1:1000 и 1:500 должно составлять 0,5 м, а для специализированных планов может быть уменьшено до 0,25 м.

Точность планов оценивается по расхождениям положения контуров и высот точек, рассчитанных по горизонталям, с данными, полученными в результате контрольных измерений. Предельные расхождения не должны превышать удвоенных значений приведенных выше средних погрешностей при числе предельных расхождений не более 10 % от общего числа контрольных замеров.

При съемке узких полос местности, например, при изыскании трасс автомобильных и железных дорог, трубопроводов и других протяженных объектов, используют тахеометрическую съемку.

Песчаные пляжи относятся к протяженным объектам и поэтому для их съемки наиболее приемлемой, с экономической точки зрения, является также тахеометрическая съемка. Применение мензульной и стереотопографической съемок в этих условиях связано с большими трудозатратами и экономически не целесообразно. Быстрота измерений при тахеометрической съемке достигается тем, что положение каждой снимаемой точки поверхности в плане и по высоте



определяется при одном наведении трубы прибора на рейку, устанавливаемую в этой точке. Тахеометрическую съемку выполняют с помощью технических теодолитов или специальных приборов – тахеометров.

Сущность съемки при использовании технических теодолитов сводится к определению пространственных полярных координат точек пляжа и последующему нанесению этих точек на план. При этом горизонтальный угол между начальным направлением и направлением на снимаемую точку измеряется с помощью горизонтального круга, вертикальный угол – вертикального круга теодолита, а расстояние до точки – дальномером. То есть плановое положение снимаемых точек определяется полярным способом, а превышение точек – методом тригонометрического нивелирования, осуществляемого с помощью наклонного луча визирования.

При съемке морских пляжей линия уреза водной поверхности является горизонталью, а высотное положение точек зависит от угла намыва грунта, поэтому нивелирование можно выполнять горизонтальным лучом, пользуясь теодолитом как нивелиром, т. е. установить ось трубы в горизонтальное положение. Для выполнения планово-высотной съемки в указанных выше условиях, наилучшим образом подходит нивелир Ni 007, снабженный горизонтальным кругом и компенсатором. Последний позволяет сократить время на установку луча визирования в горизонтальное положение, что ускоряет процесс съемки.

Для морских пляжей, в случаях, когда береговая линия близка к прямолинейной, для съемки поверхности целесообразно использовать нивелирование площадей вдоль одного створного нивелирного хода, прокладываемого вдоль берега. При этом по обе стороны от нивелирного хода разбиваются поперечники через 20 м, а на них – пикетаж через 10 м. Кроме того, на нивелирном ходе определяются плановые точки в характерных местах рельефа, а при необходимости – дополнительные точки между поперечниками (преимущественно по линии уреза). В процессе разбивки пикетажа по

нивелирному ходу и поперечникам производится съемка ситуации и составляется абрис.

Закладку наблюдательной станции и наблюдения на ней проводят по специальному проекту, который включает графическую часть и пояснительную записку. Графическая часть состоит из плана наблюдательной станции в масштабах 1:500 или 1:1000 и чертежей конструкций реперов.

В пояснительной записке указывают цель наблюдений, приводят краткую характеристику участка, обосновывают конструкцию наблюдательной станции, ее местоположение, количество реперов, длины между реперами и необходимые для их закладки материалы. Приводят методику и периодичность наблюдений, способ привязки к опорной геодезической сети, указывают требуемую точность измерений, необходимые приборы и инструменты.

Типовая наблюдательная станция должна состоять не менее чем из четырех опорных реперов, закладываемых с интервалом 50 м попарно по краям экспериментального участка. Перед началом наблюдений производят привязку (т. е. определение  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ) к ближайшим пунктам опорной геодезической сети. Относительная линейная невязка теодолитного хода при выполнении привязки должна соответствовать требованиям.

При отсутствии поблизости опорной геодезической сети, съемку поверхности проводят в условной системе координат. Пример такой станции показан на рис. 18.

Опорные реперы I, II и III, IV заложены попарно по краям участка на длительное время наблюдений. Линии I - II и III - IV ориентированы буссолью.

За исходную отметку высотной привязки принята высотная отметка первого репера. На наблюдательной станции тахеометрический ход включает 7 стоянок инструмента (на пунктах, закрепляемых на время наблюдения) с измерением привязочных углов:  $\varphi_I$ ;  $\varphi'_I$  и  $\varphi_{IV}$ ;  $\varphi'_{IV}$  и углов хода  $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5, \beta_6, \beta_7$ , длины II - I, I - 1, I - 2, 2 - 3, 3 - 4, 4 - 5, 5 - 6, 7 - IV и IV - III.

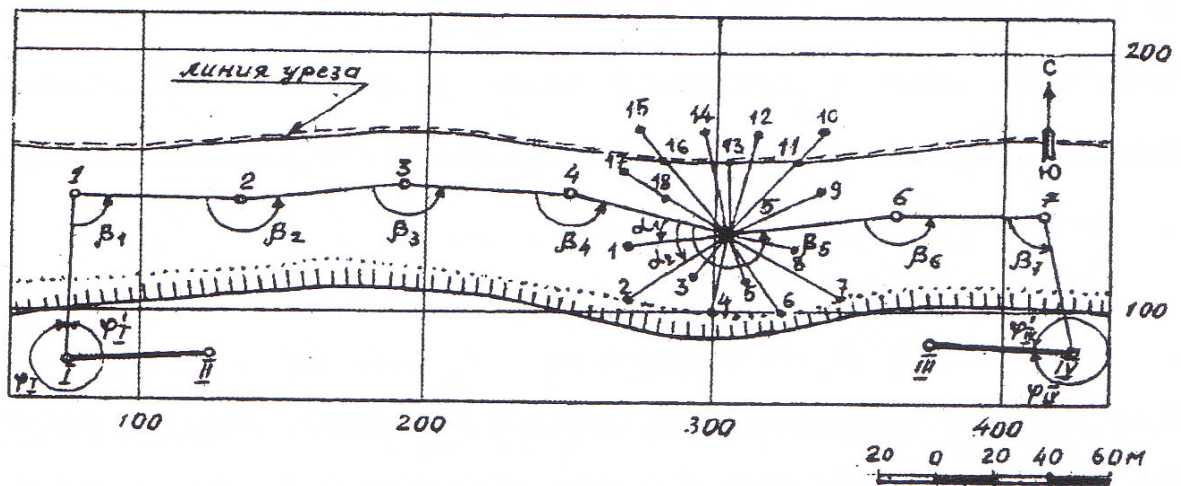


Рис. 18. План наблюдательной станции

С каждой стоянки производится съемка подробностей (на чертеже показано положение пикетажных точек для пятой стоянки). Для контроля съемки на каждой стоянке определяют несколько пикетов, заснятых со смежных стоянок.

Составление плана съемки начинают с построения координатной сетки, нанесения по координатам пунктов геодезических сетей и точек тахеометрических или нивелирных ходов. После проверки по горизонтальным положениям правильности нанесения вершин ходов съемочного обоснования на план наносят точки съемки подробностей.

Точки ситуации и рельефа наносят на план при помощи транспортира с ценой деления  $0,5^{\circ}$  или специальными транспортирами-квадрантами (в случаях, когда ориентирование горизонтального лимба тахеометра было проведено по дирекционным углам). После этого вдоль радиуса откладывают горизонтальное проложение и накальвают точку пикета. После нанесения всех пикетов данной станции, руководствуясь абрисом и примечаниями в полевом журнале, строят контуры, а затем, путем интерполирования отметок пикетов, проводят горизонтали (рис.19).

Аналогичным образом проводят последующие наблюдения через интервалы времени, определяемые задачами исследований, и строят рельеф поверхности пляжа на даты каждого наблюдения.

Для определения объемов намывного грунта строят вертикальные разрезы через 10 - 20 м по планам начального наблюдения и каждого последующего.

Сравнение поверхностей пляжа и определение объема песка, намывного за промежутков времени между наблюдениями, производят относительно горизонтальной плоскости, проходящей через линию уреза, и вертикальной (соответственно  $\Pi_{Г}$  и  $\Pi_{В}$  на рис. 20).

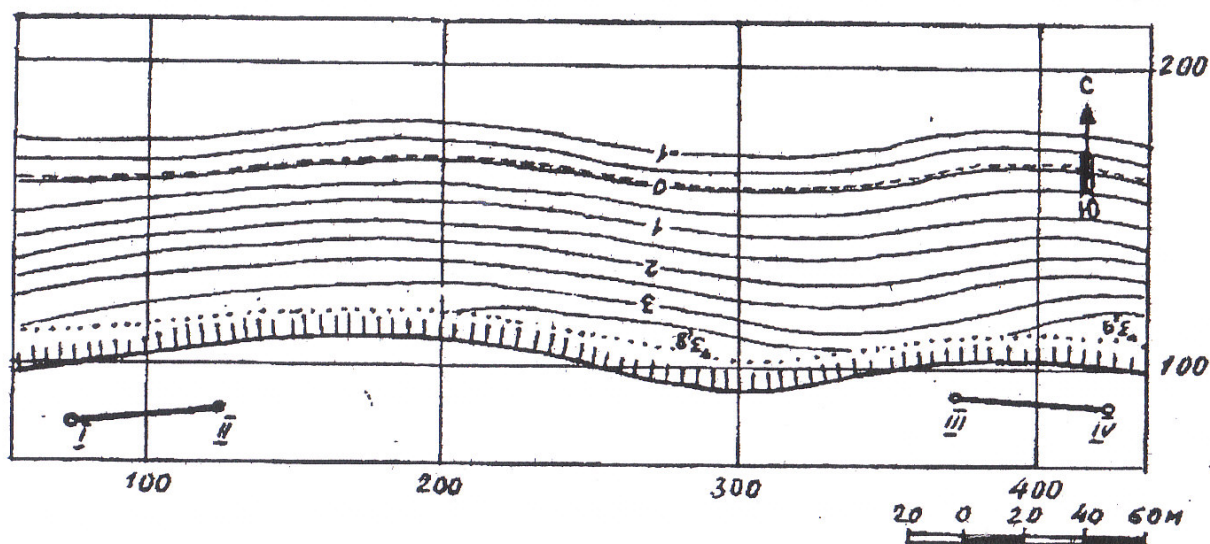


Рис. 19. Топографический план пляжа

Из рис. 20 следует, что в сечениях 1 и 2, за период между начальным и последующим наблюдениями, произошел намыв грунта (площади  $+S$  и  $+S_2$ ), в сечении 3 объем грунта на пляже не изменился (площадь  $S_3 = 0$ ), а в сечении 4 и 5 пляж подвергся размыву (площади  $-S_4$  и  $-S_5$ ). Объемы намыва или размыва грунта пляжа определяются известными способами.

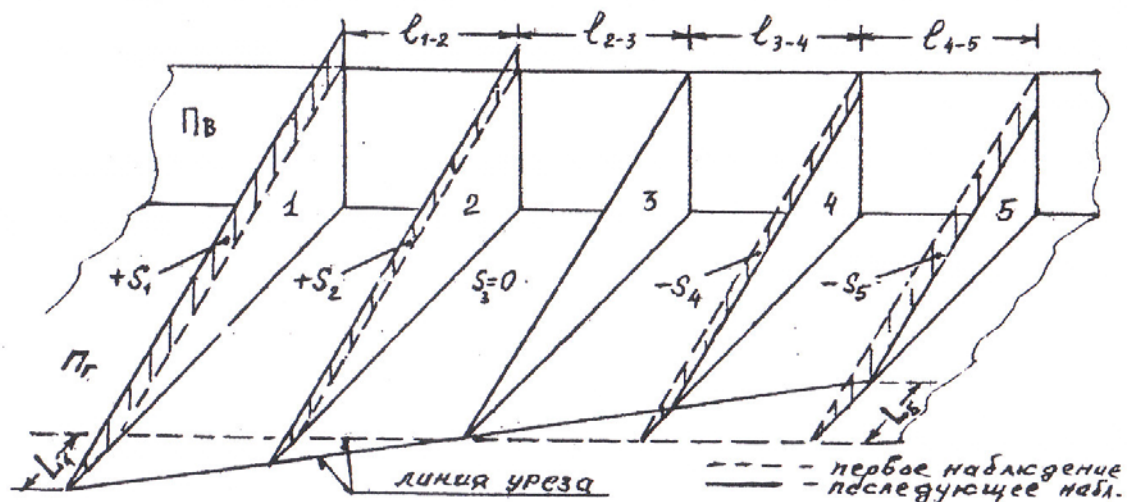


Рис. 20. Схема определения объемов формирования пляжа

Линия уреза (рис. 20) сместилась в сечении 1 на  $L_1$  в сторону водной поверхности, а в сечении 5 на  $L_5$  – в сторону суши. При испытаниях новых способов и устройств для намыва песчаных пляжей, помимо изложенных выше наблюдений, выполняют специальные наблюдения. Эти наблюдения проводят по профильным линиям, ориентированными перпендикулярно линии уреза и состоящими из грунтовых реперов, имеющих в верхней части шкалу (из полотна стальных рулеток с миллиметровыми делениями), выступающую над поверхностью пляжа. Намыв грунта определяется непосредственно по делению шкалы, совпадающей с поверхностью пляжа. Углы намыва пляжей определяются горным компасом или с помощью устройства, состоящего из планки, строительного уровня, индикатора часового типа и регулировочного винта.

Для определения эффективности новых способов одновременно выполняют аналогичные наблюдения на контрольном участке, расположенном в непосредственной близости от экспериментального.

Для определения степени влияния факторов, определяющих интенсивность процесса намыва песчаных пляжей, производят измерение скорости потока при накате и откате прибойной волны на различных участках напорного откоса грунта и определяют направление прибойного потока

относительно берега. Наблюдательные станции оборудуют пьезометрами, по которым контролируют уровень грунтовых вод на пляже и определяют (с использованием индикатора - красителя) скорость фильтрации. Кроме того, производят отбор проб песка с различной глубиной приурезовой зоны для определения гранулометрического состава.

## **2.4 Наблюдения за сдвижением земной поверхности и сооружениями**

### **2.4.1 Наблюдательная станция и методика наблюдений**

При наличии сооружений, построенных в непосредственной близости от берегового склона, должны быть заложены профильные линии для наблюдений за сдвижением земной поверхности и охраняемыми объектами. Наблюдения проводятся с целью предупреждения аварийных ситуаций при развитии обрушения.

Наблюдательная станция должна быть рассчитана на длительный срок наблюдений (свыше 5 лет) и содержать одну или несколько профильных линий из грунтовых реперов. Количество профильных линий зависит от конкретной ситуации.

Длина профильной линии определяется согласно схеме, представленной на рис. 21, по формуле:

$$L = H (\operatorname{ctg}\alpha - \operatorname{ctg}\beta), \quad (25)$$

где  $H$  – высота берегового склона;

$\beta$  – угол берегового склона в начальный момент эрозии;

$\alpha$  – угол оплывшего склона (раздел 1).

При разбивке наблюдательной станции производят закладку исходных реперов (не менее 3), от которых в дальнейшем будут определять положения опорных реперов профильных линий.

Исходные реперы располагают в таких местах, в которых обеспечивается их длительная неподвижность. В качестве исходных реперов можно

использовать также пункты опорной геодезической сети, расположенные на небольшом удалении от станции.

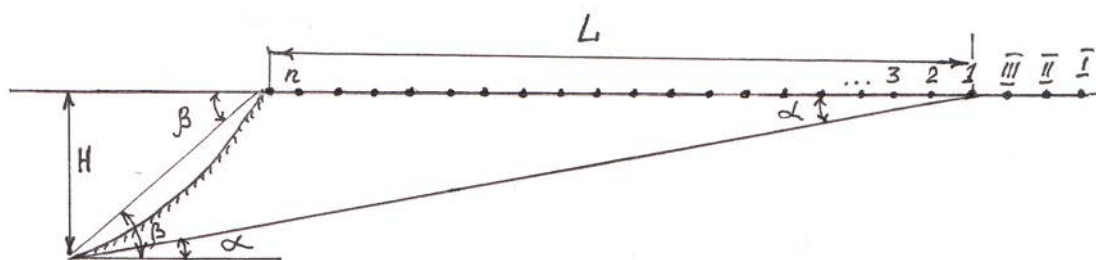


Рис. 21. Определение длины профильной линии на вертикальном разрезе берегового склона: I. II. III – исходные реперы; 1,2,3...n – рабочие реперы

Перенесение проекта наблюдательной станции в натуру производится с помощью теодолита и рулетки. Места закладки реперов обозначают колышками. Отклонения реперов от створа не должны превышать 5 см.

После перенесения в натуру наблюдательной станции закладывают реперы, конструкция которых и способ закладки их в грунт должны обеспечивать: 1) их сохранность на срок службы наблюдательной станции, защиту от влияния промерзания и от внешних повреждений; 2) прочную связь с грунтом; 3) удобство наблюдений за их сдвижением в вертикальной и горизонтальной плоскостях.

Реперы должны иметь простую конструкцию, которая позволяет производить их изготовление в местных мастерских. Реперы, закладываемые в грунт, могут быть изготовлены из металлических стержней диаметром не менее 20 мм, или металлических трубок диаметром не менее 30 мм.

Верхние концы грунтовых реперов обтачивают до полусферы, а в центре высверливают углубления диаметром 1 - 2 и глубиной 5 - 7 мм. Металлическую трубку снабжают металлической головкой, обточенной до полусферы, с высверленным отверстием указанных размеров.



Реперы закладывают в скважины диаметром 150 - 170 мм. Глубина закладки реперов должна быть такой, чтобы их нижний конец располагался на расстоянии не менее 0,5 м от границы промерзания грунта. Расположенная ниже горизонта промерзания часть репера должна бетонироваться, а выше – засыпаться сухим плотным грунтом (рис. 22, а, б).

На участке возможного повреждения реперов верхнюю часть их следует заглубить на 30 - 40 см ниже поверхности земли. Если повреждение реперов исключается, то их можно закладывать выступающими на 2-3 см над земной поверхностью. Рабочие реперы представляют собой забивные металлические стержни длиной не менее 100 мм (см. рис. 22, в, г). Центры наносят с помощью ручного сверла или керна после забивки репера в грунт. На основании опыта возможна закладка реперов иной конструкции.

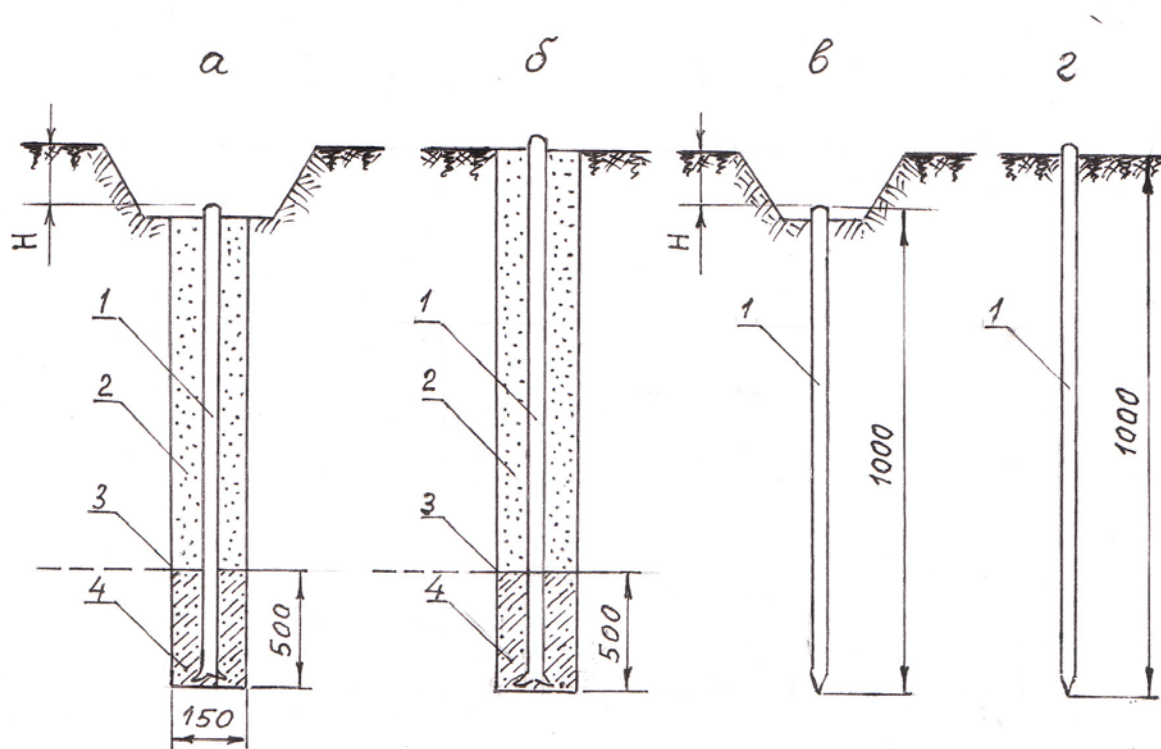


Рис. 22. Конструкции реперов наблюдательных станций.

