

МНОГОЛУЧЕВОЙ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЙ МЕТОД НАБЛЮДЕНИЯ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СМЕЩЕНИЙ ОПОЛЗНЕВЫХ ТОЧЕК

Профессор, доктор техн. наук Г. И. ТЕР-СТЕПАНЯН¹

Реферат. Вследствие особенностей рельефа и необходимости иметь большое количество станций, применение точного геометрического нивелирования для определения вертикальных смещений оползневых точек трудоемко. Простой однолучевой метод тригонометрического нивелирования недостаточно точен. Лучшие результаты получаются при многолучевом тригонометрическом нивелировании. Полевые работы выполняются одновременно с измерением горизонтальных направлений, а камеральная обработка несложна при применении графического метода уравнивания.

Пространственная задача дифференциального метода. Дифференциальный графический метод определения смещения точек на оползнях разработан в трудах проф. Н. Г. Келля (1948; Келль и Белоликов, 1954) и автора (Тер-Степанян, 1972). Основные элементы дифференциального метода в пространстве—плоскости и линии положения и градиенты измеряемых величин.

Плоскостью положения измеряемой величины называется геометрическое место точек, обладающих тем свойством, что, где бы на ней не находилась определяемая точка, значение измеряемой величины при этом не изменяется. Такими измеряемыми величинами могут быть *превышение*, получаемое при геометрическом нивелировании с помощью нивелира, и *вертикальное направление*, получаемое при тригонометрическом нивелировании с помощью теодолита. На плоскости положения интерес представляет *линия положения*, образованная пересечением плоскости положения с вертикальной плоскостью, проходящей через опорную и оползневую точки. В той же вертикальной плоскости находится и вертикаль, проходящая через определяемую точку. Так как линия положения и вертикаль находятся в одной плоскости, то они пересекаются и образуют засечки, которые надлежит изучить. Рассмотрим элементы дифференциального метода для плоскостей положения, соответствующих превышениям и вертикальным направлениям.

Плоскость и линия положения превышения

Пусть на опорной точке A установлен нивелир и измерена величина превышения горизонтальной плоскости H относительно определяемой точки C (рис. 1, а). Той же величиной превышения обладает ряд других точек, геометрическим местом которых является горизонтальная плоскость положения, проходящая через C и параллельная плоскости H .

¹ Зав. Лабораторией геомеханики Академии наук Армянской ССР.

Линия положения превышения представляет собой горизонтальную прямую, образованную на пересечении плоскости положения с вертикальной плоскостью. При перемещении определяемой точки вдоль этого отрезка прямой измеряемое превышение не претерпевает изменения. При небольшом вертикальном смещении b_n определяемой точки из C в C' линия положения L_n превышения перемещается параллельно самой себе на величину этого превышения и переходит в L'_n . Линия перемещения D_n представляет собой нормаль к линии положения, направленную вниз.

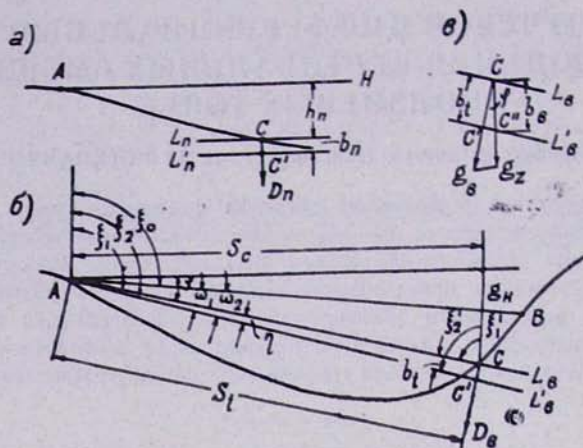


Рис. 1. Элементы дифференциального метода в пространстве: а) линии положения превышения; б) линии положения вертикальных направлений; в) градиент линии положения вертикального направления и определение вертикального перемещения.

