Гравиметрия

Л13. Дифференциальный метод определения аномалий силы тяжести и вторых производных потенциала силы тяжести



Лектор Кенесбаева А.

Содержание

- Смещение нуль-пункта гравиметра
- Дифференциальный метод определения аномалий высот и уклонений отвеса по измерениям силы тяжести и вторых производных потенциала силы тяжести
- Влияние вариаций гравитационного поля на результаты повторных геодезических измерений
- Принципы расчета гравиметрической съемки при решении геодезических задач

Смещение нуль-пункта гравиметра

В теории механических гравиметров предполагается, что деформация упругой системы пропорциональна силе тяжести, то есть соответствует закону Гука.

Зако́н Гу́ка: деформация, возникающая в упругом теле, пропорциональна приложенной к этому телу силе.

В реальных телах зависимость деформации от нагрузки гораздо сложнее.

Отклонения от закона пропорциональности при наблюдениях с гравиметрами приводит к непрерывному изменению отсчета, которые называются ***смещением нуль-пункта.***

При изготовлении гравиметров принимают меры для повышения стабильности упругих систем. Их изготавливают из плавленого кварца и элинвара (особого сплава никеля и хрома), которые обладают малыми температурными коэффициентами.

Несмотря на это, смещение нуль-пункта существует у всех без исключения гравиметров.

Данный факт является основным недостатком статических гравиметров и требует соблюдения специальных методик выполнения гравиметрических работ.

Так гравиметрические измерения выполняют отдельными *гравиметрическими рейсами*. **Рейс** - *совокупность последовательных измерений гравиметром, объединенных общей характеристикой смещения нуль-пункта.*

В результаты этих измерений в каждом рейсе вводят поправку за смещение нуль-пункта гравиметра.

Смещение нуль-пункта гравиметра



- Вся методика сводится к уменьшению влияния различного рода ошибок, в основном связанных со смещением нуль-пункта гравиметра. Все гравиметровые измерения выполняются в виде рейса.

Смещение нуль-пункта гравиметра

Для определения смещения нуль-пункта наблюдения в рейсе начинают и заканчивают на одном и том же пункте или на исходных пунктах, приращение ускорения силы тяжести между которыми известно.

В течение рейса скорость смещения нуль-пункта гравиметра предполагается постоянной, **а поправка за смещение нуль-пункта изменяется по линейному закону** пропорционально времени.

Поправка в пункт, который наблюдался через два часа после начала наблюдений в рейсе будет в два раза больше по величине, чем поправка в пункт, на котором измерения через один час после начала рейса.

Поэтому перед полевыми измерениями, каждый гравиметр исследуют на линейный характер смещения нуль-пункта гравиметра.

На основании этого исследования продолжительность гравиметрического рейса при работе со статическими гравиметрами обычно ограничивается (4 – 6) часами.

При проложении гравиметрического рейса поправка за смещение нуль-пункта вычисляется по формуле

$$\delta_i = -k(t_i - t_н), \qquad (4.13)$$

где k – скорость смещения н.п., определяемая для случая проложения рейса по схеме замкнутого хода по формуле

$$k = \frac{S_к - S_н}{t_к - t_н}. \qquad (4.14)$$

Смещение нуль-пункта гравиметра

В формулах (4.13) и (4.14) :

- δi – поправка за смещение нуль-пункта гравиметра в i -тый пункт наблюдений;
- $t_н$,ti ,$t_к$ – время наблюдений на начальном, текущем и конечном гравиметрических пунктах рейса;
- $S_н$,$S_к$ – начальный и конечный отсчеты по гравиметру в рейсе, переведенные в мГалы.

На скорость смещения нуль-пункта гравиметра существует допуск:

- ✓ для ГНУК-А $k_{доп.}$ = 0,5 мГал/сутки, для ГНУК-В $k_{доп.}$ = 1,0 мГал/сутки;
- ✓ для ГНУК-С $k_{доп.}$ = 2,0 мГал/сутки.

Лучшие зарубежные гравиметры отличаются очень высокой стабильностью упругой системы. Так высокоточные гравиметры фирм Шарп и Уорден имеют смещение нуль-пункта гравиметра менее 0,03 мГал/сутки, а аналогичные гравиметры Ла-Коста-Ромберга – менее (0,5 – 2,0) мГал/месяц.

Исследование смещения нуль-пункта гравиметра.