Бетонированные: а – заглубленные; б – незаглубленные; забивные; в – заглубленные; г - незаглубленные; 1 – металлический стержень; 2 – сухая плотная засыпка; 3 – граница сезонного промерзания; 4 – бетон



Наблюдения за сдвижением земной поверхности, а также за деформациями различных сооружений состоят в инструментальном определении на разные даты положения грунтовых и стенных реперов наблюдательных станций с одновременным фиксированием видимых нарушений, а также всех влияющих факторов.

Сдвигения реперов в вертикальной плоскости (оседания) определяют из периодически проводимых нивелировок, а в горизонтальной – измерением расстояний между реперами.

Перед началом наблюдений производят привязку (определение координат X. Y. Z) опорных реперов наблюдательных станций к ближайшим пунктам опорной геодезической сети. Система координат пунктов привязки станции должна соответствовать той, которая принята для топографической съемки поверхности.

Для привязки относительная линейная невязка теодолитного хода не должна превышать 1:2000, угловая невязка не более определяемой по формуле  $f_{\beta} = 1\sqrt{n}$ , где n – число углов хода. Длины следует измерять стальными компарированными рулетками с натяжением 98 Н (посредством динамометра). В процессе измерения длин необходимо измерять температуру воздуха с точностью до 1<sup>0</sup>С.

Длины можно также измерять светодальномерами, оптическими дальномерами и другими приборами, обеспечивающими требуемую точность.

Для исходных и опорных реперов наблюдательных станций производят их высотную привязку от реперов или пунктов нивелирной сети. Сначала высотные отметки передают на исходные реперы, а от них на опорные реперы профильной линии. Для высотной привязки можно применять нивелиры любого типа с трубой увеличения не менее 30<sup>x</sup>, цена деления цилиндрического уровня не более 15" на 2 мм, контактного – не более 30" на 2 мм, применимы также нивелиры с компенсаторами.

Рейки следует применять со сферическими уровнями двухсторонние шашечные с минимальным делением по черной стороне 1 см или штриховые

односторонние с двумя шкалами, или двухсторонние с минимальными делениями шкал 0,5 см.

Передачу высотных отметок на исходные и опорные реперы производят из середины с отклонением не более 2 м; расстояния от инструмента до реек – не более 75 м. Отсчеты берут по основным шкалам (черным) и дополнительным (красным) сторонам реек.

Нивелирование ведут в прямом и обратном направлениях. Расхождение в суммах превышений прямого и обратного хода (в мм) не должно превышать

$$\Delta h = \pm 15 \sqrt{L}, \quad (26)$$

где  $L$  – длина хода в одном направлении, км.

При высотной привязке профильных линий наблюдательных станций, предназначенных для изучения взаимосвязи деформаций грунта и сооружений, нивелировку выполняют в приведенной выше последовательности, но по черным сторонам передней и задней реек отсчеты берут по трем нитям. В этом случае расхождения в суммах превышений между прямым и обратным ходами (в мм) не должны превышать

$$\Delta h = \pm 10 \sqrt{L}. \quad (27)$$

В последнем случае взятие отсчетов только по средним нитям допускается только при использовании высокоточных инструментов, обеспечивающих требуемую точность.

Инструментальные наблюдения на станции должны состоять из следующих работ: нивелирования всех реперов наблюдательной станции; измерения расстояний между реперами по профильным линиям; съемки трещин, образовавшихся на земной поверхности под влиянием различных факторов с указанием величины раскрытия и времени их появления.

Ширина раскрытия трещин измеряется рулеткой или линейкой с точностью 2 мм, а место их расположения привязывается к реперам профильных линий. На профильных линиях для нивелирования реперов применяют такие же нивелиры и рейки, что и для привязки станций. Нивелировать можно всякими ходами в прямом и обратном направлениях.

Нивелирование реперов на наблюдательной станции производится из середины между связующими реперами в часы спокойных изображений. Расстояние от инструмента до связующих реперов не должно превышать 75 м ( $\pm 2$  м). Рейки устанавливаются на реперы.

Отсчеты на промежуточные реперы берут так же, как и на связующие – по двум сторонам рейки или двум шкалам, средней нити. Нивелирование ведут в следующем порядке: отсчеты по основным шкалам (черные стороны) задней и передней реек, отсчеты по дополнительным шкалам (красные шкалы) передней и задней реек, по основным и дополнительным шкалам реек, устанавливаемых последовательно на всех промежуточных реперах, контрольный отсчет по основной шкале передней рейки (он не должен отличаться от первоначального отсчета более чем на 3 мм).

Расхождение в превышениях реперов, полученных по основным (черным) и дополнительным (красным) шкалам реек, не должно превышать 3 мм.

Невязка в превышениях ходов не должна быть больше величины, определяемой по формуле (26).

Нивелирование реперов на станциях по изучению взаимосвязи деформаций грунта и сооружений производится в том же порядке, что и на рядовых наблюдательных станциях, но отсчеты по основной шкале (по черной стороне рейки) берут по трем нитям.

Осуществляют следующий контроль на каждой станции: сравнивают отсчет по средней нити основной шкалы (черной стороне) каждой рейки с соответствующей полусуммой отсчетов по дальномерным нитям, разность между ними не должна превышать 3 мм; сравнивают превышения, определенные по основным шкалам (черным) и дополнительным (красным) сторонам реек, они не должны различаться более чем на 3 мм. Невязка в сумме превышений хода должна быть не более допустимой, определяемой по формуле (26).

До начала работ следует выполнить все поверки нивелира в соответствии с рекомендациями раздела 4. Особое внимание следует обращать на устранение

непараллельности визирной оси трубы и оси цилиндрического уровня. Перед началом работы проверяют параллельность указанных осей, а также уровни на рейках.

На участках береговых склонов с углами наклона более  $15^{\circ}$  следует применять тригонометрическое нивелирование. Оно сводится к измерению состояний между инструментами и точками, на период наблюдений, обозначенных колышками и соответствующих углов наклона. Вертикальные углы измеряют высокоточными или повышенной точности теодолитами со среднеквадратической погрешностью измерения вертикального угла не более  $5''$ . Расстояния измеряют нитяным дальномером или светодальномером.

Погрешность измерения высоты теодолита, сигналов и отражателей не должна превышать 2 мм. В ведомости вносят средние значения высотных отметок и длин интервалов.

Измерение расстояний между реперами профильных линий производят стальными рулетками. Вынос центров реперов осуществляют с помощью жестких отвесов или другими способами, позволяющими обеспечить проектирование центра с точностью 1 мм. Длины измеряют с постоянным натяжением 98 Н с помощью диаметра. На каждом интервале по обоим концам рулетки берут по три отсчета с точностью до 1 мм, а также измеряют температуру воздуха с точностью до  $1^{\circ}$ . Расхождения в длине интервала не должны превышать 2 мм. За измеренную длину интервала принимают среднее из трех измерений. Форма журнала измерения длин и порядок записи приведены в приложении (форма 2).

На профильной линии наблюдательной станции расстояния между реперами измеряют в прямом и обратном направлениях. Расхождения горизонтальных расстояний между крайними реперами прямого и обратного ходов не должно превышать  $1/10000$  длины профильной линии.

С целью исключения накопления погрешностей для контроля измерения длин профильных линий рекомендуется применять светодальномеры со средней квадратичной погрешностью измерения, не превышающей  $\pm 5$  мм

(например, МСД - 1М). По профильной линии, начиная с крайнего опорного репера, светодальномером измеряют интервалы, включающие несколько реперов. Светодальномер и отражатель центрируют над реперами. Визирование производят на задний и передний реперы, т. е. по ходу в одном направлении каждый интервал измеряют дважды. За измеренную длину интервала в одном направлении принимают среднюю из этих двух значений.

Для введения поправок за наклон на каждой стоянке измеряют высоту установки светодальномера и отражателя. В каждой серии наблюдений измерения по профильной линии производят дважды – в прямом и обратном направлениях. Расхождения в длинах одних и тех же интервалов из прямого и обратного ходов (с учетом поправок) не должны превышать 7 мм. Расхождение в общей длине профильной линии (в мм) при использовании светодальномеров не должно быть более величины

$$m_d = 5\sqrt{n_1}, \quad (28)$$

где  $n$  – число установок светодальномера, расположенных в одном направлении.

Среднее значение из прямого и обратного ходов составляет длину интервала, измеренную светодальномером. С этой длиной сравнивают сумму полученных при измерении рулеткой длин отрезков, составляющих данный интервал. При повторных наблюдениях светодальномер следует устанавливать на тех же реперах, что и при начальных. Для контроля целесообразно измерять светодальномером всю длину профильной линии, если позволяет рельеф местности и технические возможности инструмента.

Измерения на наблюдательной станции можно начинать не ранее чем через 7 дней после закладки бетонных и 3 дня забивных реперов. Исходное положение реперов определяют как среднее арифметическое из двух серий наблюдений, проводимых непосредственно после закладки наблюдательной станции. Интервал времени между сериями начальных наблюдений не должен превышать 5 дней.

Сроки последующих наблюдений на станциях устанавливают в зависимости от решаемых задач. Если необходимо получить только конечные величины параметров сдвига и характер распределения по профилю, достаточно провести, кроме начального, еще два наблюдения. При этом второе наблюдение необходимо приурочивать к моменту окончания периода опасных деформаций, а последнее – ко времени прекращения процесса сдвига.

Для получения данных о развитии процесса сдвига, кроме начальной и конечной серии наблюдений, дополнительно проводят не менее четырех наблюдений.

Календарный план инструментальных измерений на наблюдательных станциях составляют в каждом конкретном случае применительно к решаемым задачам.

В период опасных деформаций берегового уступа наблюдения должны проводиться не реже двух раз в месяц, а затем – не реже одного раза в два месяца до окончания процесса сдвига. После прекращения деформаций подрабатываемого объекта (по результатам наблюдений) проводят не менее двух контрольных нивелировок с интервалом 2-3 месяца.

При возникновении в здании первых трещин необходимо выполнить полную серию наблюдений по стенным и грунтовым реперам вокруг здания.

При многолетних наблюдениях на план поверхности наносят новые объекты, появившиеся на участке наблюдательной станции.

Кроме этого, должны быть собраны следующие сведения: о детальном геологическом строении толщи, включая тектонику, литологическом составе пород и мощности насосов; о гидрогеологических условиях в районе наблюдательной станции.

Эти сведения, периодически пополняемые и проверяемые, должны вноситься в специальный журнал для каждой станции отдельно.

Данные полевых наблюдений записывают в специальных полевых журналах, которые должны быть пронумерованы, иметь оглавление, подписи

лиц, проводивших наблюдения, даты наблюдений простым карандашом или шариковой ручкой.

После окончания каждой серии наблюдений их результаты должны быть аналитически и графически обработаны.

Наблюдения за зданиями и сооружениями проводят с целью своевременного принятия мер, предотвращающих аварийные ситуации.

Наблюдения за зданиями проводят на наблюдательных станциях, состоящих из совокупности грунтовых и стенных реперов (рис. 23).

Таковыми наблюдениями определяют неравномерность оседаний фундаментов, фиксируют трещины и другие повреждения конструкции, надежность узлов их опирания, наличие необходимых зазоров в швах и шарнирных опорах.

Конструкция стенных реперов и способ их закладки (рис. 24) должны обеспечивать удобство проведения наблюдений, прочную связь с конструкцией здания и надежную сохранность реперов на весь период наблюдений.

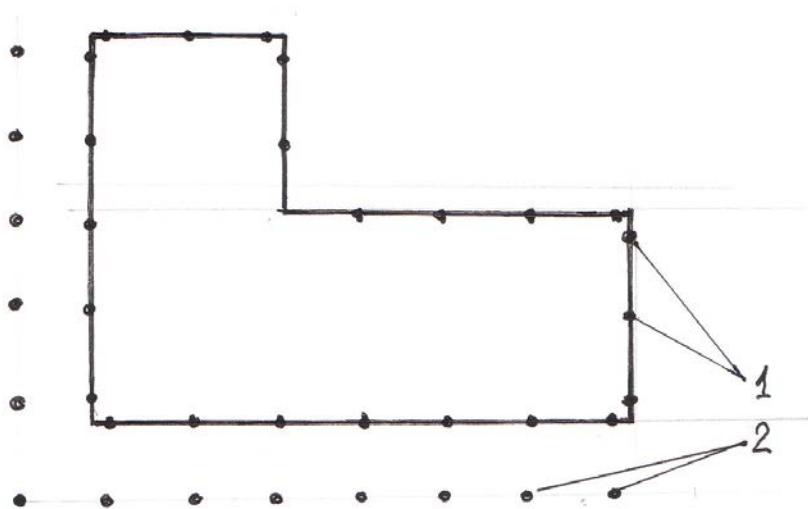


Рис. 23. План станции для наблюдений за деформациями здания:

1 – стенные реперы; 2 – грунтовые реперы

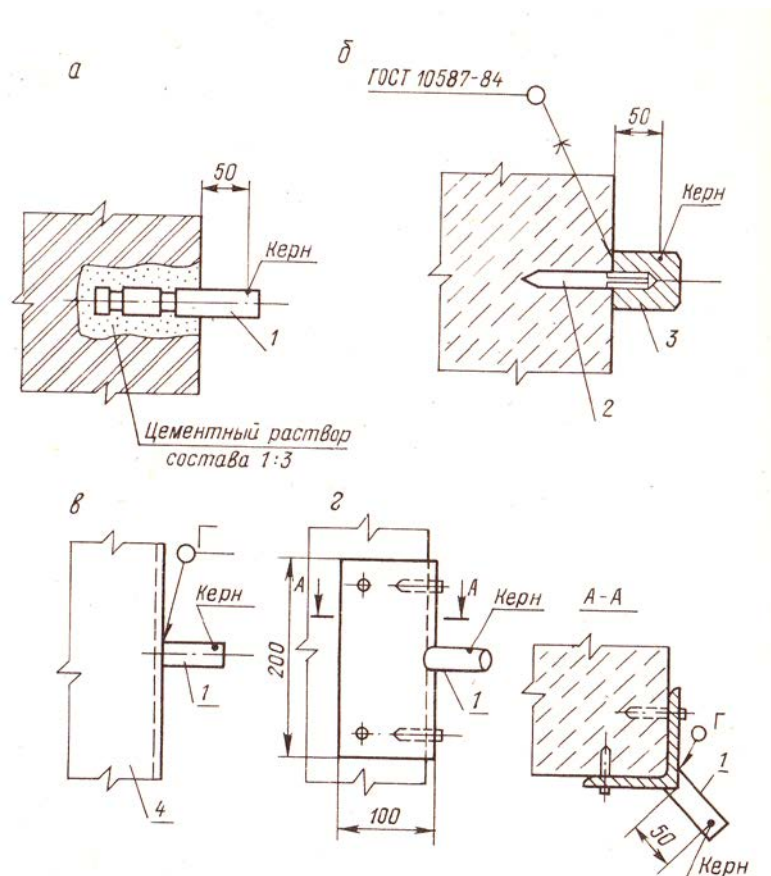


Рис. 24. Конструкция ственных реперов: а – с заделкой в стене, б – с дюбелем, забиваемым строительно-монтажным пистолетом; в – на металлоконструкциях, г – при необходимости измерения взаимно перпендикулярных расстояний между колоннами; 1 – репер; 2 – дюбель ( $d = 10$  мм), 3 – головка репера; 4 – металлоконструкция

#### 2.4.2 Обработка материалов наблюдений по профильным линиям

Аналитическая обработка материалов полевых наблюдений выполняется в следующей последовательности: проверка полевых журналов; вычисление высотных отметок всех реперов наблюдательной станции; определение горизонтальных расстояний (с введением всех поправок) между реперами профильных линий; нахождение координат  $X$  и  $Y$  опорных реперов (в начальной серии наблюдений); составление по каждой профильной линии ведомостей; оседание реперов, горизонтальных сдвижений реперов,



горизонтальных деформаций (растяжений и сжатий) интервалов, вертикальных деформаций (наклонов и кривизны мульды).

Форма журнала обработки длин (форма 3) и формы ведомостей сдвижений и деформаций (ВО, ВВД, ВГД, ВГС) приведены в приложении.

По геологической документации и материалам вычислений составляют и пополняют план поверхности и наблюдательной станции, вертикальные геологические разрезы по профильной линии, графики: оседаний реперов; горизонтальных сдвижений реперов; горизонтальных деформаций интервалов (растяжений и сжатий); вертикальных деформаций интервалов (наклонов и кривизны).

Превышения между реперами и отметки реперов вычисляют в журнале нивелирования. Уравнивание нивелирных ходов производят в специальном журнале методом приближений или методом полигонов. Высотные отметки реперов после обработки каждой серии наблюдений выписывают в ведомость оседаний реперов (см. приложение, форма ВО).

Горизонтальные расстояния между реперами профильной линии вычисляют в специальном журнале (см. приложение, форма 3) с учетом следующих поправок:

$\Delta l_1$  – поправка за температуру, вычисляемая по формуле

$$\Delta l_1 = l_\alpha * \alpha(t^\circ - t^\circ_{\text{к}}), \quad (29)$$

где  $l$  – длина измеренной линии, мм;  $\alpha$  – коэффициент линейного расширения;  $t^\circ$  – температура воздуха при измерении длин;  $t^\circ_{\text{к}}$  – тоже, при компарировании рулетки,  $^\circ\text{C}$ ;  $\Delta l_2$  – поправка за компарирование, ее принимают согласно данным, приведенным в паспорте (свидетельстве) компарирования рулетки;  $\Delta l_3$  – поправка за провес, вычисляемая по формуле

$$\Delta l_3 = l^3/L^3 * \Delta L, \quad (30)$$

где  $L$  – длина всей рулетки;

$\Delta L$  – поправка на всю длину рулетки, рассчитываемая по формуле

$$\Delta L = 2,67 f^2/L, \quad (31)$$

где  $f$  – стрела провеса всей рулетки.

Для каждой рулетки величина провеса всего полотна должна быть измерена непосредственно в начале наблюдений на станции и записана в полевом журнале измерения длин (см. приложение, форма 3).