նկ. 1. Գիթերենցիալ մերոդի տարրերը տարածության մեջ՝
 а) դիրքի գծերը երկաշափական մակադղակաշափման համար: б) դիրքի գծերը եռանկյունաշափական մակադղակաշափման համար: в) ուղղանիզ ուղղության դիրքի գծի գրգռիկները և ուղղանիզ տեղաշարժի որոշումը:

Fig. 1. Elements of differential method in space: а) position lines for direct levelling; б) position lines for traverse levelling; в) gradient of position lines for traverse levelling and determination of the vertical displacement.

Градиент превышения g_n равен единице и направлен вдоль линии перемещения. Вес p_n линии положения превышения равен

$$p_n = \frac{1}{m_n^2} \quad (1)$$

где m_n — средняя квадратичная погрешность измерения превышения, определяемая типом нивелира и методом производства работ.

Плоскость и линия положения вертикального направления

В обычных геодезических работах вертикальные углы измеряются по отношению к направлению на зенит и поэтому называются зенитны-

ми расстояниями; приращение вертикального угла представляет собой величину изменения угла в вертикальной плоскости, проходящего через опорную и оползневую точку. В более точных работах, как наблюдение за движением оползней, для уменьшения влияния рефракции целесообразно пользоваться не зенитным расстоянием, а вертикальными направлениями. Вертикальным направлением называется угол между двумя коаксиальными коническими поверхностями, одна из которых проходит через опорную точку и маячную точку, служащую для вертикальных наблюдений, а вторая—через опорную и оползневую точки.

Пусть на опорной точке A измерено вертикальное направление ω луча на оползневую точку C , т. е. вертикальный угол, образованный лучом AC с лучом на какую-либо неподвижную (маячную) точку B (рис. 1,б). Той же величиной наклона обладает также ряд других точек, геометрическим местом которых является коническая поверхность положения, имеющая вертикальную ось и проходящая через определяемую точку C . При изменении наклона трубы образуются другие коаксиальные конические поверхности. Плоскостью положения является касательная плоскость к этой конической поверхности вблизи определяемой точки.

Линия положения вертикального направления представляет собой отрезок L_v прямой, обладающей этим наклоном и проходящей через определяемую точку C . При перемещении определяемой точки вдоль этого отрезка прямой, измеряемое вертикальное направление ω не претерпевает изменения. При небольшом вертикальном смещении оползневой точки из C в C' , соответствующим изменению вертикального направления на величину малого угла η , линия положения вертикального направления L_v практически смещается параллельно самой себе на величину b_1 и переходит в L'_v .

Так как в измерительных инструментах (теодолитах) вертикальные углы увеличиваются при увеличении наклона трубы вниз, то и положительное направление линии перемещения вертикального направления соответствует движению определяемой точки вниз.

Градиент вертикального направления g_v представляет собой вектор, направление которого совпадает с линией перемещения D_v , а модуль равен $g_v = \rho/s_t$, где ρ —угловая мера радиана в принятых единицах измерения, а s_t —полное расстояние между опорной и оползневой точками. Из рис. 1,б видно, что оно составляет $s_t = s_c/\cos \varphi$, где φ —угол наклона луча AC к горизонту, а s_c —плановое расстояние между точками A и C . Отсюда $g_v = \rho \cos \varphi / s_c$. Но отношение ρ/s_c представляет собой градиент горизонтального направления g_n (Келль, 1948); поэтому

$$g_v = g_n \cos \varphi \quad (2)$$

Соответственно, если вертикальный круг теодолита имеет метрическую систему градировки ($2\pi = 400^g$), то градиент вертикального направления равен $g_v = 636,6 \cos \varphi / s_c$ ^{cc}/мм; при градусной системе градировки ($2\pi = 360^\circ$), этот градиент равен $g_v = 206,3 \cos \varphi / s_c$ ^{''}/мм. В этих выражениях расстояние s_c выражено в метрах.

Из определения градиента следует, что перемещение b_1 по нормали к плоскости положения вертикального направления равно

$$b_t = \frac{\gamma_1}{g_n} \quad (3)$$

где γ_1 — приращение вертикального направления.

Проведя через конец C' отрезка b_t линию положения L'_n , параллельно L_n (рис. 1, в), находим точку C'' пересечения ее с вертикалью V ; вертикальसे перемещение b_n сплзневоей точки составит $b_n = b_t / \cos \varphi$.