Порядок исследования смещения нуль-пункта гравиметра является следующим:

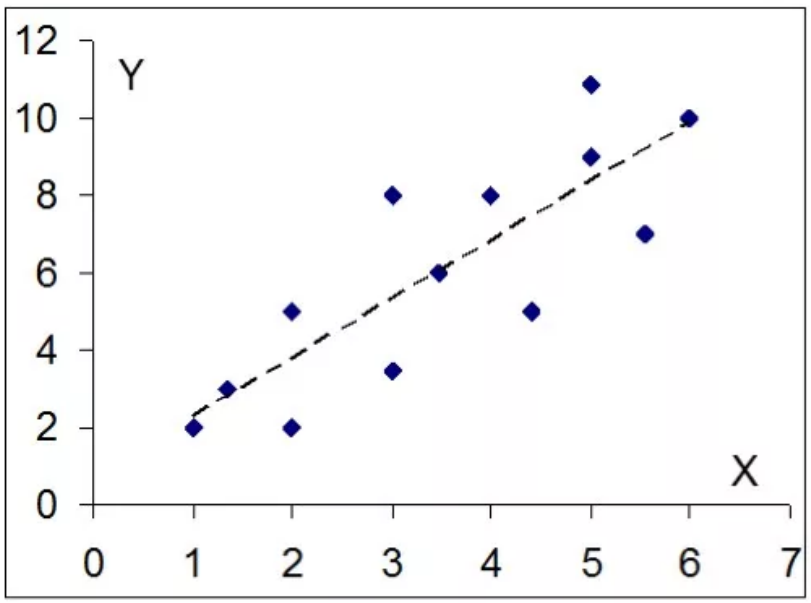
1. Устанавливают гравиметр на жесткое основание, приводят в рабочее положение и в течение 10 часов через равные промежутки времени (обычно каждый час) берут отсчеты по отсчетному устройству.
2. Переводят отсчеты в миллигалы и по ним строят график смещения нуль-пункта во времени. При этом по оси абсцисс откладывают моменты времени наблюдений, а по оси ординат – соответствующие отсчеты в миллигалах.

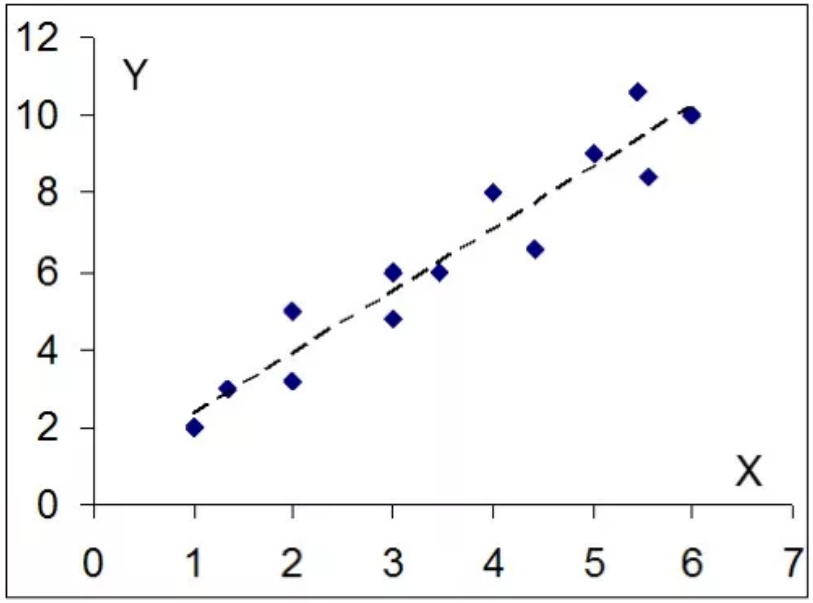
Смещение нуль-пункта гравиметра

3. Соединив последовательно между собой все полученные точки, выполняют анализ графика. Если на графике все точки легли в пределах точности (для гравиметров среднего класса точности $m_{доп}$ = 0,1 мГал) на одну прямую, значит такое смещение нуль-пункта у данного гравиметра линейно во времени.

Если в интервале времени ($t2 - t1$) наблюдается линейный характер графика, а в течение времени ($t3 - t2$) – нелинейный, то делается вывод, что смещение нуль-пункта в промежутке времени ($t2 - t1$) происходит по линейному закону, а в интервале ($t3 - t2$) – не по линейному закону, то есть не пропорционально времени.

Продолжительность полевого рейса будет определяться временем, в течение которого смещение нуль-пункта соответствует линейному изменению во времени.





Дифференциальный метод определения аномалий с.т.

Дифференциальный метод изучения гравитационного поля, наиболее простой по идее. Смысл в том, чтобы проинтегрировать по маршруту измеренные вторые или первые производные потенциала и получить разность первых производных или разность самого потенциала.

Способ известен давно, но до сих пор широкого применения не нашел главным образом потому, что первые горизонтальные производные $Wx = -\gamma\xi$ и $Wy = -\gamma\eta$ измерять трудно, только вертикальная производная $Wz = -g$ измеряется гравиметром быстро и достаточно точно.