Исходя из веса 1 м рулетки, поправка за провес может быть определена по формулам, приведенным в геодезических пособиях. Поправку за провес можно не вводить, если начальное измерение и все последующие проводят одной и той же рулеткой при одном и том же натяжении. При невыполнении этого условия введение поправки за провес обязательно;  $\Delta_4$  – поправка за наклон, вычисляемая по формуле

$$\Delta_4 = - \left( \frac{h^2}{2l} + \frac{h^4}{8l^3} + \frac{h^6}{16l^5} \right), \quad (32)$$

где  $h$  – превышение (разность отметок концов интервала). Обозначив

$$\Delta_1 = -\frac{h^2}{2l}; \quad \Delta_2 = \frac{\Delta^2}{2l};$$

$$\Delta_3 = \frac{\Delta_1 \Delta_2}{l},$$

получают 
$$\Delta_4 = - (\Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3). \quad (33)$$

Второй и третий члены поправки за наклон вводят в том случае, если их величины более 0,5 мм.

Поправку за отклонение от створа определяют по формулам (32) и (33), в которых вместо величины  $h$  подставляют значение  $a = a_n - a_{n+1}$ , где  $a_n$  и  $a_{n+1}$  – отклонения положения реперов на концах интервала от створа. При этом учитывают знак отклонения, например, справа по ходу – положительный, слева – отрицательный.

Горизонтальные расстояния между реперами, вычисленные для каждой серии наблюдений, записывают в ведомость горизонтальных деформаций (см. приложение, форма ВГД). Кроме того, по вычисленным горизонтальным расстояниям между реперами суммированием определяют расстояние от опорного репера до каждого репера профильной линии. По каждой серии наблюдений полученные расстояния записывают в ведомость горизонтальных сдвижений (см. приложение, форма ВГС).

Суммарная длина профильной линии из прямого и обратного измерений не должна иметь расхождение больше величины

$$m_p = \pm \frac{1}{10000} L, \quad (34)$$

где  $L$  – длина линий в одном направлении.

При соблюдении этого условия среднее значение суммарной длины профильной линии  $L_0$  находят как среднее арифметическое из двух измерений и сравнивают его со средней длиной профильной линии  $L_d$ , измеренной с помощью дальномера (из прямого и обратного ходов). Расхождение длин не должно превышать величины

$$m_0 = \pm \sqrt{m_d^2 + m_p^2}, \quad (35)$$

где  $m_d$  и  $m_p$  – допустимые погрешности измерений (по разностям прямых и обратных ходов), определяемые соответственно по формулам (28) и (34).

При использовании данной методики и соблюдении указанных выше допусков в измерениях длин и превышений между реперами средняя квадратическая погрешность (в мм) определения положения репера не будет превышать величин:

оседаний на станциях

$$m_\eta = \pm 7,5 \sqrt{L}; \quad (36)$$

горизонтального сдвижения реперов на станциях

$$m_\xi = \pm \frac{1}{10000} L'. \quad (37)$$

В формуле (36) величина  $L'$  – расстояние от рассматриваемого до ближайшего опорного репера в км, в формуле (37) – в мм.

По полученным отметкам реперов и горизонтальным длинам интервалов составляют ведомости (см. приложение, формы ВВ, ВВ, ВГД, ВГС) и пополняют их после обработки каждой серии наблюдений.

Сдвигения и деформации в точках профильной линии могут иметь положительные или отрицательные знаки.

При расчете сдвижений и деформаций по профильным линиям необходимо определять их знаки. Положительный знак имеют: оседание, горизонтальные сдвижения и наклоны в сторону от водной поверхности, кривизна и радиус кривизны выпуклости кривой оседания, растяжение. Отрицательный – поднятие, горизонтальные сдвижения и наклоны в сторону водной поверхности, кривизна и радиус кривизны вогнутости кривой оседания, сжатие.

При построении графиков все величины сдвижений и деформаций со знаком плюс, кроме оседания, откладывают вверх от исходной горизонтальной линии. Оседания, а также все величины со знаком минус откладывают вниз.

*Величины сдвижений и деформаций.* При обработке материалов наблюдений по профильной линии определяют по следующим формулам:

а) оседания (в м)

$$\eta = H_{m-1} - H_m, \quad (38)$$

где  $H_{m-1}$ ,  $H_m$  – высотные отметки репера соответственно из предыдущего и данного наблюдений, м;

б) наклоны

$$i = \frac{\eta_n - \eta_{n-1}}{l}, \quad (39)$$

где  $\eta_n$ ,  $\eta_{n-1}$  – величины оседания соответственно переднего и заднего реперов интервала, мм;  $l$  – длина интервала из начального наблюдения, мм;

в) кривизна (1/м)

$$K = \frac{i_n - i_{n-1}}{l_{cp}}, \quad (40)$$

где  $i_n$ ,  $i_{n-1}$  – величины наклонов соответственно последующего и предыдущего интервалов;  $l_{cp} = \frac{l_n + l_{n-1}}{2}$  – полусумма длин последующего и предыдущего интервалов, м;

г) радиус кривизны (в м)

$$R = \frac{1}{K}, \quad (41)$$

где  $K$  – кривизна,  $1/\text{м}$ ;

д) горизонтальные сдвигения,  $\text{м}$

$$\xi = D_2 - D_1, \quad (42)$$

где  $D_1, D_2$  – горизонтальные расстояния от опорного репера до данного соответственно из первого (предыдущего) и повторного (последующего) наблюдений,  $\text{м}$ ;

в) горизонтальные деформации

$$\varepsilon = \frac{d_2 - d_1}{l}. \quad (43)$$

где  $d_1, d_2$  – приведенные длины интервалов соответственно из первого (предыдущего) и повторного (последующего) наблюдений,  $\text{мм}$ .

Величины наклона (формула 39) на графиках относят к середине интервала, величины кривизны и радиуса кривизны (соответственно формулы 40 и 41) – к общей точке двух смежных интервалов; величины горизонтальных деформаций (растяжений и сжатий) (формула 43) – к середине интервала.

План наблюдательной станции в зависимости от размера участка составляют в масштабах  $1:500, 1:1000, 1:2000, 1:5000$ . На плане должны быть нанесены профильные линии с расположенными на них реперами; рельеф местности, все объекты поверхности, за которыми проводятся наблюдения; скважины с отметками их устьев, положение верхней бровки берегового уступа на даты проведения инструментальных наблюдений.

По результатам наблюдений на план наносят образовавшиеся на земной поверхности трещины и провалы под влиянием геологических, гидрологических, климатических и техногенных факторов с указанием дат их появления.

### 3. Приборы для проведения натуральных инструментальных наблюдений за эрозией береговых склонов

#### 3.1 Теодолиты

Теодолиты предназначены для измерения горизонтального и вертикального углов. Основной частью прибора является горизонтальный круг, который состоит из лимба 3 и алидады 2 (рис. 25). При измерении горизонтального угла плоскость лимба должна быть горизонтальной, а его центр устанавливаться на отвесной линии  $ZZ$  (ось вращения теодолита), проходящей через вершину измеряемого угла.

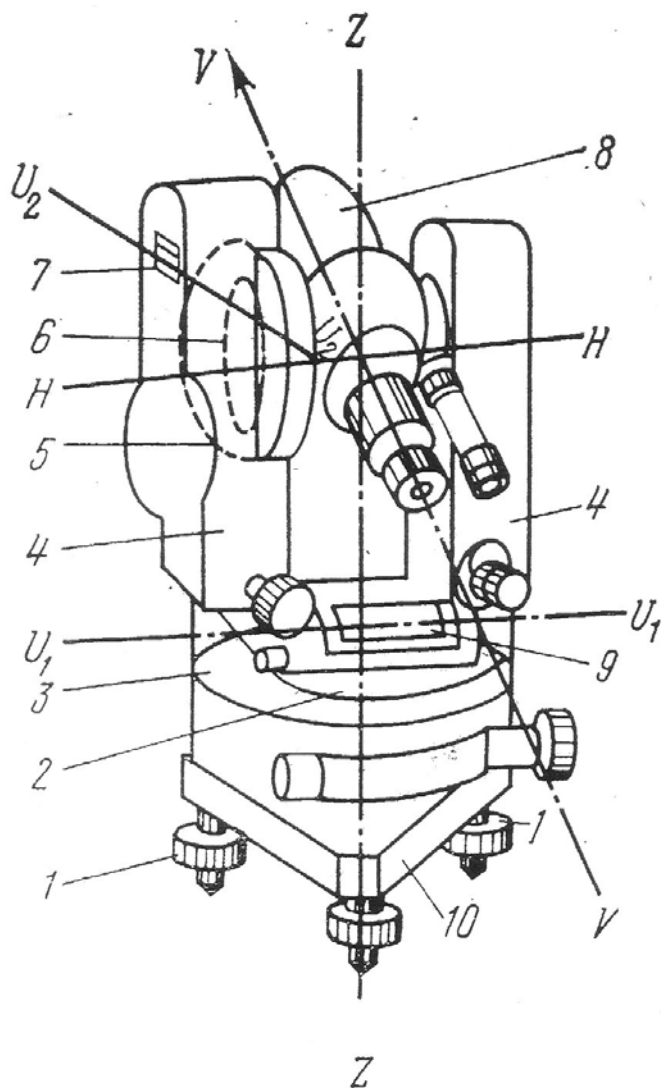


Рис. 25. Принципиальная схема теодолита

Ось  $zz$  устанавливается в отвесное положение (а плоскость лимба – в горизонтальное) по цилиндрическому уровню 9, посредством трех подъемных винтов 1 подставки 10. Для закрепления лимба и алидады в неподвижном положении они снабжены зажимными (закрепительными) винтами и наводящими винтами для их медленного и плавного вращения.

Для визирования на цель служит зрительная труба 8, визирная ось  $VV$  которой при вращении трубы вокруг горизонтальной оси  $NN$  образует коллимационную (проектирующую) плоскость. Зрительная труба расположена на колонке 4, которая соединяется с алидадой горизонтального круга.

На одном из концов оси вращения  $NN$  зрительной трубы 8 закреплен вертикальный круг 5 и имеется цилиндрический уровень 7. Зрительная труба снабжена наводящим и закрепительным винтами.

Промышленностью выпускаются оптические теодолиты: высокоточные  $TO$  5 и  $T1$ ; точные  $T2$  и  $T5$ ; технические  $T15$  и  $T30$ . Величина средней квадратической погрешности измерения горизонтального угла из одного приема в секундах проставляется цифрой после буквы  $T$  (теодолит). Например,  $T15$  имеет величину средней квадратической погрешности измерения горизонтального угла из одного приема равную пятнадцати секундам. Теодолиты, снабженные компенсатором при алидаде вертикального круга, дополнительно обозначаются буквой  $K$  (например,  $T5K$ ).

Теодолит  $2T5K$  (рис. 26) применяется для измерения горизонтальных и вертикальных углов при выполнении наиболее ответственных работ.

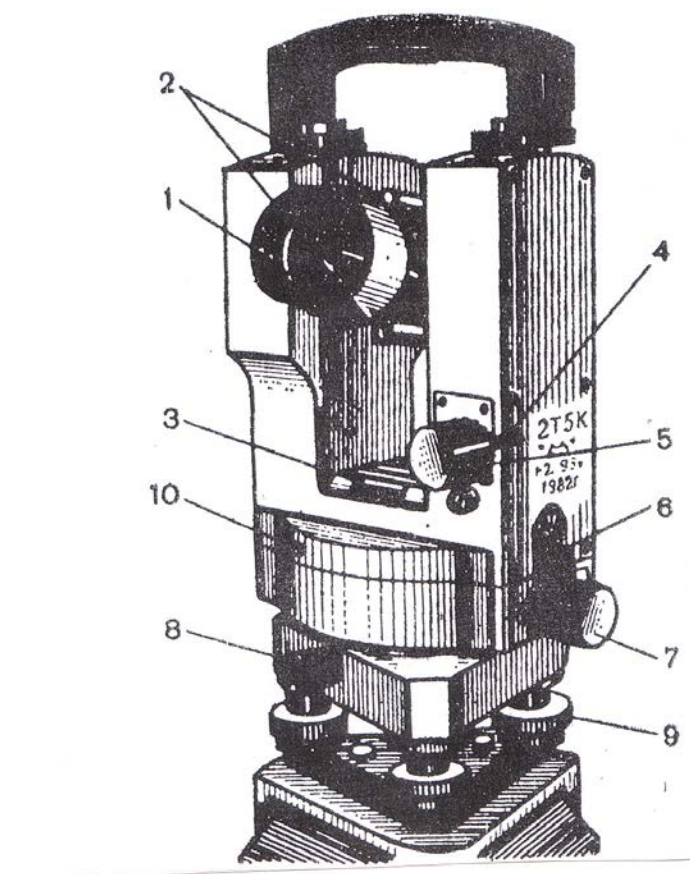


Рис. 26. Общий вид теодолита 2Т5К: 1 – объектив; 2 – оптический визир; 3 – уровень; 4 – зажимное устройство вертикального круга; 5 – наводящий винт зрительной трубы; 6 – зажимное устройство горизонтального круга; 7 – наводящий винт горизонтального круга; 8 – зажимный винт трегера (подставки); 9 – подъемный винт трегера; 10 – окно искателя горизонтального круга

Для снятия отсчетов по горизонтальному и вертикальному кругам используется шкаловый микроскоп, который расположен возле окуляра зрительной трубы.

Микроскоп позволяет одновременно видеть изображения штрихов горизонтального (Г) и вертикального (В) кругов (рис. 27).



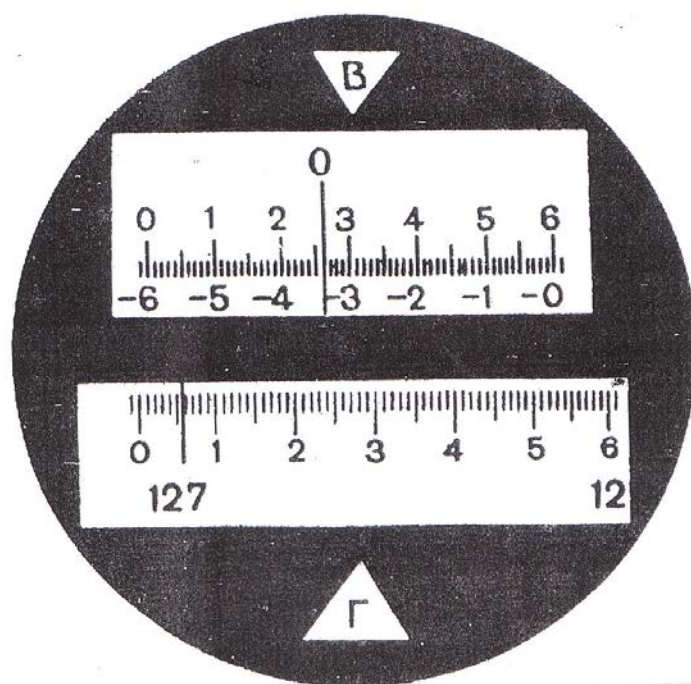


Рис. 27. Поле зрения отсчетного микроскопа теодолита 2Т5К (отсчет по горизонтальному кругу –  $127^{\circ}05,6'$ , отсчет по вертикальному кругу –  $0^{\circ}34,0'$ )

Отсчет состоит из градусов (по штрихам лимба), минут (по делениям шкалы микроскопа) и десятых долей деления шкалы микроскопа, равных  $0,1'$  или  $6''$ .

Алидада вертикального круга не снабжена уровнем. При установлении оси вращения теодолита в вертикальное положение нулевой штрих шкалы вертикального круга приводится компенсатором автоматически так, чтобы место нуля этого круга было равно нулю (диапазон работы компенсатора  $\pm 4'$ ).

Теодолит Т15 (рис. 28) предназначен для измерения горизонтальных и вертикальных углов со среднеквадратическими ошибками, не превышающими  $15''$ . Теодолит Т15 является повторительным угломерным прибором. Он приспособлен для работы с оптическими дальномерами насадками.

На рисунке показаны зажимные винты алидады 8, трубы 11 и соответствующие им наводящие винты алидады 9 и трубы 12. При помощи цилиндрического уровня 4 (10 исправительный винт уровня 4) ось вращения

прибора приводится в отвесное положение. Зрительная труба имеет внутреннюю фокусировку, которая осуществляется кремальерой 2.

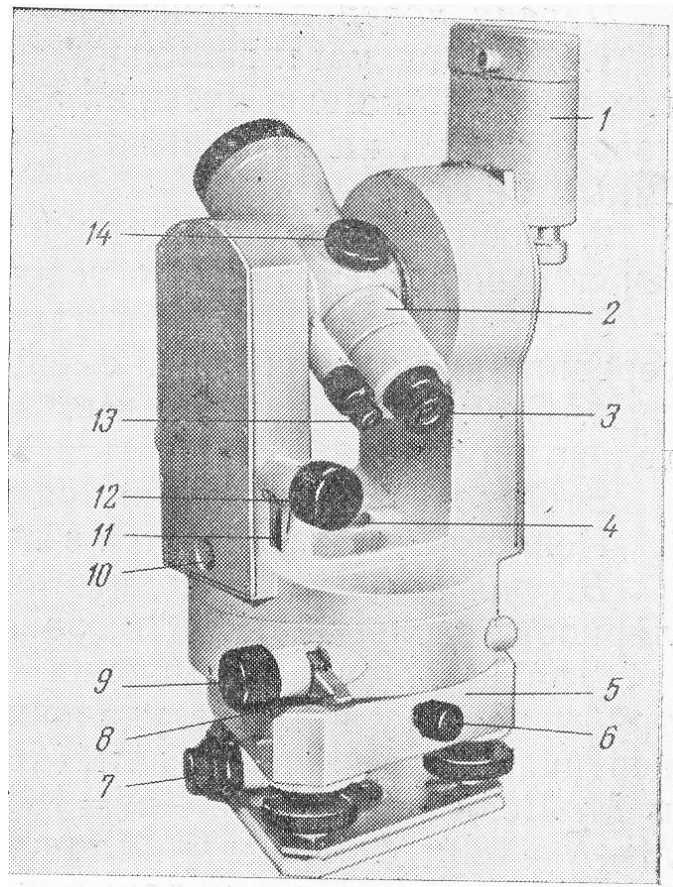


Рис. 28. Теодолит Т15

Теодолит снабжен оптическим центриром 7 для центрирования над точкой и верхним центром 14 для центрирования под точкой. Окуляр 13 шкалового микроскопа расположен рядом с окуляром 3 зрительной трубы. Прибор скрепляется с подставкой 5 закрепительным винтом. Теодолит может быть снабжен электрической подсветкой 1 отсчетного микроскопа для работы в темное время суток и в подземных горных выработках.

Теодолит Т30 является малогабаритным повторительным теодолитом закрытого типа. Прибор устанавливается на головку штатива вместе с круглым основанием металлического упаковочного футляра и прикрепляется станковым винтом.

Маркшейдерское исполнение – М имеет горный теодолит Т30М, (рис. 29), который так же как и теодолит Т30 является повторительным угломерным прибором. Измерение углов выполняется способом приемов и способом повторений.

В теодолитах Т30 и Т30М скрепление горизонтального угла с алидадой и освобождение его производится аналогично теодолиту 2Т5К с помощью клавиши и фиксатора.

Зрительная труба наводится точно на предмет в горизонтальной плоскости наводящим винтом 3 при зажатом зажимном винте 2, а в вертикальной плоскости – наводящим винтом 10 при зажатом закрепительном винте 9.