Применяя сюда (2) и (3), получим окончательно

$$b_n = \frac{\gamma_1}{g_n \cos^2 \varphi} \quad (4)$$

Связь между горизонтальным перемещением d_n линии положения и приращением горизонтального угла δ выражается аналогичной формулой (Келль и Белоликов, 1954):

$$d_n = \frac{\delta}{g_n} \quad (5)$$

Отсюда следует, что величины вертикальных перемещений b_n могут быть получены из величин приращений вертикальных направлений γ_1 теми же приемами, что и величины горизонтальных перемещений d_n из приращений горизонтальных направлений δ , если только градиент направления g_n умножить на $\cos^2 \varphi$. Поэтому для вычисления вертикальных перемещений можно воспользоваться теми же номограммами, которые применяются для вычисления горизонтальных перемещений, если только пометить на шкале градиентов g этих номограмм новые точки, получаемые путем умножения градиентов на $\cos^2 \varphi$. Такие точки на номограмме можно обозначить буквой V (вертикаль), напр. $+V5$ (Тер-Степанян, 1972, рис. 16).

Угол φ , входящий в выражении (2) и (4), равняется углу наклона луча с опорной точки на оползневую; он связан с зенитным расстоянием соотношением $\xi = 90 + \varphi$. Обозначим $g_z = g_n \cos \varphi = g_n \cos^2 \varphi$.

Из рис. 1, в виден геометрический смысл этого обозначения: g_z представляет собой вертикальную проекцию градиента наклонного луча. Отсюда следует, что вес p_n линии положения вертикального направления составляет

$$p_n = \frac{g_z^2}{m_n^2} = \frac{g_n^2 \cos^4 \varphi}{m_n^2} \quad (6)$$

а погрешность e_n определения линии положения вертикального направления равна

$$e_n = \pm \frac{m_n}{g_z} = \pm \frac{m_n}{g_n \cos^2 \varphi} \quad (7)$$

В этих выражениях m_n представляет собой среднеквадратичную погрешность измерения вертикального направления. Погрешность линий положения e_n вертикального направления является векторальной ошибкой, направленной перпендикулярно линии положения в обе стороны.

Оценка роли горизонтальных и вертикальных направлений в раздельном определении положения точки

Определение положения оползневой точки в пространстве производится на основании раздельных измерений горизонтальных и вертикальных направлений и уравнивания получаемых засечек. Роль этих видов наблюдений различна.

1. Точность измерения вертикальных направлений (зенитных расстояний) значительно ниже точности измерения горизонтальных направлений; веса вертикальных направлений примерно в 2,5 раза меньше весов горизонтальных направлений, вследствие меньшей точности измерения вертикальных углов.

2. Градиенты наклонных плоскостей положения, применяемых при измерении вертикальных направлений, больше, чем градиенты вертикальных плоскостей тех же визирных лучей применяемых при измерении горизонтальных направлений, так как в первом случае в расчет вводится полная длина визирного луча, а во втором—ее горизонтальная проекция. При среднем угле наклона поверхности оползня 20° , соотношение между указанными длинами составляет $1 : 0,9$. Веса плоскостей положений пропорциональны квадратам градиентов; поэтому соотношение весов составляет $1 : 0,8$; т. е. вес вертикального направления может быть приблизительно в 1,25 раза менее веса горизонтального направления вследствие увеличения расстояния.

В результате совместного действия этих двух факторов, вес вертикального направления примерно втрое меньше веса горизонтального направления тех же лучей.

3. Ошибка, вносимая рефракцией (отклонением визирного луча при преломлении вследствие изменения плотности воздуха при неравномерном нагревании) играет значительно большую роль при измерении вертикальных углов по сравнению с измерением горизонтальных направлений.

4. Наклонные плоскости положения вертикальных направлений образуют острые углы между собой, тогда как вертикальные плоскости положений горизонтальных направлений наряду с острыми углами образуют и углы, близкие к прямым. Веса засечек, образованных линиями положений, встречающимися под острыми углами, являются низкими; поэтому такие засечки не должны рассматриваться. Тогда остаются только засечки, образуемые наклонными линиями положений с суммарной вертикальной линией положения.