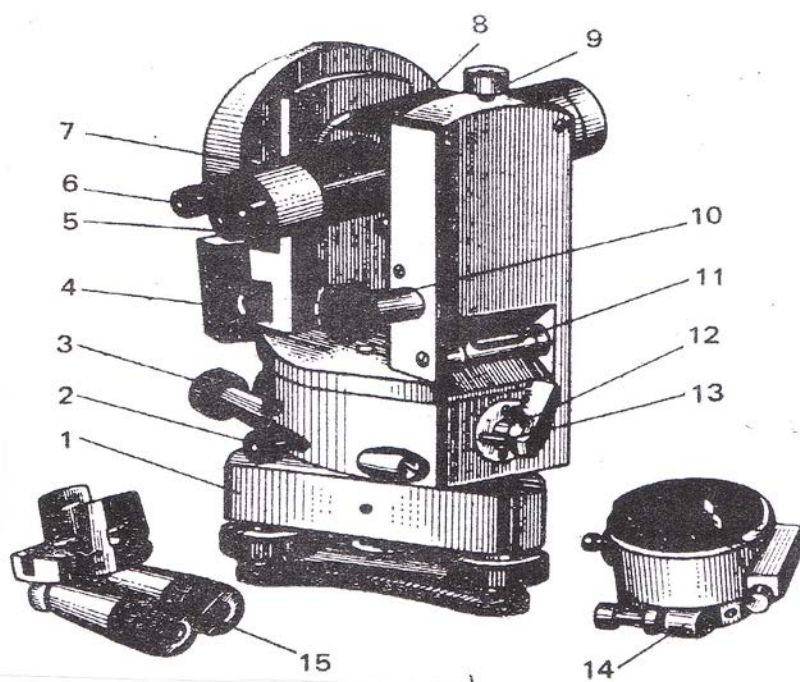


Рис. 29. Теодолит Т30М: 1 – подставка теодолита; 2 – зажимной винт горизонтального круга; 3 – наводящий винт горизонтального круга; 4 – осветительное устройство; 5 – диоптрийное кольцо; 6 – окуляр микроскопа; 7 – кольцо для фокусирования зрительной трубы; 8 – оптический визир; 9 – зажимный винт зрительной трубы; 10 – наводящий винт зрительной трубы; 11 – уровень; 12 – рычаг скрепления горизонтального круга; 13 – фиксатор; 14 – зенитная (призменная) насадка; 15 – коленчатый окуляр

Теодолит имеет съемную подставку 1 и снабжен стеклянными лимбами с градусными делениями. Отсчеты берутся с помощью микроскопа (так же как и в теодолите 2Т5К, цена деления шкалы  $1'$ , точность отсчитывания  $30''$ ).

При съемках на земной поверхности геодезические приборы, в том числе и теодолиты, устанавливают на штативе. Трехногие (чаще деревянные) штативы выпускаются двух типов: нераздвижные ШН – для высокоточных приборов и раздвижные ШР – для всех иных приборов. Длина штативов составляет 1,0-1,6 м.

Теодолиты комплектуются, как правило, с раздвижными унифицированными штативами ШР – 120 и ШР – 140 (число означает наружный диаметр головки  $D$ , мм (рис. 30)).

Диаметр центрального отверстия головки  $d = 45-60$  мм. Становой винт обеспечивает надежную связь прибора со штативом и дает возможность производить центрирование теодолита над заданной точкой с точностью не менее 3 мм с применением оптического центрира, нитяного или жесткого отвеса.

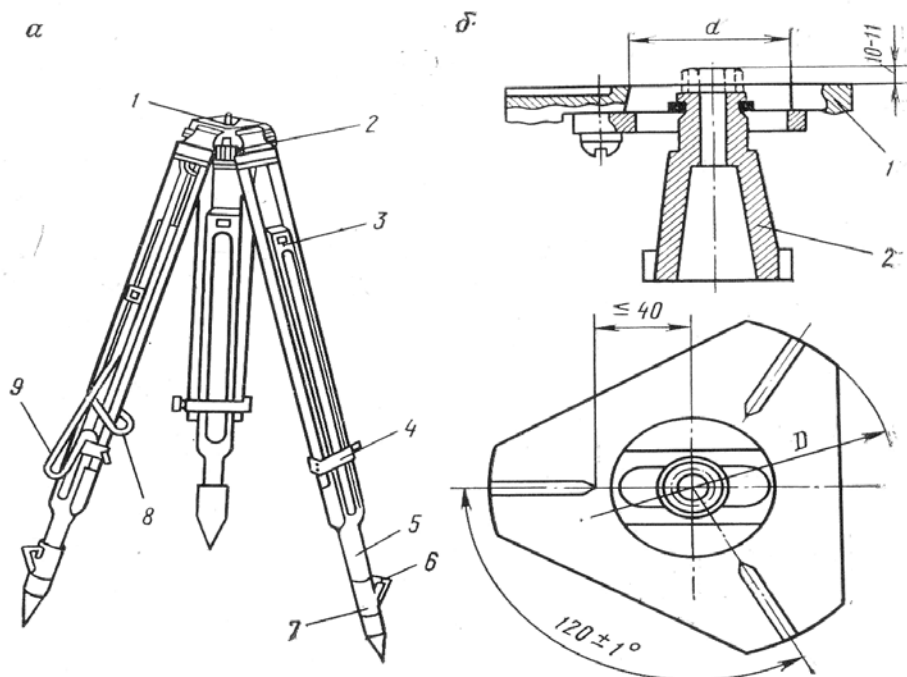


Рис. 30. Раздвижной штатив для геодезических приборов: а – общий вид; б – головка штатива; 1 – головка; 2 – становой винт; 3 – ограничитель; 4 – зажимное устройство; 5 – ножка; 6 – упор; 7 – наконечник; 8 – стягивающий ремень; 9 – плечевой ремень

Для присоединения теодолитов к штативам служат отделимые от прибора подставки (рис. 31), которые должны обеспечивать при вращении верхней части вертикальную и азимутальную устойчивость прибора. Теодолиты горизонтируют подъемными винтами, приводя основную ось вращения инструмента в отвесное положение. Радиус  $r$  до осей подъемных винтов составляет 47,5 - 75 мм, а ход их обеспечивает изменение высоты прибора в пределах до 10 мм.

Подставка должна обеспечивать возможность использования оптического центрира, который размещается в приборе (рис. 32). Объектив оптического центрира расположен внутри полей вертикальной оси, а окулярная часть закреплена в алидадой части теодолита. Оптический центрир позволяет устанавливать теодолит над центром пункта с точностью до 0,5 мм.

На боковой крышке колонки теодолита в пазу посредством винта крепится съемная *ориентир-буссоль*, которая позволяет измерить магнитный азимут. Нулевой диаметр буссоли должен быть параллелен визирной оси зрительной трубы.

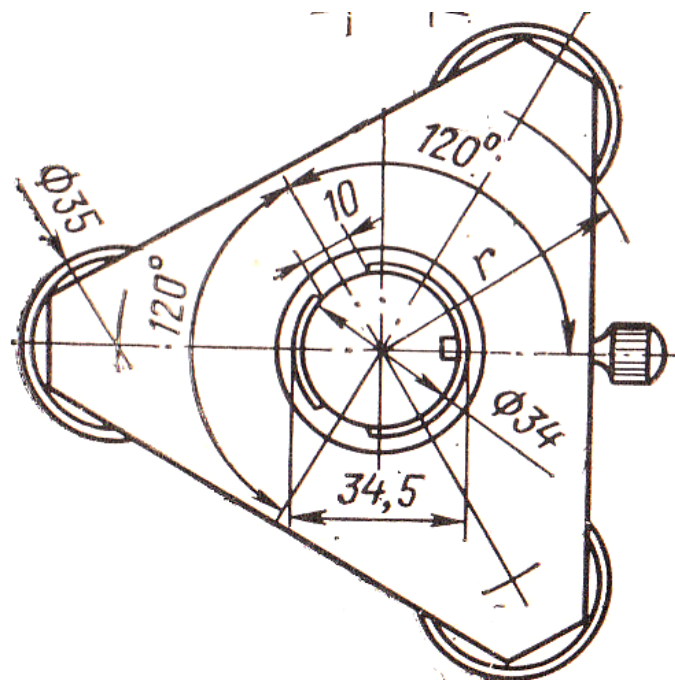


Рис. 31. Подставка для теодолита: 1 – закрепительный винт;  
2 – подъемный винт; 3 – плоская пружина

Магнитный азимут линии определяется следующим образом. Теодолит поворачивают до совпадения концов магнитной стрелки с нулевыми штрихами, расположенными на коробке буссоли. Затем закрепляют лимб и берут отсчет по горизонтальному кругу.

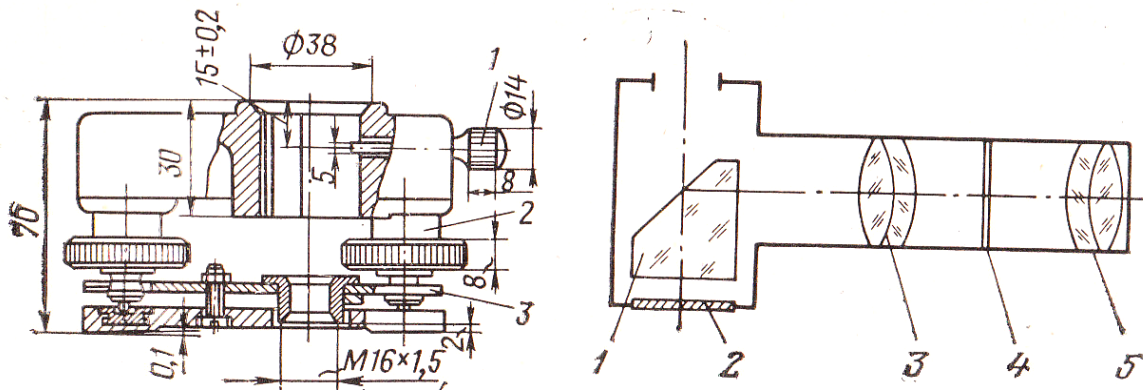


Рис. 32. Схема оптического центрира: 1- призма; 2- стеклянная крышка;  
3 – объектив; 4 – сетка нитей; 5 – окуляр

Поворачивая алидадную часть теодолита, визируют зрительную трубу на точку, намеченную на другом конце определяемой линии, и берут новый отсчет по горизонтальному кругу. Разность двух отсчетов по горизонтальному кругу дает величину магнитного азимута ориентируемой в пространстве линии.

К теодолитам выпускаются следующие специальные приспособления и принадлежности: комплект – визирные цели КВК, состоящий из штативов, подставок, визирных марок, двухстороннего оптического отвеса ОДО, приспособлений для электроосвещения и т. д. Марки покрыты флюоресцентной эмалью, повышающей их яркость в несколько раз, что позволяет визировать на такие марки на расстоянии до 5 км.

Электронные теодолиты являются геодезическими приборами последнего поколения, в которых широко используются компьютерные технологии (рис. 33).





Рис. 33. Электронный теодолит FOIF DT 202C

Характеристики:

- Увеличение зрительной трубы – 30х;
- Условия окружающей среды, рабочая температура от 20 до +50<sup>0</sup>С;
- Дисплей – жидкокристаллический экран со светодиодной подсветкой (два экрана);
- Точность условных измерений – 2”;
- Наименьший угловой отсчет – 1”;

- Диапазон работы компенсатора –  $\pm 3'$ ;
- Время непрерывной работы – 80 ч;
- Минимальное расстояние фокусировки – 1 м;
- Питание NI – МН аккумулятор или 4 алкалиновые батареи;
- Передача данных через RS – 232C порт;
- Вес – 4,8 кг.

Предназначен для измерения вертикальных и горизонтальных углов. Прибор выполняет измерения, вычисляет, отображает и сохраняет полученные расчеты с помощью компьютерных технологий. При использовании этого теодолита исключают ошибки снятия отсчетов. Значения углов выводятся на дисплей, расположенный с двух сторон прибора. Предусмотрена установка нулевого значения на исходное направление и фокусировка отсчета по горизонтальному кругу.

### **3.2 Нивелиры и нивелирные рейки**

С помощью нивелира в его рабочем положении можно получить горизонтальную линию визирования. Нивелир снабжен зрительной трубой, цилиндрическим уровнем или компенсатором, с помощью которых получают горизонтальную ось визирования. Нивелиры всех типов имеют зрительную трубу с внутренним фокусированием по предмету. Нивелиры различают по двум основным признакам: по точности и по способу приведения визирной оси зрительной трубы в горизонтальное положение.

Различают три типа нивелиров по точности: 1) Н-05 – высокоточный с оптическим микрометром для определения превышений с погрешностью не более 0,5 мм на 1 км двойного хода (для нивелирования I и II классов); 2) Н-3 – точный для определения превышений с погрешностью не более 3 мм на 1 км двойного хода (для нивелирования III и IV классов и при инженерно - геодезических изысканиях); 3) Н-10 – технический для определения превышений с погрешностью не более 10 мм на 1 км двойного хода для выполнения



топографических съемок, инженерно–геодезических изысканиях и в строительстве. По способу установки визирной оси в горизонтальное положение выпускаемые промышленностью нивелиры разделяются на два типа: глухой – с цилиндрическим уровнем при зрительной трубе и с компенсатором. К названию нивелиров с компенсатором добавляется буква К (Н–3К, Н-10К). Некоторые нивелиры выпускаются с лимбами для измерения горизонтальных углов. К названию таких нивелиров добавляется буква Л (Н-3КЛ, Н-10КЛ, Н-10Л).

*Нивелир Н - 3* (рис. 34) имеет верхнюю вращающуюся часть, состоящую из зрительной трубы 6 (увеличение  $30^{\times}$ ), цилиндрического уровня 5 (цена деления  $15''$ ), призмного устройства, которое передает изображение концов пузырька уровня в поле зрительной трубы. На верхней части находятся закрепительный и наводящий винты 10 и 11, элевационный винт 3 и круглый уровень 12.

Нижняя неподвижная часть нивелира состоит из подставки 2, снабженной тремя подъемными винтами 13. Для того, чтобы закрепить прибор на штативе, становой винт ввинчивается во втулку пружинящей пластины 1. Установка визирной оси нивелира в горизонтальное положение предварительно производится по круглому уровню 12. Точная установка визирной оси в горизонтальное положение достигается вращением элевационного винта 3 до совмещения половинок цилиндрического уровня, после чего берется отсчет по рейке.

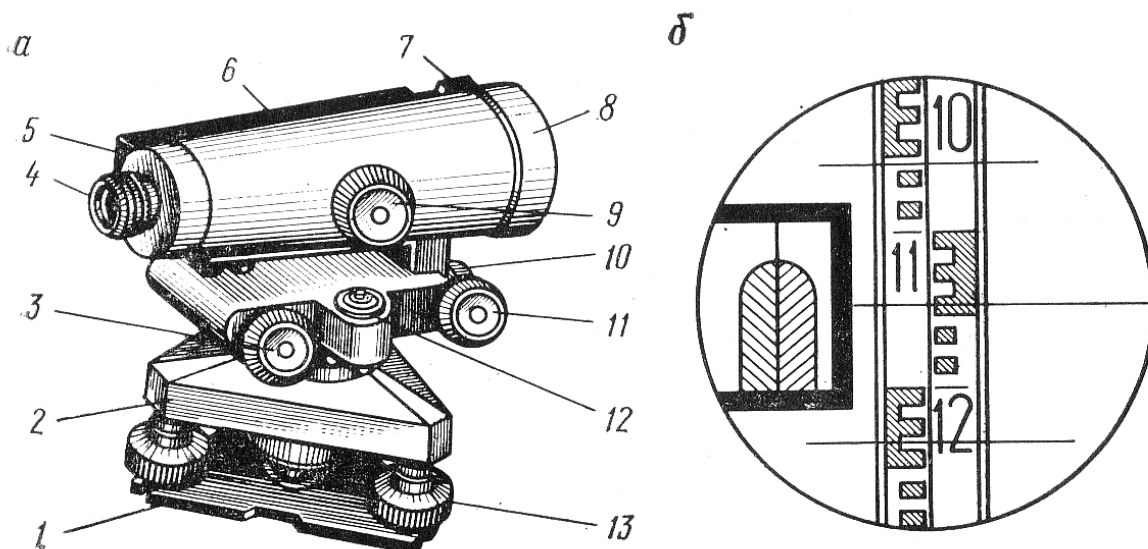


Рис. 34. Нивелир Н - 3: а – общий вид; б – поле зрения трубы (отсчет 1144); 1- пружинящая пластина с втулкой; 2 – подставка; 3 – элевационный винт; 4 – окуляр; 5 – цилиндрический уровень; 6 – зрительная труба; 7 – прицельная мушка; 8 – объектив; 9 – фокусирувочный винт; 10 – закрепительный винт; 11 – наводящий винт; 12 – круглый уровень; 13 – подъемные винты

*Нивелир Н-10Л* (рис. 35) также имеет верхнюю вращающуюся часть, которая состоит из зрительной трубы 3 (увеличение  $20^{\times}$ ), цилиндрического уровня 2 (цена деления  $45''$ ) и специального приземного устройства для передачи изображения концов в поле зрительной трубы.

Нижняя часть прибора состоит из подставки 1 в виде шаровой пяты, горизонтального круга 8, снабженного верньерным отсчетным устройством 9 (точность отсчета  $6'$ ), элевационного винта 7, который предназначен для точного приведения оси цилиндрического уровня в горизонтальное положение, а также круглого уровня; служащего для предварительного горизонтирования прибора.

Поскольку нивелир не имеет закрепительного и наводящего винтов, то наведение трубы на рейку производится поворотом верхней части прибора от

руки. Отсчет по рейке берут, когда концы пузырька цилиндрического уровня находятся на одном уровне.

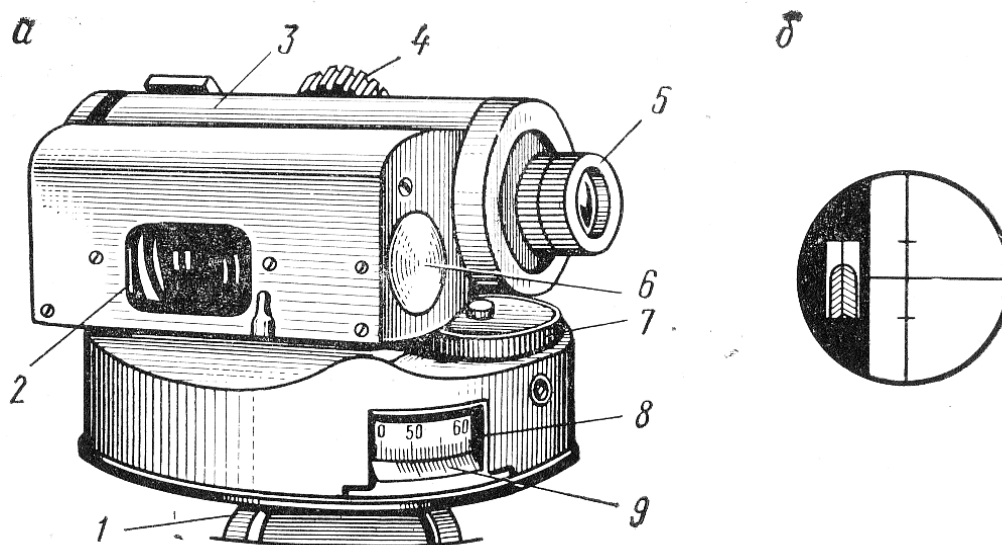


Рис. 35. Нивелир Н-10Л: а – общий вид; б – поле зрения трубы;  
 1 - подставка; 2 – цилиндрический уровень; 3 – зрительная труба;  
 4 – фокусирующий винт; 5 – окуляр; 6 – крышка исправительных винтов  
 цилиндрического уровня; 7 – элевационный винт; 8 – горизонтальный круг;  
 9 – верньер

*Нивелир Н-10К* (рис. 36) снабжен призмным компенсатором, который работает в пределах  $\pm 20'$ . Компенсатор выполнен из двух склеенных между собой пентапризм: большой 6 и малой 7, которые наглухо закреплены в корпусе зрительной трубы. Подвижная прямоугольная призма 8 занимает постоянно одно и то же положение относительно горизонта. Она является чувствительным элементом компенсатора. Фокусирование зрительной трубы производится путем перемещения вверх-вниз призмы 8.