Решение задач может быть проведено раздельно: а) по результатам измерений горизонтальных направлений определяется положение точки на горизонтальной плоскости и получается суммарная вертикальная определяется вертикальное смещение оползневой точки, причем в этом последнем случае принимаются в расчет только пересечения наклонных плоскостей положения с суммарной вертикальной линией положений и отбрасываются все их взаимные пересечения. Решение задачи этим путем существенно облегчается, без ущерба для точности.

Таким образом, задача уравнивания оползневой точки в пространстве решается в следующей последовательности:

1) уравнивание оползневой точки на горизонтальной плоскости и нахождение суммарной вертикальной линии положения; это задача рассмотрена в другом месте (Гер-Степанян, 1972).

2) определение точек пересечения наклонных плоскостей положения с суммарной вертикальной линией положения (вертикальные засечки).

- 3) определение весов вертикальных засечек.
 4) уравнивание вертикальных засечек и определение окончательного положения оползневой точки.

Уменьшение влияния рефракции

Рефракция визирного луча вследствие преломляющего действия восходящих токов воздуха вносит значительное влияние на измеряемые зенитные расстояния. Наиболее эффективным методом устранения рефракции является производство наблюдений в ранние утренние часы и в пасмурные дни. Не следует, однако, пренебрегать и другой возможностью—уравниванием коэффициентов рефракции. Для этого в каждом пучке лучей выбирается особая маячная точка, находящаяся приблизительно в тех же условиях рефракции, что и оползневые точки данного пучка. Тогда измерение зенитного расстояния этой маячной точки будет содержать приблизительно такую же ошибку, что и измерение зенитного расстояния оползневой точки, разность же этих величин (приращение вертикального направления η) будет свободна от этой ошибки.

На рис. 1,б показаны различные вертикальные углы; из удобства изображения они совмещены в одной плоскости. Здесь различаются: —зенитное расстояние, φ —угол наклона визирного луча; ω —вертикальное направление, η —приращение вертикального направления.

Из чертежа видно, что приращение вертикального направления составляет $\eta = \xi_2 - \xi_1$, где ξ_1 и ξ_2 —зенитные расстояния в первом и втором циклах наблюдений; на эти величины влияют различные по величине коэффициенты рефракции, являющиеся следствием различия метеорологических условий в первом и втором циклах наблюдений. Переписав последнее выражение так: $\eta = (\xi_2 - \xi_0) - (\xi_1 - \xi_0)$, где ξ_0 —зенитное расстояние визирного луча с опорной на маячную точку, можем заменить его на основании рис. 1,б следующей расчетной формулой

$$\eta = \omega_1 - \omega_2 \quad (8)$$

где ω_1 и ω_2 —вертикальные направления оползневой точки в первом и втором циклах. При наблюдении этих направлений визирные лучи AB и AC находятся в приблизительно одинаковых метеорологических условиях и поэтому почти свободны от влияния рефракции.

Поправка на высоту инструмента

Для практического применения описываемого способа определения вертикальных перемещений необходимо вводить поправку за изменение высоты инструмента над опорным репером. Эта поправка вычисляется по формуле

$$\Delta = h_1 - h_0 \quad (9)$$

где h_0 —начальная высота инструмента в первом цикле наблюдений (при расчете наблюдательной сети), а h_1 —высота в текущем цикле.

Известные трудности возникают при измерении высоты инструмента. Обычные приемы измерения стальной рулеткой или линейкой не могут обеспечить необходимой точности, в особенности в тех случаях, когда репер получает некоторый наклон. Для облегчения этих измерений автором была сконструирована специальная рейка (рис. 2), которая может быть легко собрана из доступных деталей. Рейка состоит из следующих частей: а) конической втулки 1, устанавливаемой на головке 2 репера; б) шарового шарнира 3, применяемого в фотографических

штативах; шарнир плотно привинчивается к втулке; в) штанген-глубиномера 4 длиной 500 мм, привинчиваемого своим корпусом к шаровому шарниру 3; г) удлинительного стержня 5, привинчиваемого к ползуну 6 штанген-глубиномера; верхний конец удлинительного стержня упирается в становой винт треноги теодолита.