Компенсатор работает следующим образом. Прошедший через объектив 1 луч света попадает на отражающие грани большой пентапризмы 6, отразившись от которых под углом  $90^{\circ}$  поступает в призму 8, далее после двукратного преломления попадает на выходящую призму 7. После изменения направления на  $90^{\circ}$  луч света проходит через сетку нитей 9 в окуляр 10. В случае наклона поступающего в объектив луча на угол, не превышающий

пределов действия компенсатора, прямоугольная призма 8 исправляет положение луча, который поступает в окуляр уже горизонтальным.

В нивелире Н-10К зрительная труба дает прямое изображение наблюдательных предметов. Шкала деления лимба горизонтального круга разбита через  $1^{\circ}$ , отсчеты по ней производят по индексу, оценивая десятые доли деления на глаз.

К нивелирам последнего поколения относятся электронные (цифровые) нивелиры.

Электронный нивелир SOKKIA SDL30M (рис. 37) удобен и прост в эксплуатации. Для выполнения измерений пользователь наводит зрительную трубу на рейку и нажимает клавишу, после чего SDL30M вычисляет превышение и расстояние.

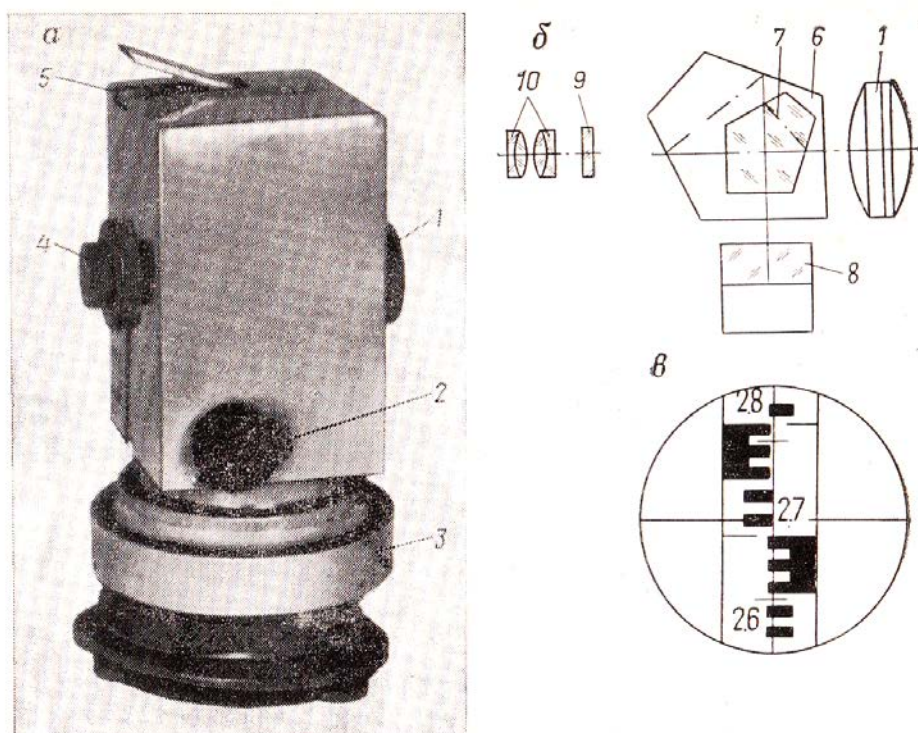


Рис. 36. Нивелир Н-10К: а – общий вид; б - оптическая схема прибора; в – поле зрения трубы с прямым изображением рейки (отсчет 2716);

- 1 – объектив; 2 - головка фокусирующего устройства; 3 - горизонтальный круг; 4 - окуляр; 5 - круглый уровень; 6 - большая пентапризма; 7 - выходная (малая пентапризма; 8 – призма – чувствительный элемент; 9 - сетка нитей; 10 - окуляр

Результаты измерений выводятся на экран и могут быть сохранены в памяти прибора. SDL30M неприхотлив к условиям наблюдений и может использоваться в неблагоприятных условиях, такие как неравномерное освещение, конвекционное движение воздуха и вибрация. Для работы с SDL30M используются прочные фиброгласовые рейки со специальным штриховым RAB – кодом. SDL30M позволяет выполнить измерения не только по штрих – кодовой рейке, но и по обычной нивелирной рейке, что значительно расширяет возможности использования прибора.

Стандартная комплектация: электронный нивелир, аккумулятор, зарядное устройство, юстировочные инструменты, руководство пользователя, футляр, программа передачи данных.



Рис. 37. Электронный (цифровой) нивелир SOKKIA SDL30M

Программное обеспечение:

- Вынос в натуру отметок и расстояний;
- Вычисление отметок;
- Проложение нивелирного хода.

Технические характеристики прибора:

- Точность измерений превышений (на 1 км двойного хода), мм: 1,0;
- Диапазон измерений, м: 1,6- 100;
- Точность измерений расстояний, мм: 10 – 20 мм в зависимости от расстояния;

- Увеличение зрительной трубы: 32х;
- Изображение: прямое;
- Компенсатор: магнитный демпфер и маятниковый механизм;
- Диапазон работы компенсатора:  $\pm 15$ ;
- Время измерения, с: менее 3 с;
- Клавиатура: 8 клавиш.

Дисплей: ЖК графический, 128х32 точек;

- Память: 2000 измерений (64 кБ);
- Защита от пыли и воды: IPX4;
- Рабочая температура,  $^{\circ}\text{C}$ : от – 20 до + 50;
- Время работы от одного аккумулятора: более 8,5 ч;
- Время заряда аккумулятора: менее 2 ч;
- Вес, кг: 2,4.

При выполнении геометрического нивелирования используются *нивелирные рейки*, представляющие собой брусок прямоугольного либо двутаврового сечения шириной 8-10 см, толщиной 2-3 см и длиной 1,2; 1,5; 3,0 и 4,0 м, изготовленный из древесины отборного сорта или полимерных материалов. Рабочая поверхность рейки имеет штриховые либо шашечные деления с надписями арабскими цифрами. Счет делений начинается от нижнего конца (пятки) рейки, который устанавливается на точке, либо репера наблюдательной станции. Пятки и верхний торец рейки укреплены полосками стальной оковки.

При проведении геометрического нивелирования используются три вида реек:

1. РН- 05 – односторонние штриховые инварные рейки (рис. 38), которые предназначены для нивелирования I и II классов.



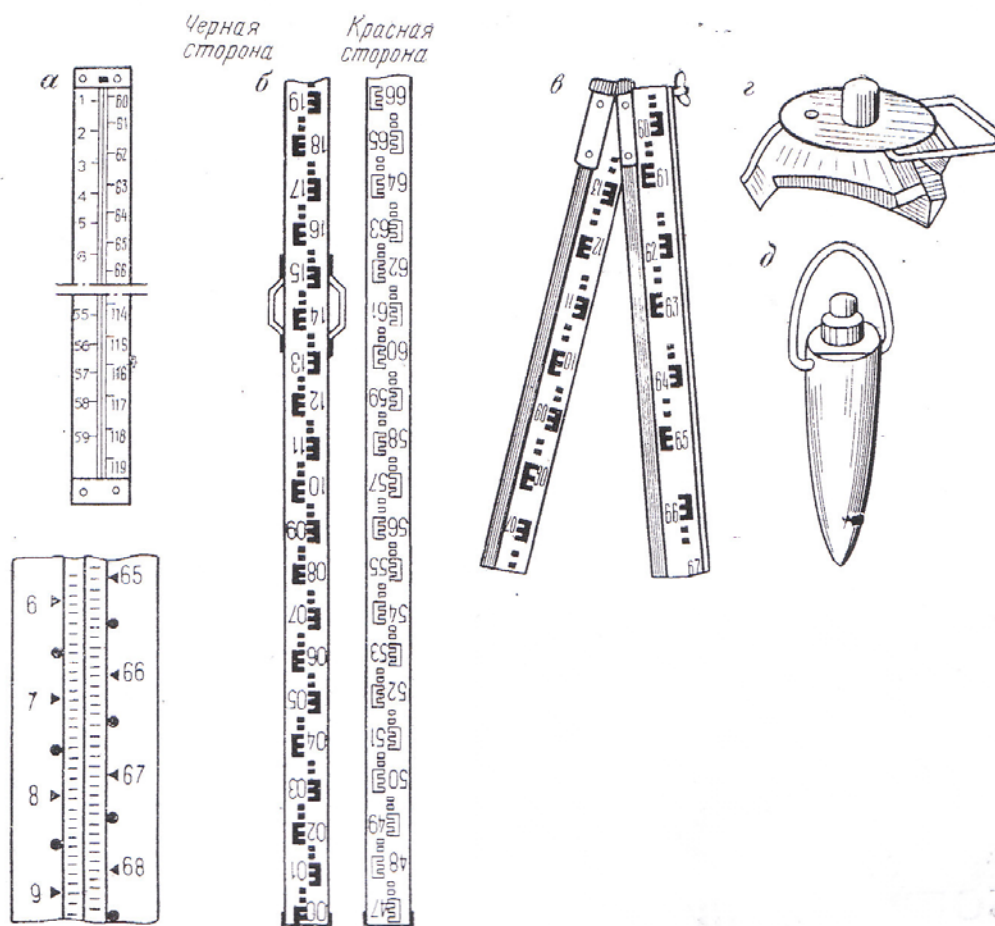


Рис. 38. Нивелирные рейки и приспособления для их установки:

а – штриховая инварная рейка типа РН-0,5; б – двухсторонняя шашечная рейка типа РН-3; в – складная рейка; г – башмак; д – костыль

В комплект входит две 3–метровые рейки и одна подвесная длиной 1,2 м со штифтом. Основная и дополнительная шкалы с делениями через 0,5 см нанесены на натянутые инварные полосы. Рейка снабжена круглым уровнем и ручками для установки ее в вертикальное положение.

2. РН-3 – двухсторонние шашечные рейки, длиной 1,5, 3,0 или 4,0 м (рис. 38, б), предназначенные для нивелирования I и IV классов. На рейки нанесены чередующие шашечки (1 см): на основной стороне – черные и белые (черная сторона); на другой дополнительной – красные и белые (красная сторона). Оцифровку имеют все дециметровые деления рейки; первые пять шашечек каждого дециметра объединены в виде буквы Е для облегчения

взятия отсчетов. На черной стороне нуль совпадает с пяткой рейки. Начало оцифровки красной стороны смещено относительно черной на некоторую величину, которая служит контролем отсчетов по двум сторонам рейки.

Рейки длиной 4 м изготавливаются складными из двух частей с шарнирным соединением. Рейки длиной 3 м могут быть цельными и складными. Рейки снабжаются ручными и круглыми уровнями с ценой деления 20'.

3. РН-10 – двухсторонняя складная шашечная рейка длиной 4,0 м, предназначенная для технического нивелирования. Основная шкала имеет деления через 1 см, дополнительная – через 5 см. Эти рейки обычно не имеют уровней и ручек. Отсчет будет при плавном покачивании рейки вдоль линии визирования симметрично ее вертикальному положению. Наименьший отсчет по рейке соответствует ее вертикальному положению.

Перед выполнением нивелирования производят компарирование реек с помощью контрольного метра. При этом определяют длины метровых интервалов и правильность нанесения дециметровых делений, случайные ошибки дециметровых делений не более  $\pm 1$  мм, а длины рейки не более  $\pm 2$  мм.

При использовании электронных нивелиров используют как обычные, вышеописанные рейки, так и фиброгласовые со специальным штриховым РАВ-кодом.

В процессе прокладки нивелирного хода рейки устанавливают на переносные металлические башмаки (рис. 38, г), костыли (рис. 38, д) либо вбитые в землю деревянные колья.

### **3.3 Приборы для измерения длин линий**

#### **3.3.1 Приборы для непосредственного измерения длин линий**

При выполнении натуральных инструментальных наблюдений за сдвижением береговых склонов длины линий измеряют механическими приборами – *мерными лентами*. Их изготавливают из стали или инвара (сплав



64% стали и 36% никеля, имеющий низкий коэффициент линейного расширения).

По конструкции различают: *штриховые* и *шкаловые* мерные ленты.

При выполнении геодезических работ (выноска в натуру и разбивка профильных линий и др.), как правило, применяют штриховые стальные мерные ленты типа ЛЗ (лента землемерная). Такая лента (рис. 39,а) выполнена в виде стальной полосы длиной 20 и 24 м, шириной 15-20 мм и толщиной 0,3-0,4 мм.

Штриховая лента длиной 20 м разделена на метры, полуметры и дециметры, причем метровые деления отмечены с двух сторон полотна овальными латунными или алюминиевыми пластинками, на которых выдавлены порядковые номера метров. Дециметровые деления обозначены отверстиями, а полуметры – круглыми заклепками с шайбами. Отрезки линий менее дециметра оцениваются на глаз с точностью до 1 см.

В нерабочем положении лента закрепляется винтом на кольцевой металлической оправе (рис. 39,б). В комплект ленты входит 6 или 11 шпилек на проволочном кольце (рис. 39, в).

Штриховые ленты длиной 24 м по оцифровке, виду и числу делений не отличаются от 20-метровых. Длина условного метра в таких лентах составляет 120 см. Ленты предназначены для контрольных измерений расстояний, выполненных 20-метровой лентой. Для получения фактического расстояния результат измерения 24-метровой лентой умножают на коэффициент 1,2.

В зависимости от условий местности измерение длин лент штриховыми лентами обеспечивается с точностью от 1:3000.

Измерения с повышенной точностью проводятся с использованием *шкаловых лент* типа ЛЗШ (рис. 39, г), выполненных из стали или инвара.

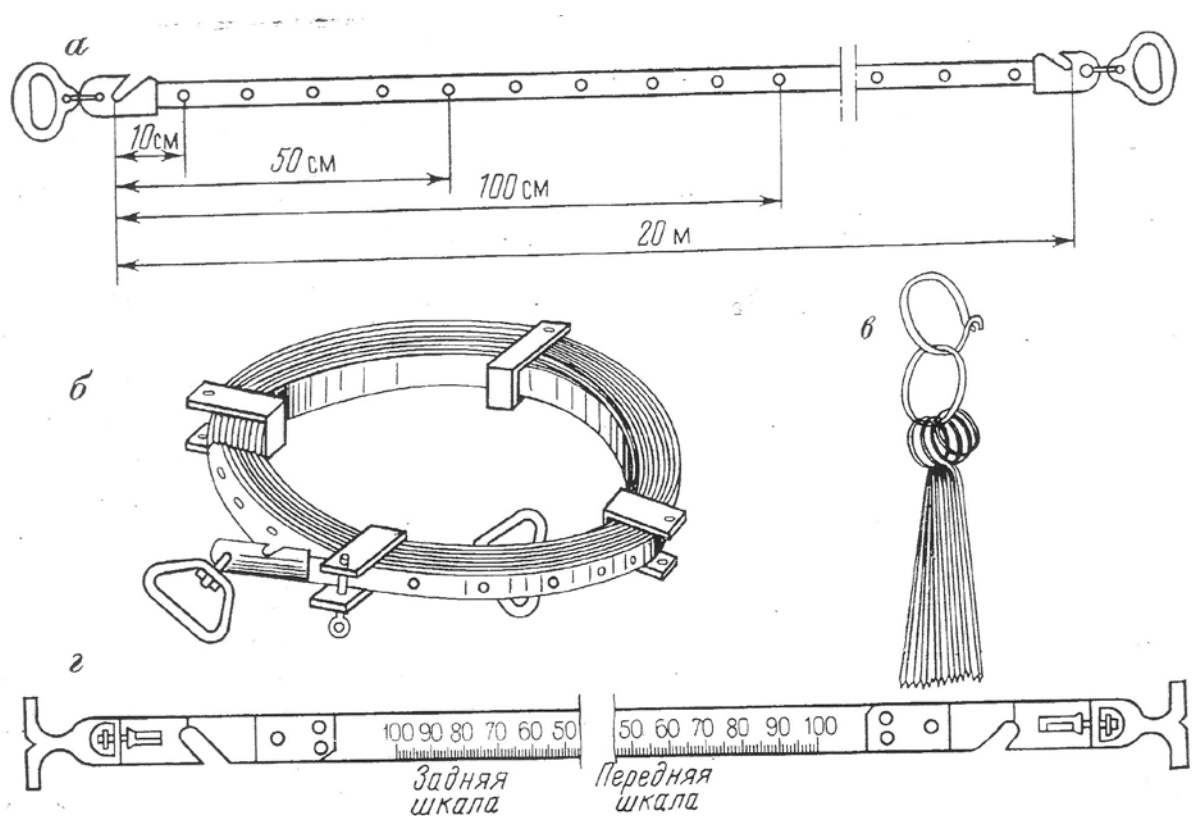


Рис. 39. Мерные ленты: а – штриховая лента типа ЛЗ; б – нерабочее положение ленты; в – комплект шпилек; г – шкаловая лента типа ЛЗШ

Шкаловая лента выполнена в виде сплошной полосы, на концах которой нанесены шкалы длиной по 10 см с миллиметровыми делениями (рис. 39, г). Полотно ленты выполнено без разбивки на метровые и дециметровые отрезки. Расстояние между нулевыми делениями шкал принимается за длину ленты.

Подлежащая измерению линия предварительно разбивается на пролеты, длина которых примерно равна 24 или 48 м (номинальные длины лент). Длины пролетов фиксируются штрихами (прочерчиваются на подкладываемых под концы ленты башмаках), иглами или лезвиями специальных ножей. Отсчеты по шкалам берутся с точностью до 0,2 мм при натянутой с помощью динамометра ленте.

Измерение длин может производиться как по поверхности земли, так и в подвешенном состоянии (с использованием штативов с блоками либо жестких отвесов ОЖ-3 конструкции ВНИМИ).

Порядок измерения длин с помощью жестких отвесов следующий. Передний и задний отвесы центрируют над реперами таким образом, чтобы их круглые уровни 7 (рис. 40) находились с одной стороны по ходу направления измерений, например, справа; берут отсчеты по рулетке, вычисляют замеренную длину интервала; стержень заднего отвеса поворачивают на  $180^{\circ}$ , при этом круглый уровень на стержне оказывается слева по ходу.

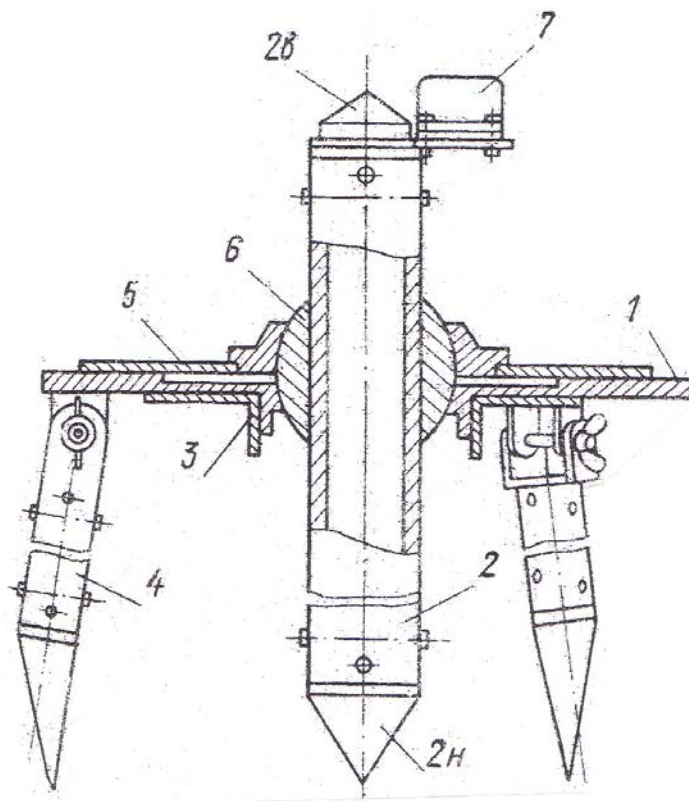


Рис. 40. Отвес жесткий ОЖ – 3: 1 – основание отвеса;  
 2 – центрировочный стержень; 2<sub>в</sub> и 2<sub>н</sub> – верхний и нижний конусы  
 центрировочного стержня; 3 – зажим; 4 – ножка штатива; 5 – крышка;  
 6 – сферический шарнир; 7 – круглый уровень

Снова берут отсчеты по рулетке, вычисляют длину интервала; стержень переднего отвеса поворачивают на  $180^{\circ}$  так, чтобы круглые уровни обоих отвесов оказались слева по ходу; берут отсчеты по рулетке, вычисляют снова

длину интервала. Расхождения в измеренных длинах интервала не должны превышать 2 мм.

Перед началом работы необходимо проверять параллельность осей круглого уровня жесткого отвеса и центрировочного стержня в следующей последовательности. Если уровень был снят с центрировочного стержня, то стержень на глаз устанавливают в вертикальное положение. Затем к нему прикрепляют уровень, пузырек уровня с помощью исправленных винтов выводят к середине на половину схода, вторую половину схода уровня устраняют перемещением крышки в направлении, противоположном сходу уровня. Поверку аналогичным образом повторяют при поворотах стержня на 90, 180 и 270<sup>0</sup> считая от первоначального положения.

Если при вращении центрировочного стержня вокруг оси пузырек уровня будет оставаться в пределах круга на ампуле уровня, то поверка отвеса будет считаться выполненной.

Точность измерения длин шкаловыми лентами достигается при благоприятных условиях 1:7000 (стальные ленты), 1:100000 (инварные ленты).

Рулетки предназначены для измерения коротких линий при выполнении наблюдений на профильных линиях и других видах наблюдательных станций.

Стальные рулетки бывают длиной 10, 20, 30, 50 м.

В проведении наблюдений за сдвижением земной поверхности используются *металлические рулетки* в закрытом корпусе (типа РЗ, рис. 41, а) на крестовине (типа РК, рис. 41,б) и на вилке (типа РВ, рис. 41, в) и др.

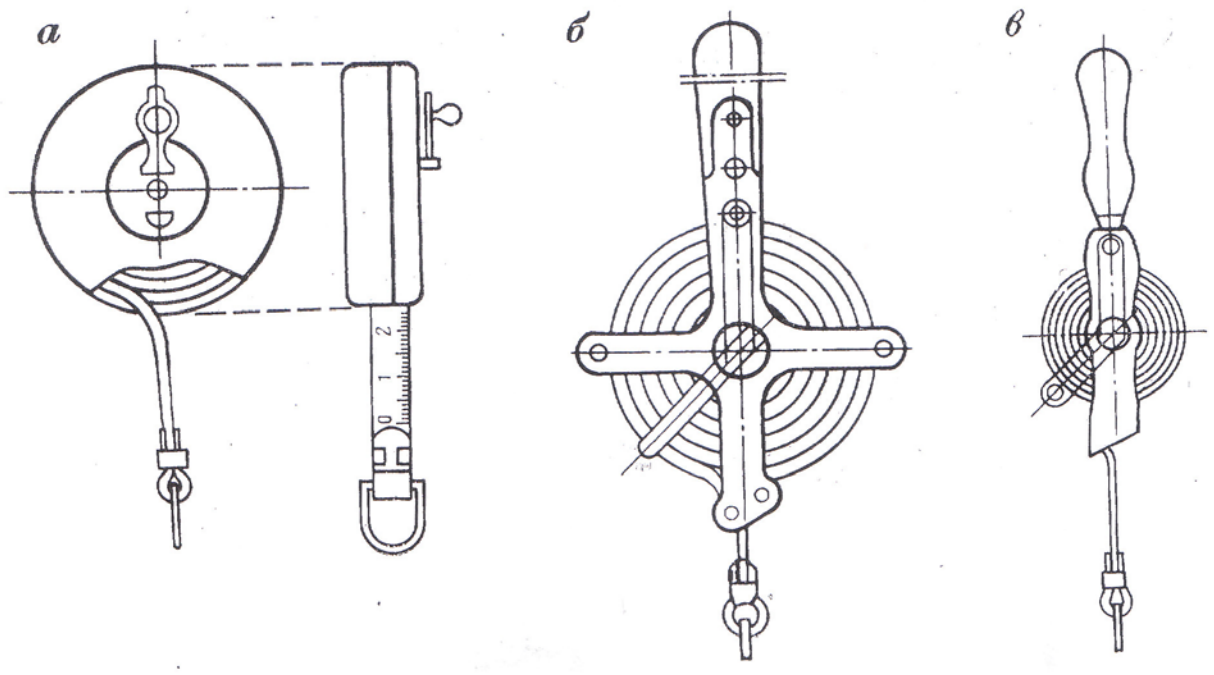


Рис. 41. Рулетки: а – металлическая в закрытом корпусе (РЗ);  
 б – на крестовине (РК); на валике (РВ)

Чаще используются горные рулетки на вилке или крестовине типов РГ-20, РГ-30, и РГ-50, которые изготавливаются из нержавеющей стали, обладающие высокими механическими свойствами и коррозионной стойкостью.

Металлические рулетки (из стали, реже инвара) представляют собой полосу, на которой нанесены сантиметровые и миллиметровые деления. По точности нанесения шкал металлические рулетки делятся на 1-, 2- и 3-й классы. Измерения длин линий стальными рулетками производятся с точностью 1:50000 и выше.

Для грубых измерений (с допускаемыми погрешностями в несколько сантиметров) можно использовать тесмяные рулетки в пластмассовых или металлических футлярах. Полотняная полоса тесмяной рулетки выполнена с проволочной стабилизирующей основой, окрашена масляной краской, на которой нанесены сантиметровые деления и подписи дециметров и метров.

Точность измерения длин линий тесмяной рулеткой невелика, так как ее полотно со времени вытягивается. Прочность таких рулеток значительно ниже, чем металлических. При наблюдениях за сдвижением береговых уступов тесмяные рулетки можно применять при замерах контура обрушения по верхней бровке уступа от выставляемого створа.

### **3.2.2 Дальномеры и лазерные рулетки**

Для ускорения и упрощения процесса полевых измерений расстояние от станции до съемочных точек измеряют *дальномером*.

Большое распространение в последние годы получают электрофизические приборы для определения расстояний, основанные на принципах электронного измерения времени распространения электромагнитных волн между конечными точками измеряемой линии. Такие приборы в зависимости от вида электромагнитных колебаний делятся на светодальномеры (СБ-6, СМ-2, ДН-8 и др.) и радиодальномеры (РДГВ «Луч») и др.

Оптические дальномеры позволяют определять горизонтальные и наклонные расстояния косвенным методом. В основе определения расстояний лежит решение равнобедренного (или прямоугольного) треугольника. Острый угол такого треугольника называется параллактическим, а противоположная сторона – базой. Конструктивно оптические дальномеры выполняются с постоянным параллактическим углом, либо с постоянной базой.

Нитяной дальномер является простейшим оптическим дальномером с постоянным параллактическим углом и переменной базой при определяемой точке. Он представляет собой зрительную трубу, на сетке нитей которой имеются дополнительные дальномерные штрихи, симметрично расположенные относительно визирной оси (рис. 42).

Нитяные дальномеры не являются самостоятельными приборами, а совмещаются с маркшейдерско-геодезическими приборами (теодолитами, нивелирами, кипрегелями), что придает универсальность таким приборам.

Расчетные формулы для нитяного дальномера приведены в разделе 2.2.2.

Недостатком нитяного дальномера является невысокая точность определения расстояний, которая объясняется необходимостью брать отсчеты по концам базиса при помощи нитей, имеющих некоторую ширину, а также невозможностью одновременного взятия этих отсчетов.

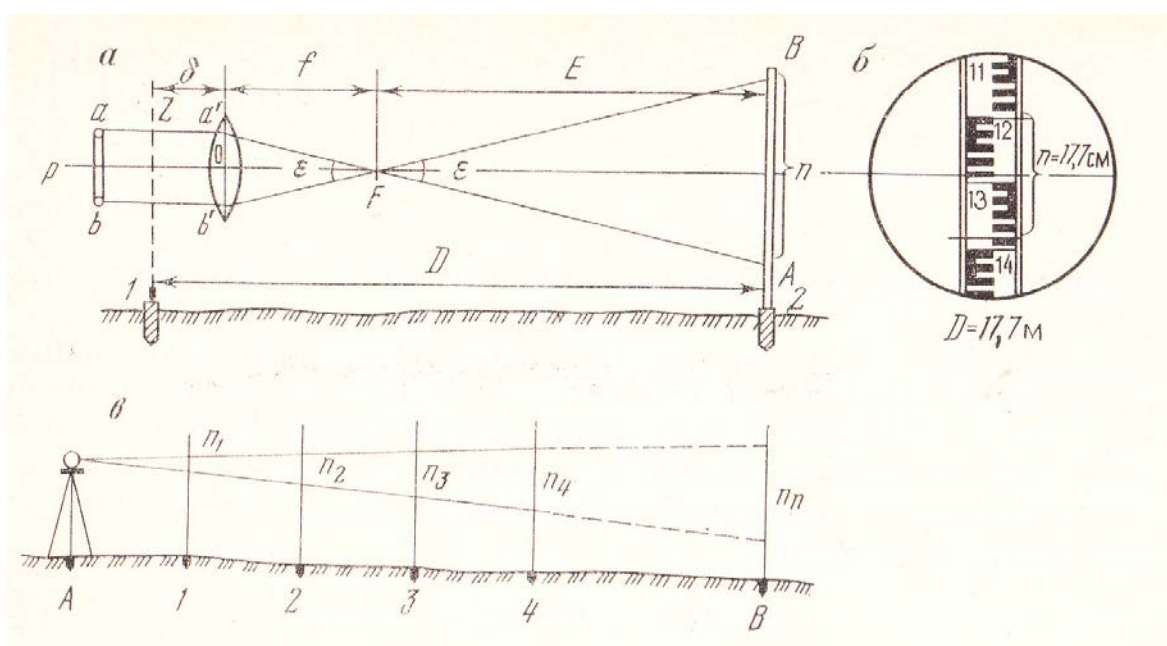


Рис. 42. Схема определения расстояния с помощью дальномера

Этих недостатков лишены дальномеры двойного изображения, позволяющие получить результаты с точностью, близкой к точности измерения расстояний мерными лентами. В основу дальномеров двойного действия положено свойство стеклянной призмы отклонять проходящие через нее лучи к основанию. В дальномерах используют призму с очень малым преломляющим углом, которая называется оптическим клином.

Дальномеры двойного изображения производятся двух типов: 1 – дальномеры с постоянным параллактическим углом и переменной базой, в

которых используется оптический клин; 2 – дальномеры с постоянной базой и переменным углом, в которых используются линзы, либо их системы.

Дальномер Д-2 – прибор с переменным параллактическим углом и постоянной базой у цели, предназначен для измерения длин линий от 40 до 400 м по горизонтальной и вертикальной рейкам с относительной погрешностью соответственно не более 1:5000 и 1:3000. Дальномер Д-2 выполнен как самостоятельный прибор.

Редукционный дальномер ДНР-5 выполнен в виде насадки на зрительную трубу теодолита с постоянным параллактическим углом. Предназначен для измерения горизонтальных проложений длин линий от 20 до 120 м по вертикальной рейке в теодолитных ходах с относительной погрешностью 1:1000 и 1:2000 и для горизонтальной съемки застроенных территорий. Особенностью устройства является наличие редукционного устройства в виде навесного клина, автоматически преобразующего наклонные расстояния в их горизонтальные проложения при углах наклона зрительной трубы до  $\pm 12^\circ$ .

Дальномерный насадок ДН-8 с переменным параллактическим углом служит для измерения длин линий от 50 до 700 м с относительной погрешностью не более 1:2500. Измерение параллактических углов производится посредством линзового компенсатора с дальномерной шкалой и отсчетным устройством в виде шкалового микроскопа.

### *Лазерные рулетки со встроенными функциями*

Рулетка DJSTOpro совмещает в себе возможности прецизионного дальномера с функциями калькулятора. DJSTOpro – высшее достижение в серии рулеток Leica DJSTO, позволяющая сохранять 1000 измерений во внутренней памяти, а также работать в режиме ON line.

При работе в режиме ON line измерения сохраняются непосредственно на компьютере или сохраненные данные из памяти рулетки передаются в ПК



посредством программы DJSTOpad. Данные могут быть переданы в формате Windows 3.11/95/NT/CE.

Перед сохранением любимым данным можно присвоить код группы, что позволяет отказаться от дополнительных записей и автоматизировать процесс обработки результатов измерений.

Основные параметры и функции лазерных рулеток DJSTO classic, DJSTO nemo и DJSTO pro (рис. 43) приведены в таблице.



Рис. 43. DJSTO classic, DJSTO nemo и DJSTO pro

## Характеристики лазерных рулеток

Параметры	Тип рулетки		
	classic	neo	pro
Стандарт Точность измерений максимум	$\pm 3\text{мм}$  $\pm 5\text{мм}$	$\pm 3\text{мм}$  $\pm 5\text{мм}$	$\pm 1,5\text{м}$  $\pm 2\text{мм}$
Наименьший разряд дисплея	1мм		
Дальность измерений	От 0,3 м – более 100*		
Время <b>dict</b> Длительность <b>trk</b>	От 0,5 до 4 с  От 1,6 до 1 с		
Видимый лазер	Лазер класса 2 в соответствии с IEC825 – 1 и EN60825 – 1 (635 nm)		
Диаметр лазерного пятна на расстоянии	6/30/60 (мм) 10/50/100 (м)		
Измерение на улице при ярком освещении (доп.)	Да	Да	Да
Подключение к ПК	Нет	Да	Да
Встроенная память	Нет	Да	Да
Использование пост. для измерений	Да	Да	Да
Тригонометрические функции для измерений	Да	Нет	Да
trk Непрерывные измерения (трекинг)	Да	Да	Да
Высота (ширина) из двух измерений (по Пифагору)	Да	Нет	Да
Автоматическое выключение	Да	Да	Да
Просмотр последних измерений	20	10	10
Питание	4 батарейки AAA (1,5В)	4 батарейки типа AA (1,5В)	
Габариты	172x66x42мм	223x78x51 мм	
Вес	360 г	970 г	
Рабочий диапазон температур (°C)	От -10 до + 50		

## 4. Подготовка приборов к работе

### 4.1 Поверка и юстировка теодолитов

До проведения измерений теодолит необходимо внимательно осмотреть и проверить, поскольку даже серийно выпускаемые приборы имеют свои индивидуальные особенности. В начале осуществляют проверку и регулировку его механических действий. Обращают внимание на состояние и работу всех винтов теодолита: подъемных, зажимных и наводящих винтов лимба и алидады, наводящего винта уровня вертикального круга, юстировочных винтов уровней, колонок, сетки нитей и т. п. Вращение лимба и алидады должно быть плавным, без колебаний и заеданий.

Угломерные круги (вертикальный и горизонтальный) должны быть без механических повреждений, а изображения делений шкал и сетки нитей – четкими.

Зрительная труба должна быть уравновешенной и свободно вращаться. Наличие пыли и грязи на оптических деталях теодолита не допускается. После завершения внешнего осмотра прибора выполняют его поверку и юстировку.

Действия, выполняемые при *поверках*, направлены на установление соблюдения *геометрических условий*, предъявляемых к конструкции прибора. Устранение выявленных нарушений и регулировку прибора выполняют при его *юстировке*.

Исходя из принципа измерения горизонтального угла, конструкция теодолита должна удовлетворять следующим геометрическим условиям (рис. 25).

1. Ось цилиндрического уровня  $U_1U_1$ , закрепленного на алидаде горизонтального круга, должна быть перпендикулярна к вертикальной оси вращения теодолита  $ZZ$ .

2. Визирная ось зрительной трубы  $VV$  должна быть перпендикулярна к горизонтальной оси теодолита (оси вращения трубы)  $HH$ .

3. Ось вращения зрительной трубы  $HH$  должна быть перпендикулярна к основной оси вращения теодолита  $ZZ$ .

Основные поверки и юстировки технических теодолитов следующие.

1. *Поверка цилиндрического уровня.* Ось цилиндрического уровня алидады горизонтального круга должна быть перпендикулярна к оси вращения теодолита. При выполнении этого условия с помощью уровня ось вращения теодолита устанавливается в отвесное положение и соответственно плоскость лимба – в горизонтальное положение.

Допустим, что ось уровня составляет угол  $\beta$  с осью вращения теодолита  $ZZ$  (рис. 44, а). Тогда при приведенном на середину ампулы пузырька уровня, ось вращения прибора не будет отвесной. При повороте алидады горизонтального круга с уровнем вокруг оси  $ZZ$  пузырек сойдет с середины на  $n$  делений, и ось уровня будет иметь новое положение  $U_1U_1$ . В новом положении ось уровня составит со своим горизонтальным положением  $UU$  угол  $\delta = \mu n$ , где  $\mu$  – цена деления уровня. Если привести ось уровня в положение биссектрисы  $U'_1U'_1$  угла  $\delta$ , то она окажется перпендикулярной к оси  $ZZ$ , поскольку  $2\beta + \delta = 180^\circ$ , то  $\beta + \delta/2 = 90^\circ$ .

Вышеизложенное определяет способ поверки данного условия. Ось уровня ориентируют по направлению двух подъемных винтов и вращением их в разные стороны приводят пузырек уровня в нуль-пункт. Вращая алидаду вокруг оси  $ZZ$ , поворачивают уровень на  $180^\circ$ . В случае, когда после поворота пузырек уровня остается в нуль – пункте, то условие перпендикулярности осей  $UU$  и  $ZZ$  соблюдается. Если пузырек сместится, то выполняют исправление положения уровня следующим образом.

Пузырек уровня перемещают по направлению к нуль - пункту на половину дуги отклонения с помощью исправительных винтов при уровне. После юстировки уровня повторяют поверку и убеждаются в соблюдении требуемого условия.