Если постоянно пользоваться одной и той же теодолитной рейкой, то можно не учитывать тарировочных данных рейки и рассматривать полученные по штанген-глубиномеру отсчеты как высоту инструмента, поскольку разница между действительной высотой горизонтальной оси вращения трубы теодолита над головкой репера и результатом отсчета по шкале штанген-глубиномера в различных циклах будет содержать одну и ту же тарировочную величину. Однако теодолитная рейка может быть случайно утеряна или повреждена; для возможности применения другой теодолитной рейки необходимо определить эту тарировочную величину. Для этого где-либо у стены на кронштейне устанавливается конусная головка репера и на соответствующей высоте над ней точно по вертикали—горизонтальный штырь с плоской нижней поверхностью.

На конусную головку устанавливается втулка теодолитной рейки, удлинительный стержень доводится до соприкосновения с нижней поверхностью штыря и делается отсчет по штанген-глубиномеру. Затем измеряют точное расстояние между этой поверхностью и головкой репера и, сравнивая с отсчетом по штанген-глубиномеру, определяют указанную тарировочную величину.

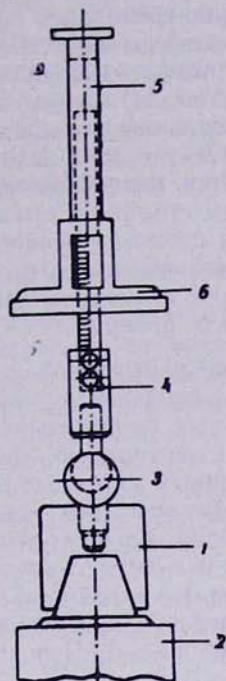


Рис. 2. Теодолитная рейка.
Նկ. 2. Փեղովի սալին ձողը
Fig. 2. Theodolite rod.

Таблица 1

Результаты наблюдений вертикальных направлений оползневого репера № Луч

№ циклов	Дата определения	Измеренное вертикальное направление с опорной точки на оползневую ω	Угловое приращение вертикального направления γ	Вертикальное линейное перемещение b'	Высота инструмента над опорным репером h_1	Поправка на изменение высоты инструмента Δ	Исправленное вертикальное смещение оползневого репера b
1	2	3	4	5	6	7	8

Точность измерения высоты инструмента, даваемая теодолитной рейкой достаточна для обычных работ на оползнях. При этих измере-

ниях остается неучтенным изменение высоты треножной подставки теодолита над опорной пластинкой. Это расстояние изменяется при выверке теодолита за счет работы установочных винтов. Для повышения точности измерения высоты инструмента можно с помощью штангенциркуля производить измерения указанного расстояния в серединах трех сторон треножной подставки и вводить в расчет высоты инструмента среднее из этих трех измерений.

Результаты измерений вертикальных направлений вписываются в таблицу (табл. 1). Затем вычисляются угловые приращения вертикальных направлений γ , выраженные в секундах; эти данные записываются в столбце 4 таблицы. Далее, пользуясь индивидуальной номограммой, вычисляются вертикальные линейные перемещения b' (столбец 5). В следующем столбце 6 приводятся данные измерения высоты h инструмента над опорным репером, а в столбце 7—разности Δ этих величин и начальной высоты инструмента, с учетом знака поправки. Наконец, в последнем столбце 8 дается исправленное вертикальное смещение b оползневой репера.

Построение вертикальных засечек и их уравнивание

Пусть оползневая точка наблюдается с помощью нескольких вертикальных направлений; линии положения этих направлений пересекаются с вертикалью, проходящей через оползневую точку, и находятся в различных вертикальных плоскостях. Покажем способ уравнивания получаемых при этом вертикальных засечек.

Повернем все эти вертикальные плоскости вокруг вертикальной линии положения и совместим все эти плоскости в одну. Это позволит рассматривать задачу, как плоскую.