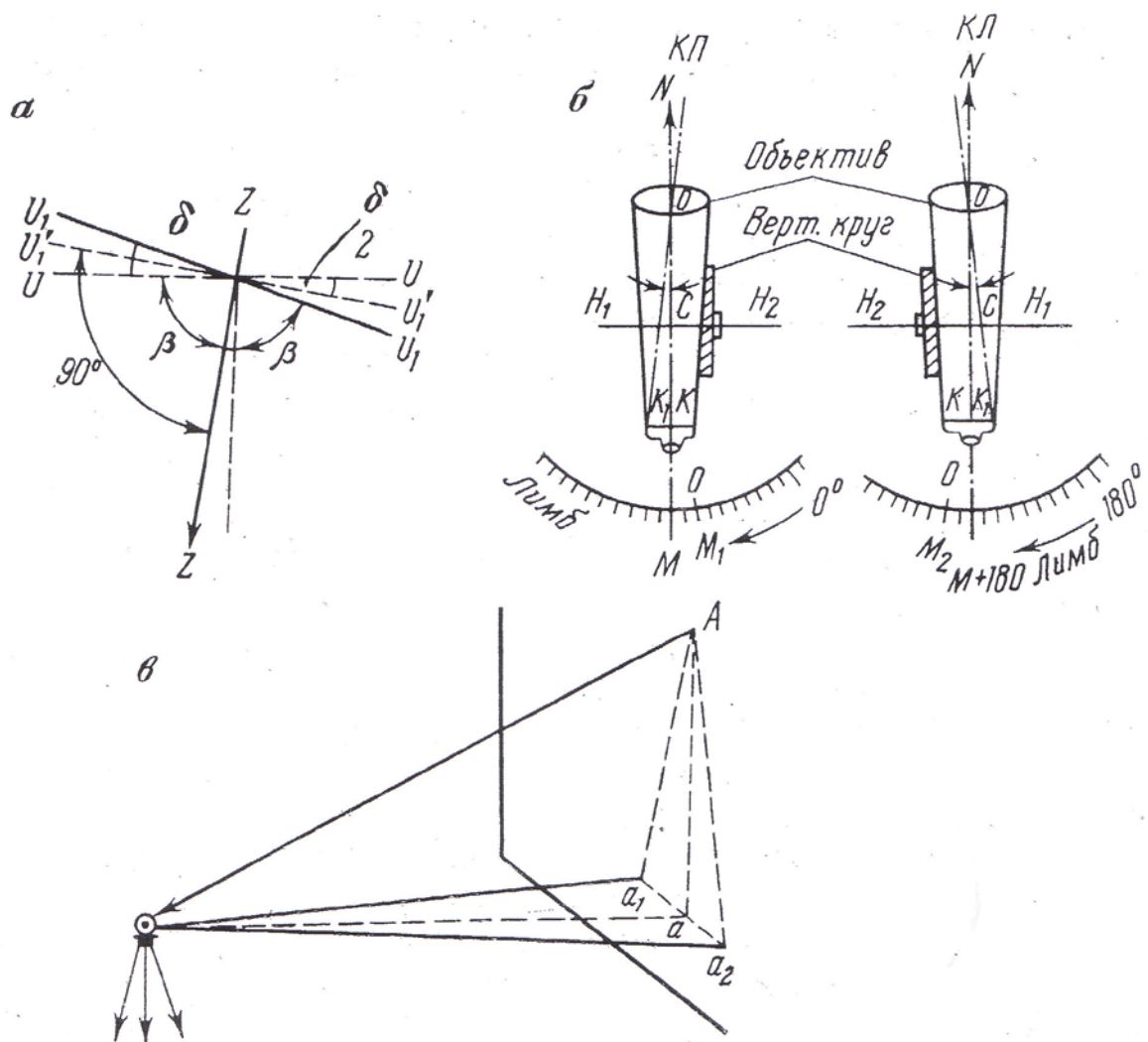


Рис. 44. Схемы поверок теодолита

Если после поворота на  $180^0$  пузырек уровня отклоняется от нуля – пункта в пределах одного деления шкалы ампулы, то условие считается выполненным.

Перед производством следующих поверок производят горизонтирование теодолита, т. е. ось его вращения тщательно приводится в отвесное положение по исправленному цилиндрическому уровню. Для этого уровень устанавливают по направлению двух подъемных винтов и, вращая их в разные стороны, устанавливают пузырек уровня в нуль – пункт. Далее поворачивают алидаду примерно на  $90^0$  и третьим подъемным винтом выводят пузырек на середину

ампулы. Действия повторяют, пока пузырек не будет оставаться на середине ампулы при любом положении алидады.

2. *Проверка положения коллимационной плоскости.* Визирная ось зрительной трубы должна быть перпендикулярна к горизонтальной оси прибора.

Известно, что визирная ось трубы проходит через оптический центр объектива и перекрестие сетки нитей. При выполнении этого условия при вращении трубы вокруг горизонтальной оси визирная ось образует коллимационную плоскость. В случае несоблюдения условия визирная ось описывает не плоскость, а две конические поверхности. Угол  $\epsilon$  между фактическим положением визирной оси  $ОК_1$  и требуемым положением  $ОК$  (рис. 44, б) является *коллимационной погрешностью*.

Проверка этого уровня выполняется следующим образом. На местности выбирают ясно выделенный удаленный предмет  $N$ . Визируя на него при двух положениях вертикального круга (КП и КЛ), берут отсчеты по лимбу  $M_1$  и  $M_2$ . Из рис. 44, б видно, что при КП отсчет  $M_1$  будет меньше правильного отсчета по лимбу  $M$  на величину  $x$ , при КЛ отсчет  $M_2$  будет больше правильного отсчета  $M + 180^\circ$  на такую же величину  $x$ , т. е.

$$\text{при КП } M = M_1 + x; \quad (44)$$

$$\text{при КЛ } M + 180^\circ = M_2 - x. \quad (45)$$

При решении уравнений (44) и (45) относительно  $x$  и  $M$ , имеем

$$x = \frac{M_2 - (M_1 + 180^\circ)}{2}; \quad (46)$$

$$M = \frac{M_1 + M_2 - 180^\circ}{2}. \quad (47)$$

Так как величина  $x$  является проекцией угла на горизонтальную плоскость лимба и меняется в зависимости от угла наклона визирной оси, то при выполнении проверки линия визирования должна быть по возможности горизонтальной.

Из выражения (47) следует, что среднее из отсчетов по лимбу, взятых при двух положениях вертикального круга, свободно от влияния коллимационной погрешности.

Поэтому измерение горизонтальных углов производят при двух положениях трубы теодолита (КП и КЛ).

В случае превышения коллимационной погрешности над плоскостью отсчетного устройства производят исправление положения визирной оси следующим образом. По формуле (47) вычисляют правильный отсчет  $M$  и наводящим винтом алидады устанавливают его на лимбе горизонтального круга. В результате этого алидада повернется на угол  $x = c$ , а перекрестье сетки нитей отклонится от изображения наблюдаемой точки  $N$ . Ослабив вертикальные винты оправы сетки нитей, перемещают сетку боковыми юстировочными винтами до совмещения ее перекрестья с визирной целью. Затем сетку закрепляют вертикальными винтами и еще раз повторяют поверку.

*3. Поверка положения горизонтальной оси теодолита.* Горизонтальная ось теодолита должна быть перпендикулярна к оси вращения теодолита.

Выполнить эту поверку можно двумя способами.

1. На удалении 10-20 м от какого-нибудь высотного объекта, например стены здания, устанавливают теодолит и визируют на высоте расположенную точку  $A$  на стене здания (рис. 44, в). Наклоном трубы проектируют эту точку до горизонтального положения визирной оси и отмечают на стене проекцию точки  $a_1$ . Операцию повторяют при втором положении трубы, переведя ее через зенит, и отмечают точку  $a_2$ . Если точки  $a_1$  и  $a_2$  совпадают, то условие перпендикулярности горизонтальной оси и оси вращения теодолита выполнено.

2. На удалении 10-20 м от теодолита на длинной нити подвешивают отвес. Перекрестие сетки нитей зрительной трубы теодолита наводят на верхнюю точку отвеса и плавно опускают трубу до горизонтального ее положения. В процессе наблюдают, не сходит ли изображение нити отвеса с перекрестья сетки нитей.

При несоблюдении условия положение горизонтальной оси теодолита в полевых условиях не исправляется. Эта операция допускается только в специализированной мастерской, либо в заводских условиях, поскольку требует частичной разборки прибора.

В теодолитах, выпускаемых в последние годы, соблюдение этого условия гарантируется заводом изготовителем. Тем не менее поверка условия должна быть обязательно выполнена.

Следует иметь в виду, что среднее из отсчетов по лимбу, взятых при наведении на точку при двух положениях трубы (КП и КЛ), свободно от влияния угла наклона оси вращения трубы.

*4. Поверка сетки нитей.* Вертикальный штрих сетки нитей должен располагаться в коллимационной плоскости зрительной трубы. Соответственно горизонтальный штрих сетки нитей должен быть перпендикулярным к оси вращения теодолита.

Это условие должно быть выполнено для создания удобств при визировании на отвесные предметы (например, вехи). Тщательно установив ось вращения теодолита в отвесное положение, визируют на нить отвеса, который подвешен на расстоянии 5–10 м от теодолита. В том случае, если вертикальный штрих сетки не совпадает с изображением нити отвеса, то следует исправить положение сетки нитей путем ее поворота. С этой целью слегка ослабляют винты, соединяющие окулярную часть с корпусом зрительной трубы, и поворачивают окулярную часть вместе с сеткой нитей до требуемого положения, после чего винты закрепляют. Допустимое отклонение вертикального штриха от отвесной линии составляет не более  $1/3$  величины биссектора сетки нитей.

Второй основной штрих сетки после выполненной юстировки должен быть горизонтальным, поскольку взаимная перпендикулярность штрихов гарантируется заводом – изготовителем. Для того чтобы в этом убедиться, наводят горизонтальный штрих на какую-либо точку и с помощью наводящего винта поворачивают алидаду горизонтального круга. Поверяемый штрих



должен оставаться на изображении точки. Если условие не выполняется, то юстировку повторяют.

5. *Проверка места нуля.* Место нуля МО вертикального круга должно быть равно  $0^0$ , либо близким к  $0^0$ .

До начала работы для проверки данного условия несколько раз определяют МО из измерений различных углов наклона при двух положениях зрительной трубы, чтобы убедиться в его практическом постоянстве. В случае, когда среднее значение МО не превышает двойной точности отсчетного устройства ( $МО \leq 2 t$ ), то оно не осложняет вычислений. В противном случае МО следует привести к нулю, либо сделать близким к  $0^0$ .

Выполнение данной проверки зависит от конструктивных особенностей теодолита и имеет следующие особенности:

- Теодолиты ( $T_5$ ,  $T_{15}$  и др.), имеющие цилиндрический уровень при алидаде, вертикального круга. Наводящим винтом зрительной трубы устанавливают на вертикальном круге отсчет, равный вычисленному значению МО; при этом пузырек уровня при алидаде вертикального круга должен находиться в нуль – пункте. В результате этого визирования ось трубы будет приведена в горизонтальное положение.

Затем наводящим винтом алидады совмещают нулевые штрихи отсчетного устройства и вертикального круга; при этом пузырек уровня отклонится от нуль - пункта. Далее с помощью исправительного винта уровня вновь приводят пузырек уровня в нуль – пункт. После этого для контроля снова определяют МО из измерений вертикального угла при КП и КЛ и в случае необходимости юстировку повторяют.

- Теодолиты ( $T_{30}$ ,  $2T_{30}$ ), имеющие уровень при горизонтальном круге. По отсчетам КЛ и КП, которые получены при визировании на один и тот же предмет, по формуле (48) или (50) вычисляют свободное от места нуля значение угла наклона  $v$ :

$$МО = \frac{КЛ + КП + 180^0}{2}; \quad (48)$$

$$v = \frac{KL - (KP + 180^0)}{2}; \quad (49)$$

$$MO = \frac{KL + KP}{2}; \quad (50)$$

$$v = \frac{KL - KP}{2}. \quad (51)$$

и наводящим винтом трубы устанавливают его на вертикальном круге. В результате этого горизонтальный штрих сетки сместится с визирной цели. Затем, с помощью вертикальных юстировочных винтов сетки нитей совмещают средний горизонтальный штрих сетки с изображением визирной цели. Далее повторяют эту поверку и поверку коллимационной плоскости.

- Теодолиты (Т5К, 2Т5К, Т30М и др.) имеют компенсатор вертикального круга. В таких приборах равенство  $MO=0^0$  обеспечивается автоматически с помощью специального оптического компенсатора вертикального круга, работающего в диапазоне  $\pm 3,0 - 5,0'$ . В случае больших значений  $MO$  эта поверка должна выполняться при установке компенсатора в среднее положение. Уменьшение величины  $MO$  вертикального круга теодолитов Т5К и Т30М достигается перемещением основного горизонтального штриха сетки вертикальными юстировочными винтами. Место нуля в теодолитах 2Т5К и Т15К исправляют при вращении специального юстировочного винта компенсатора.

## 4.2 Поверка и юстировка нивелиров

Перед проведением натуральных инструментальных наблюдений необходимо внимательно осмотреть рейки и нивелир и произвести их исследования и поверки. В первую очередь при осмотре нивелира обращают внимание на исправность всех его частей, плавность вращения подъемных, закрепительных и наводящих винтов, отсутствие механических повреждений, коррозии и иных дефектов.

Оценивают контрастность и четкость одновременного изображения штрихов сетки и концов пузырька цилиндрического уровня, качество изображения при визировании на рейку при различных расстояниях от прибора.

Основные геометрические условия, которые предъявляются к конструкции конкретного нивелира, должны быть соблюдены, что устанавливается поверками прибора.

Поверки нивелира выполняются в следующей последовательности:

*1. Поверка круглого уровня.* Ось круглого уровня, которая проходит перпендикулярно к касательной плоскости в центре ампулы, должна быть параллельна оси вращения нивелира. Тремя подъемными винтами приводят пузырек круглого уровня в нуль-пункт, затем поворачивают верхнюю часть нивелира на  $180^{\circ}$ . Если при поверке пузырек уровня остался в нуль - пункте, то условие выполнено. Если пузырек сойдет с нуль - пункта, то при помощи исправительных винтов перемещают его по направлению к нуль - пункту на половину дуги его отклонения. Затем подъемными винтами вновь выводят пузырек уровня в нуль - пункт и повторяют те же действия до выполнения условия. Можно также правильно установить круглый уровень исправительными винтами, предварительно приведя нивелир в строго горизонтальное положение посредством цилиндрического уровня.

*2. Поверка сетки нитей.* Горизонтальный штрих сетки нитей должен быть перпендикулярен, а вертикальный штрих – параллелен оси вращения нивелира.

Перпендикулярность горизонтального и вертикального штрихов сетки нитей гарантируется при изготовлении нивелира заводом. В этой связи поверку удобнее выполнять по вертикальному штриху с помощью отвеса, который подвешивают на расстоянии 20 - 25 м от прибора. Ось вращения нивелира приводят в отвесное положение по круглому уровню. Зрительной трубой визируют на отвес и совмещают один из концов вертикального штриха-сетки с нитью отвеса. Если противоположный конец вертикального штриха отходит от

нити отвеса более чем на 0,5 мм, то выполняют исправление положения сетки нитей.

У нивелира Н-3 сетка нитей становится доступной только после отделения окулярной части от корпуса зрительной трубы. Слегка ослабив винты пластинки, которая несет сетку нитей, немного поворачивают ее в нужную сторону за счет люфта в отверстиях винтов. После этого зажимают винты и повторяют поверку.

У нивелира с компенсатором Н-3К исправление положения сетки нитей осуществляют поворотом диафрагмы сетки совместно с корпусом окулярного колена, заранее ослабив винты крепления.

3. *Поверка главного геометрического условия.* Основным условием нивелиров с цилиндрическими уровнями (Н-3, Н-10) является параллельность линии визирования (визирная ось зрительной трубы) и оси уровня.

Поверка нивелиров с цилиндрическим уровнем производится двойным нивелированием «вперед» одной и той же линии длиной 40 - 60 м с разных ее концов. На местности на указанном выше расстоянии друг от друга забивают в землю два колышка А и В (рис. 45). Нивелир располагают над точкой А (рис. 45, а), устанавливают его по круглому уровню и измеряют высоту прибора  $i_1$  рулеткой с точностью до 1 мм. В точке В отвесно устанавливают рейку, с помощью элевационного винта приводят пузырек цилиндрического уровня в нуль – пункт и берут отсчет  $v_1$  по рейке, который равен сумме истинного отсчета  $v_1'$  и погрешности  $x$ .

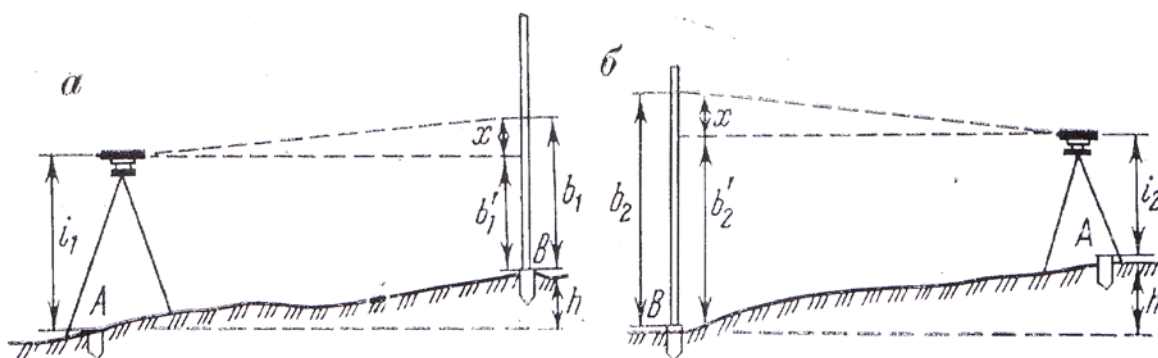


Рис. 45. Схема поверки главного геометрического условия

Тогда превышение точки В над точкой А будет:

$$h = i_1 - v_1' = i_1 - (v_1 - x), \quad (52)$$

Затем аналогичные действия производят, когда нивелир установлен над точкой В, а рейка над точкой А. Получают значения  $i_2$  и  $v_2$ . Отсчет  $v_2$  будет ошибочен на ту же величину  $x$ , тогда

$$h = v_1' - i_2 = v_2 - x - i_2. \quad (53)$$

Решая уравнения (52) и (53) относительно  $x$ , получают:

$$x = \frac{v_1 + v_2}{2} - \frac{i_1 + i_2}{2}. \quad (54)$$

Исправления производят, если  $x$  больше  $\pm 4$  мм (для нивелира Н-3 при данном расстоянии). Действуя элевационным винтом, наводят средний штрих сетки нитей на правильный отсчет  $v_1' = v_2 - x$ . При этом пузырек цилиндрического уровня отклонится от нуля – пункта. Далее с помощью вертикальных юстировочных винтов цилиндрического уровня совмещают изображения концов пузырька уровня, заранее ослабив боковые винты.

Поверку повторяют до получения допустимой погрешности ( $x \leq 4$  мм).

У нивелиров с компенсаторами линия визирования должна быть горизонтальна в пределах рабочих углов компенсатора ( $\pm 15'$ ).

Перед проведением этой поверки необходимо исследовать правильность работы компенсатора. Для этого нивелир по круглому уровню посредством подъемных винтов приводят в рабочее положение. На кол, забитый на расстоянии 70 – 80 м по направлению одного из подъемных винтов, устанавливают рейку. Вращением подъемного винта вначале в одном, а затем в противоположном направлении наклоняют трубу и берут отсчеты по рейке. Все отсчеты должны быть одинаковыми. Если отсчеты меняются, то исправление работы компенсатора может быть выполнено опытным механиком в мастерской.

После этого поверку условия 3 выполняют в следующей последовательности. На расстоянии 100 м устанавливают две рейки и несколько раз определяют превышение между ними нивелированием из

средины. Определяют среднее значение превышения. Устанавливают нивелир в 10 м от одной из реек и вновь определяют превышение. Если оно будет отличаться от превышения, полученного при нивелировании из середины, не более чем на 1 – 2 мм, можно считать, что линия визирования с достаточной точностью занимает горизонтальное положение.

Если это условие не выполняется, то необходимо перемещением сетки нитей исправить отсчет по рейке, установленной на далеком расстоянии, таким образом, чтобы получилось такое же превышение, какое было получено при нивелировании из середины.

Перед эксплуатацией нивелирных реек их исследуют, начиная с визуального осмотра и опробования.

Шкалы и подписи делений должны соответствовать типу рейки. Проверяется наполненность лакокрасочным покрытием шашек и штрихов, их четкость и прямолинейность. На рабочей поверхности шкал рейки не должно быть пятен, царапин, трещин, наплывов и отслоений, затрудняющих взятие отсчетов.

Выполняется проверка надежности и правильности закрепления ручек, металлической пятки рейки, кронштейна с уровнем, действие фиксатора складной рейки, замков и защелок, удерживающих рейку в сложенном состоянии.

Проверка реек включает определение правильности совмещения нулевого отсчета шкалы реек с пяткой рейки. Производят измерение расстояния от опорной поверхности пятки до ближайших трех – четырех границ делений с помощью контрольной линейки с ценой деления 0,2 мм (для реек типа РН-3 и РН-10). Для контроля измерение выполняют несколько раз со сдвигом линейки.

Определяют также длину наименьших интервалов реек. На каждом метре рейки с помощью контрольной линейки измеряют длину не менее пяти произвольно выбираемых шашечных интервалов.

Кроме того, измеряют длину метровых интервалов шкал реек.

Для реек РН-3 и РН-10 измерения производят в прямом и обратном направлении по дециметровым штрихам шкалы контрольной линейки. По

результатам измерений вычисляют среднее значение длины метровых интервалов. При измерении учитываются фактические длины и температура самой контрольной линейки (с точностью до  $0,1^{\circ}\text{C}$ ). В результате выводят среднюю длину метра для пары реек. Разность длин учитывается в виде поправочного коэффициента. При наличии у рейки уровня выполняют поверку его положения.

### 4.3 Компарирование мерных лент и рулеток

Перед измерением линий лентой или рулеткой должна быть определена фактическая длина применяемого мерного прибора. Для этого рабочий мерный прибор (*рабочую меру*) сравнивают с известной длиной нормальной (образцовой) меры, имеющей установленную точность. Нормальные меры служат только для сравнения с ними рабочих мер (приборов). Их бережно хранят в условиях, при которых их длина не изменяется. Длина нормальной меры дается в паспорте в виде так называемого «*уравнения ленты*», определяющего его длину при данной температуре.

Процесс сравнения длины рабочего мерного прибора с нормальной мерой называется *компарированием*. В общем случае процесс компарирования является измерением одной и той же длины нормальной и рабочей линейными мерами. Компарирование производится на лабораторных (стационарных) и полевых компараторах, либо упрощенным способом.

Компарирование мерных приборов на стационарном компараторе производится следующим образом. Сначала с высокой точностью определяют длину стационарного компаратора с помощью образцовых инварных жезлов. Затем путем сравнения длины компаратора с длиной поверяемого мерного прибора устанавливают фактическую длину последнего. Наиболее совершенным из стационарных компараторов является компаратор МНИГА и К, на котором осуществляется эталонирование инварных проволок базисных приборов с точностью до  $1:2500000$ .

На полевых компараторах можно выполнять компарирование мерных лент и рулеток, предназначенных для точных измерений. Такой компаратор устраивают на ровной и открытой местности с устойчивым грунтом в виде линий длиной 120 и 240 м, т. е. кратной длинам рабочих приборов. Концы компаратора закрепляют бетонными монолитами, на верхней поверхности которых имеются специальные марки. Всю длину компаратора измеряют несколько раз образцовыми инварными проволоками. Затем эту же длину измеряют несколько раз рабочим прибором и вычисляют поправку за компарирование прибора.

Упрощенный способ компарирования стальных лент и рулеток проводится следующим образом.

На ровной поверхности (бетонный пол, асфальт) укладывают рядом образцовую и рабочую меры, имеющие одинаковую номинальную длину, и совмещают их нулевые деления. Затем мерные приборы натягивают с одинаковым усилием (98 Н) и контрольной линейкой измеряют разность  $\Delta l_k$  между фактической длиной  $l$  мерного прибора и длиной  $l_0$  образцового (контрольного) прибора, т. е.

$$\Delta l_k = l - l_0,$$

где  $\Delta l_k$  – поправка за компарирование.

В этом случае фактическая длина рабочей ленты или рулетки  $l$  будет

$$l = l_0 + \Delta l_k . \quad (54)$$

где  $l_0$  – номинальная длина рабочей ленты или рулетки.

Поправка за компарирование  $\Delta l_k$  считается положительной, если длина рабочей ленты больше номинальной и отрицательной, если меньше номинальной.

В тех случаях, когда при линейных измерениях необходимо учитывать температурные поправки, то следует измерить температуру  $t^0$ , при которой производилось компарирование. По завершению компарирования каждый мерный прибор снабжается свидетельством (аттестатом), в котором указывается способ и дата компарирования, длина прибора, натяжение и температура компарирования.



## ПРИЛОЖЕНИЕ

### Формы журналов натуральных наблюдений за сдвижением земной поверхности и ведомостей обработки результатов

Особенности заполнения форм 1 и 1а:

- порядок взятия отсчетов по рейкам указан в скобках (1), (2) ..... (11);

ч – черная сторона, к – красная, д – дальномер;

- эти формы удобны для внутреннего контроля (сумма превышений между соседними реперами в пределах одной установки инструмента должна быть равна превышению между связующими реперами), а также для использования превышений при вычислении поправок за наклон в длины;

- при взятии отчетов по трем нитям контроль осуществляют по разности отсчетов между средней и верхней нитями и между нижней и средней. Эти разности не должны отличаться друг от друга более чем на 2 мм; превышение  $\Delta h_d$  определяют как разность полусумм отсчетов по верхней и нижней нитям задней и передней реек, например:

$$\frac{(1)+(3)}{2} - \frac{(9)+(11)}{2} = \frac{1701+1969}{2} - \frac{1830+1940}{2} = - 50 \text{ д};$$

- превышения между реперами для вычисления абсолютных отметок определяют как среднее из превышений по средним нитям черных и красных сторон реек. Перед вычислением абсолютных отметок производят уравнивание нивелирных ходов по превышениям между связующими реперами.

Особенности заполнения ведомостей ВД и СД – 7:

- значения  $\Delta \eta$  в ведомости вертикальных деформаций (ВД) определяют как разность оседания концов интервала (передний минус задний):  $\Delta \eta = \eta_n - \eta_{n-1}$ ;

- значения наклонов, кривизны и горизонтальных деформаций в ведомостях ВД и СД-7 удобно записывать увеличенными в 1000 раз, поэтому в заголовках соответствующих граф значится:  $i \cdot 10^3$ ,  $\Delta i \cdot 10^3$ ,  $K \cdot 10^3$ ,  $\varepsilon \cdot 10^3$ .

## Журнал нивелирования (отсчеты по средней нити)

Месяц август, 31 число 2011 г.

Месяц сентябрь, 3 число 2011 г.

Наблюдал В.Н. Иванов

Вычислял И.В.Сидоров

Номер станции, линий	Номер репера	Отсчеты по рейке			Превышения между реперами				Средние превышения между реперами				Условная отметка, м	Абсолютная отметка, м	Примечание
		задний	промежуточный	передний	связующими соседними				связующими соседними						
					+	-	+	-	+	-	+	-			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
62 I - A	1	(1) 1560ч												42.460	1
	5	(4) 6247к		(2)1430ч (3)6119к	130 128				129					42.589	5
	2		(5) 1544к				16				15			42.475	2
	3		(6) 6233к				14						45	42.430	3
	4		(7) 1590ч					46							
			(8) 6277к					44							
			(9) 1585ч				5				4			42.434	4
	[5]		(10) 6274к				3								
				(11) 1431ч	[154]									(42.588)	(5 контр.)

Журнал нивелирования (отсчеты по средней нити)

Месяц август, 2 число 2011 г.

Месяц сентябрь, 8 число 2011 г.

Наблюдал И.В. Сидоров

Вычислял В.Н. Иванов

Номер станции, линий	Номер репера	Отсчеты по рейке			Превышения между реперами				Средние превышения между реперами				Условная отметка, м	Абсолютная отметка, м	Примечание
		задний	промежуточный	передний	связующими соседними				связующими соседними						
					+	-	+	-	+	-	+	-			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
№ 3 I – А	1	(1) 1701ч												43.210	IV
	23	(2) 1834к (3) 1969ч (8) 6519к		(4) 1876ч (5) 2008ч (6) 2142ч (7)		174д  174сп				174.5				43.036	23

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	21		(9) 1830ч	6694к		175к		50д							
			(10) 1884ч					50сп							
			(11) 1940ч									50		43.160	21
			(12) 6569к					50к							
	22		(13) 2125ч			325д		325д							
			(14) 2210ч			326сп		326сп							
			(15) 2295ч									325.5		42.835	22
	(23)		(16) 6894к	(17) 2009к	(201)	325к		325к							
														43.036	(23 контр.)

Журнал измерения длин

Наблюдательная станция № 2

Профильная линия I – а

Месяц август, 22 число 2011 г.

Наблюдали И.С. Петров, О.К Сидоров

Рулетка № 352689

Интервал	Температура, градус	Задний отсчет	Передний отсчет	Измеряемая длина, м	Средняя длина, м	Эскиз
1	2	3	4	5	6	7
Прямой ход						
1-2	18	23	19.378	19.355	19.354	
		32	385	353		
		37	391	354		
2-3	18	21	19.892	19.861	19.862	
		29	891	862		
		35	898	863		
3-4	19	23	19.886	19.863	19.863.3	
		54	917	863		
		76	940	864		
	...	...	...	...	...	
Обратный ход						
2-1	20	12	19.364	19.352	19.353	
		23	376	353		
		35	389	354		

## Журнал нивелирования

Но- мер стан- ций, ли- ний	Дата наблю- дения	Интер- вал	Изме- рен- ная длина, м	Пре- вы- шения, м	Раз- ность темпе- ратур t-t <sub>к</sub> , градус	Раз- ность орди- нат	Поправки, мм					Сум- ма поп- равок	Приве- денная длина интер- вала, м	Рассто- яние от началь- ного ре- пера, м	Номер репера	При- ме- ча- ние
							за нак- лон	за про- вес	за тем- пера- туру	за откло- нение от створа	за ком- пори- рова- ние					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
№ 2 1-6	20.05.11	I-II	49.988	2.010	-10	-	-40.4	-	-5.7	-	+10.2	-35.9	49.952	49.952	I	
		I-III	49.982	0.785	-10	-	-6.2	-	-5.7	-	+10.2	-1.6	49.980	99.932	III	
		III-60	9.962	1.042	-10	-	-54.8	-	-1.1	-	+2.1	-53.8	9.908	109.840	60	
		60-61	10.087	0.085	-10	-	-0.3	-	-1.1	-	+2.2	+0.8	10.088	119.928	61	
		61-62	9.975	0.170	-10	-	-1.4	-	-1.1	-	+2.1	-0.4	9.975	129.903	62	
		62-63	10.188	0.720	-10	-	-25.5	-	-1.1	-	+2.2	-24.4	10.164	140.067	63	
		63-64	10.123	0.510	-10	-	-12.9	-	-1.1	-	+2.2	-11.8	10.111	150.178	64	

Ведомость оседаний  
Наблюдательная станция № 3

Номер профильной линии	Номер репера	1-е наблю- дение, м 4.05.11	2-е наблю- дение, м 2.07.11	1-2 мм	3-е наблю- дение, м 3.08.11	2-3 мм	1-3 мм	Последнее минус первое
1-В	1	40.832	40.832	0	40.832	0	0	
	2	40.820	40.818	2	40.815	3	5	
	3	40.780	40.755	5	40.768	7	12	
	4	40.765	40.588	10	40.743	12	22	
	5	40.633	40.422	45	40.530	58	103	
	6	40.572	40.405	150	40.252	170	320	
	7	40.490	40.323	85	40.304	101	186	
	8	40.350	40.295	27	40.281	42	69	
	9	40.298	40.261	3	40.290	5	8	
	10	40.262		1	40.262	-1	0	

Ведомость вертикальных деформаций

Наблюдательная станция № 3

Номер профильной линии	Номер репера	Длина интервала, м	1-2 наблюдения					1-3 наблюдения					Приме- чание	
			$\Delta_{\eta}$ , мм	$i \cdot 10^3$	$\Delta_i \cdot 10^3$	$K \cdot 10^3$ , 1/м	R, мм	$\Delta_{\eta}$ , мм	$i \cdot 10^3$	$\Delta_i \cdot 10^3$	$K \cdot 10^3$ , 1/м	R, мм		
1-В	1													
	2	19.9	+ 2	+ 0.10				+ 5	+ 0.25					
	3	19.8	+ 3	+ 0.15	+ 0.05	+ 0.00	+ 12.5	+ 7	+ 0.35	+ 0.10	+ 0.00	+100.0		
		19.9	+ 5	+ 0.25	+ 0.10	+ 0.00		+ 10	+ 0.50	+ 0.15	+ 0.01			
	4				+ 1.53	+ 0.08		+ 3.61	+ 0.20	+ 5.0				
	19.7	+ 35				+ 81		+ 4.11						
	5				+ 3.50	+ 0.18		+ 5.6	+ 6.78	+ 0.34	+ 3.0			
	19.9	+ 105	+ 5.28			+ 217		+10.8 9	+ 6.78	+ 0.34	+ 3.0			
	6				- 8.56	- 0.42		- 2.4	+ 217	+10.8 9	- 17.67	- 0.89		+ 1.1
	19.8	- 65	- 3.28					- 134	- 6.78					
7				+ 0.31	+ 0.02	+ 50.0		- 134	- 6.78	+ 0.77	+ 0.04	+ 25.0		
19.5	- 58	- 2.97				- 117		- 6.01						
8				+ 1.76	+ 0.09	+ 11.1	- 117	- 6.01	+ 2.93	+ 0.15	+ 6.7			
19.8	- 24	- 1.21				- 61	- 3.08							
9				+ 1.11	+ 0.06	+ 16.7	- 61	- 3.08	+ 2.68	+ 0.13	+ 7.7			
19.9	- 2	- 0.10				- 8	- 0.40							
10														



Ведомость горизонтальных деформаций

Наблюдательная станция № 2

Номер профильной линии	Интервал	1-е наблюдение, м 6.05.11	2-е наблюдение, м 10.08.11	2-1 мм	Деформация $\varepsilon \cdot 10^3$	3-е наблюдение, м 20.09.11	3-1 мм	Деформация $\varepsilon \cdot 10^3$
1-б	I-II	49.952	49.951	- 1	0	49.952	0	0
	II-III	49.980	49.981	+ 1	0	49.980	0	0
	III-60	9.907	9.907	0	0	9.908	+ 1	+ 0.1
	60-61	10.082	10.084	+ 2	+ 0.2	10.088	+ 6	+ 0.6
	61-62	9.966	9.969	+ 3	+ 0.3	9.975	+ 9	+ 0.9
	62-63	10.154	10.158	+ 4	+ 0.4	10.164	+ 10	+ 1.0
	63-64	10.100	10.106	+ 6	+ 0.6	10.111	+ 11	+ 1.1
	64-65	10.003	10.023	+ 20	+ 20	10.034	+ 31	+ 3.1
	65-66	10.001	10.031	+ 30	+ 30	10.050	+ 49	+ 4.9

Ведомость горизонтальных сдвижений

Наблюдательная станция № 2

Номер профильной линии	Номер репера	1-е наблюдение, м 6.05.11	2-е наблюдение, м 10.08.11	2-1 мм	3-е наблюдение, м 20.09.11	3-2 мм	3-1 мм	Примечание
1-б	I	0	0	0	0	0	0	
	II	49.952	49.951	- 1	49.952	+1	0	
	III	99.932	99.932	0	99.932	0	0	
	60	109.839	109.839	0	109.840	+ 1	+ 1	
	61	119.921	119.923	+ 2	119.928	+ 5	+ 7	
	62	129.887	129.892	+ 5	129.903	+ 11	+ 16	
	63	140.041	140.050	+ 9	140.067	+ 17	+ 26	
	64	150.141	150.156	+ 15	150.178	+ 22	+ 37	
	65	160.144	160.179	+ 35	160.212	+ 33	+ 68	
	66	170.145	170.210	+ 65	170.232	+52	+ 117	

## ЛИТЕРАТУРА

1. Методические рекомендации по применению габионных конструкций в дорожно-мостовом строительстве. ООО «Организатор» ФГУП «Союздорпроект». - М., 2001. - 47 с.
2. Пат. № 98760 РФ, МПК Е 02В 3/06. Габионная стенка для защиты береговых склонов морского побережья / А.С. Ведяшкин, О.О. Тимохова (Россия). - № 2010123567.
3. Географический атлас Калининградской области / гл. ред. В.В. Орленок. – Калининград: КГТУ, ЦНИТ, 2002. - 276 с.
4. Болдырев, В.Л. Экология берегозащиты / В.Л. Болдырев // Проблемы физической и экономической географии Калининградского региона. – Калининград, 1995.- С. 58-64.
5. Болдырев, В.Л. Основа берегозащиты Калининградского побережья Балтики / В.Л. Болдырев, Е.К. Гречищев, О.Л. Рыбак // Baltica. – 1982. - V.7. – P. 187 – 194.
6. Рябкова, О.И. Природопользование и задачи берегозащиты на Калининградском морском побережье / О.И. Рябкова // Физическая география океана и океаническое природопользование на пороге XXI века. – Калининград, 2000. – С. 49-64.
7. Лымарев, В.И. Современные проблемы комплексного берегопользования / В.И. Лымарев // Изв. русск. геогр. общ-во. – 1995. - Т. 127. - Вып. 2. – С. 33-38.
8. Лымарев, В.И. Морские берега и человек / В.И. Лымарев. – М.: Наука, 1986. – 159 с.
9. Терминологический словарь по маркшейдерскому делу / под ред. А.Н. Омельченко.- М.: Недра, 190 с.
10. Фисенко, Г.Л. Устойчивость бортов карьеров и отвалов / Г.Л. Фисенко. – М.: Недра, 1965. – 378 с.

11. Попов, И.И. Природные и техногенные основы управления устойчивостью уступов и бортов карьеров / И.И. Попов, Ф.К. Низаметдинов, Р.П. Окатов и др. – Алматы: Гылым, 1997. - 215 с.
12. Попов, И.И. Маркшейдерские работы при рекультивации земель на горных предприятиях / И.И. Попов, А.Ф. Немкин. - М.: Недра, 1984.- 154 с.
13. Справочник по маркшейдерскому делу / под ред. проф., д.т.н. А.Н. Омельченко: - 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1979.- 576 с.
14. Инструкция по топографической съемке в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500.- М.: Недра, 1973.
15. Поклад, Г.Г. Геодезик: учебник для вузов / Г.Г. Поклад.- М.: Недра, 1988.- 304 с.
16. Инструкция по наблюдениям за сдвижением горных пород, земной поверхности и подрабатываемыми сооружениями на угольных и сланцевых месторождениях / Министерство угольной пром-ти СССР: Утв. 30.12.87. Разраб. ВНИМИ; Состав.: И.А. Петухов, Н.И. Митичкина, В.Н. Земнеев и др.- М.: Недра, 1989. – 98 с.
17. Борщ-Компониец, В.И. Основы геодезии и маркшейдерского дела: учебник для техникумов / В.И. Борщ-Компониец, Б.Д. Федоров, М.В. Колесникова.- М.: Недра, 1981.- 304 с.
18. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы: учебник для машиностроительных вузов / Т.М. Башта, С.С. Руднев, Б.Б. Некрасов и др.: – 2-е изд., перераб.- М.: Машиностроение, 1982. - 423 с.

*Учебное издание*

*Анатолий Сергеевич Ведяшкин*

*Олеся Олеговна Скаленко*

МЕТОДИКА ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ  
НА БЕРЕГОВЫХ СКЛОНАХ,  
ПОДВЕРЖЕННЫХ ВОДНОЙ И ВЕТРОВОЙ ЭРОЗИИ

*Редактор Л.И. Полищук*

Подписано в печать 26.12.2011 г. Формат 60x90 1/16. Уч.-изд. л. 5,3. Печ. л. 7,25.

Тираж 30 экз. Заказ № 9.

Издательство федерального государственного бюджетного  
образовательного учреждения  
высшего профессионального образования  
«Калининградский государственный технический университет»  
236022, Калининград, Советский проспект, 1