Графическое построение для уравнивания вертикальных смещений показано на рис. 3. Через уравнинное на горизонтальной плоскости

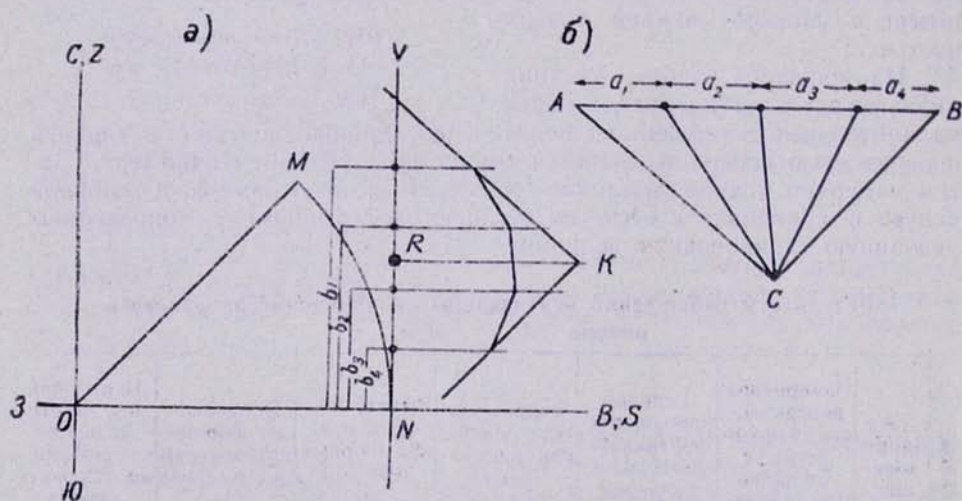


Рис. 3. Графический метод уравнивания вертикальных засечек: а) поле сил; б) план сил.

Նկ. 3. Ուղղանկյ հատումների հավասարեցման գրաֆիկական մեթոդը: а) ուժերի դաշտը, б) ուժերի պլանը:

Fig. 3. Graphic method of equalization of vertical intersections a) field of forces; b) plan of forces,

положение M оползневой точки, из начала координат O , как из центра проводится дуга окружности до пересечения с осью абсцисс. Тогда расстояние полученной точки N от начала координат будет равняться общему горизонтальному смещению OM оползневой точки.

Проведем через точку N вертикаль NV ; на этой линии откладываются, в соответствии со знаком, отрезки b_i , представляющие собой вертикальные перемещения. Полученные вертикальные засечки предстоит уравновесить. Решение задачи должно быть произведено с учетом степени достоверности каждой засечки, т. е. с учетом весов соответствующих линий положений. Вертикальные наблюдения могут рассматриваться, как равноточные; поэтому приведенные веса засечек линий положений с вертикалью принимаем равным квадратам градиентов (Келль, 1936)

$$P_z = g_n^2;$$

здесь не учтен некоторый, общий для всех засечек множитель.

После того, как найдены положения вертикальных засечек, образованных наклонными визирными лучами, и известны их веса, уравнивание этих засечек не представит труда. Такое уравнивание удобно производить графически путем построения веревочного многоугольника.

Для этого проводим через полученные вертикальные засечки горизонтальные прямые и получаем таким образом поле сил (рис. 3,а). Отдельно строится план сил: на горизонтальной прямой в стороне от основного чертежа в произвольно выбранном масштабе последовательно откладываются отрезки a_i , соответствующие приведенным весам вертикальных засечек (рис. 3,б).

Затем выбирается полюс C в стороне от этой прямой и проводятся полюсные лучи к концам всех отложенных отрезков; полученное построение является планом сил. Проводя теперь последовательно на поле сил, начиная с любого конца, напр. сверху, прямые параллельные полюсным лучам, до пересечения с соответствующими горизонтальными прямыми, получаем веревочный многоугольник. Продолжаем крайние лучи веревочного многоугольника до их пересечения в точке K . Через точку K проводим горизонтальную прямую до пересечения с суммарной вертикальной линией положения NV . Точка R пересечения этих прямых представляет собой уравненное положение оползневой точки, а расстояние NR — ее вертикальное смещение в данном цикле наблюдений.

Некоторые из проводимых при этом построений линии являются постоянными; их построение производится тушью при составлении альбома²; к таким линиям относится горизонтальная прямая AB на которой откладываются приведенные веса засечек, и крайние полюсные лучи AC и CB на плане сил; рекомендуется эти крайние полюсные лучи проводить под углом 45° к горизонтальной прямой AB .

Размещение отрезков, изображающих приведенные веса засечек, и, следовательно, положение промежуточных полюсных лучей зависит от последовательности размещения этих засечек на суммарной вертикальной линии положения, и поэтому эти линии будут различно располагаться на плане сил. Однако, так как сумма приведенных весов засечек остается постоянной, то при таком подходе имеется возможность конт-

² Описание альбома наблюдений, в котором производится все графические построения при изучении динамики оползней дается в другой работе автора (Тер-Степанян, 1972).

релировать правильность построения плана сил: все откладываемые отрезки a_i должны точно уместиться на горизонтальной прямой AB между ее концами.

Концы отрезков, представляющих веса засечек, и промежуточные полюсные лучи строятся карандашом и после каждого построения стираются. Точно так же карандашом делаются все построения на поле сил.

Уравненное положение R оползневой точки закрепляется тушью и рядом ставится номер очередного цикла. Эта точка относится к графику, изображающему зависимость между горизонтальными и вертикальными смещениями репера; такой график носит название графика наклона вектора смещения репера.

ՍՈՂԱՆՔԱՅԻՆ ԿԵՏԵՐԻ ՈՒՂՎԱԶԻԳ ՏԵՂԱՇԱՐԺՄԱՆ ԳԻՏՈՒՄՆԵՐԻ ԲԱԶՄԱՃԱՌԱԳԱՏԹ ԳԻՖԵՐԵՆՑԻԱԿ ԱՆՔՈՒԴ

Պրոֆեսոր, տեխն. գիտ. դոկտոր Գեորգի Տեր-Ստեփանյան³

Ռեֆերատ. Սողանքային կետերի ուղղաձիգ տեղաշարժման որոշման համար ճշգրիտ երկրաչափական մակարդակաչափումը աշխատատար է ունիվերսալ յուրահաստիությունների և մեծ քանակով կայանների ունենալու անհրաժեշտության պատճառով: Պարզ մեկնաոգայվանի եռանկյունաչափական մակարդակաչափումը ոչ բավականաչափ ճշգրիտ է: Ավելի լավ արդյունքներ ստացվում են բազմաճառագայթ եռանկյունաչափական մակարդակաչափման ժամանակ: Գաշտային աշխատանքները կատարվում են հորիզոնական ուղղությունների շարժման հետ միաժամանակ. վերլուծումը հեշտ է հավասարեցման գրաֆիկական մեթոդի օգտագործման պահին:

MULTIRADIAL DIFFERENTIAL METHOD OF OBSERVATIONS OF VERTICAL DISPLACEMENT OF LANDSLIDE POINTS

GEORGE TER-STEPANIAN, Prof., Dr. Techn. Sc.⁴

SYNOPSIS. The use of precise direct levelling for measurement of vertical displacement of landslide points is labour-consuming due to the peculiarities of the relief and the necessity of having a great quantity of stations. The simple unradial traverse levelling is lacking in accuracy. Better results are obtained by multiradial traverse levelling. Field works are made simultaneously with the measurement of the horizontal angles; the analysis is simple when using the graphic method of equalization.

Գ Ր Ա Կ Ա Ն Ո Ւ Թ Յ Ո Ւ Ն — Л И Т Е Р А Т У Р А — R E F E R E N C E S

- Кель Н. Г., 1936. Методы геодезического определения смещений при изучении движения оползней. Ленинград—Москва, ОНТИ.
- Кель Н. Г., 1948. Графический метод в действиях с погрешностями и положениями (распределениями). Москва—Ленинград, Изд. АН СССР.
- Кель Н. Г. и Белюков А. Н., 1954. Определение смещений точек на оползнях дифференциальным методом. Москва, Углетехиздат.
- Тер-Степанян Г. И., 1972. Геодезические методы изучения динамики оползней. Москва, Изд. «Недра».

³ ՀՊՍԶ Գիտությունների ակադեմիայի գեոմեխանիկայի լաբորատորիայի վարիչ:

⁴ Head, Laboratory of Geomechanics, Armenian Academy of Sciences.