А датчики вторых производных, **обычные вариометры,** сложны в обращении и дают лишь четыре производных из пяти нужных.

Нехватка данных приводит к дополнительным, но устранимым, осложнениям.

Наконец, этот метод позволяет определить лишь приращения потенциала или его производных и только там, где выполнены измерения. Вне точек измерения метод ничего определить не позволяет.

Несмотря на все указанные недостатки, **дифференциальный метод найдет свое применение в будущем.**

Особенно он будет полезным в инженерной геодезии, так как приспособлен именно для локального изучения поля с высокой точностью.

Рассмотрим *применение этого метода при вычислении уклонений отвеса.*

Вариометрическая съёмка

- Съёмка, выполненная с вариометрами или градиентометрами, называется *вариометрической.*



ГРАВИТАЦИО́ННЫЙ ВАРИО́МЕТР

ГРАВИТАЦИО́ННЫЙ ВАРИО́МЕТР, прибор, предназначенный для измерения параметров гравитационного поля Земли, характеризующих его неоднородность.

Этими параметрами являются некоторые вторые производные гравитац. потенциала и их линейные комбинации.

Г. в. изобретён Л. фон Этвёшем в кон. 19 в. и **несколько десятилетий являлся основным инструментом для поисков месторождений нефти по всему миру.**

Его внедрение стало фактич. началом применения **гравитационной разведки.**

Чувствительным элементом Г. в. являются **крутильные весы** – тонкий горизонтальный стержень с массами на концах, разнесёнными по высоте. Стержень подвешен на тонкой вертикальной металлической нити.

Неоднородность гравитационного поля создаёт крутильный момент, стержень поворачивается на малый угол, который и регистрируется.

На показания Г. в. существенно влияет рельеф местности, знание которого требует проведения специальных топографических работ.

К кон. 20 в. использование Г. в. на базе крутильных весов почти прекратилось, но были разработаны высокоточные Г. в., работающие на других принципах (напр., использование комбинаций противоположно ориентированных акселерометров) и дающие возможность измерений всех вторых производных гравитационного потенциала.

Такие Г. в. используются для геофизических исследований, проводимых с самолётов.

Дифференциальный метод определения аномалий силы тяжести

Потенциал силы тяжести имеет шесть вторых производных:

$$\frac{\partial^2 W}{\partial x^2};\quad \frac{\partial^2 W}{\partial y^2};\quad \frac{\partial^2 W}{\partial z^2};\quad \frac{\partial^2 W}{\partial x \partial y};\quad \frac{\partial^2 W}{\partial x \partial z};\quad \frac{\partial^2 W}{\partial y \partial z}.$$

Если ось *z* направлена по направлению силы тяжести, а оси *x* и *y* расположены в плоскости горизонта и имеют направление, соответственно, на север и на восток, то физический смысл вторых производных будет следующим.

$\frac{\partial^2 W}{\partial z^2}$ - есть *вертикальный градиент силы тяжести*, который показывает скорость изменения (уменьшения) силы тяжести с высотой.

$\frac{\partial^2 W}{\partial x \partial z}$ и $\frac{\partial^2 W}{\partial y \partial z}$ -- – это *горизонтальные градиенты силы тяжести*.

Они характеризуют изменения силы тяжести в горизонтальной плоскости: первая – в направлении меридиана, вторая – в направлении первого вертикала.

Знание горизонтальных градиентов силы тяжести дает возможность определить *полный горизонтальный градиент*, под которым понимается геометрическая сумма векторов $\frac{\partial g}{\partial x}$ и $\frac{\partial g}{\partial y}$, то есть вектор, указывающий направление, в котором сила тяжести возрастает (или убывает) в плоскости горизонта быстрее всего.

Влияние вариаций гравитационного поля на результаты повторных геодезических измерений

При изучении деформаций земной коры на геодинамических полигонах (ГДП) серьезное внимание должно быть обращено на факторы, искажающие реальную картину деформаций.

Поскольку результаты геодезических измерений зависят от состояния гравитационного поля, к таким факторам следует отнести и вариации гравитационного поля (ВГП) во времени, в результате которых сравниваемые циклы геодезических измерений на ГДП окажутся выполненными при различных состояниях гравитационного поля.

ВГП могут быть вызваны изменением взаимного положения планет Солнечной системы относительно Земли, прежде всего, Луны и Солнца, миграцией подземных вод, перемещением масс в результате крупных вулканических извержений, а также техногенными перемещениями масс на земной поверхности.

Наиболее ощутимо искажения за ВГП могут проявиться при анализе результатов повторного нивелирования, так как геометрическое нивелирование дает расстояние между уровенными поверхностями потенциала силы тяжести, проходящими через точки стояния нивелира и реек.

С изменением значений силы тяжести изменяются и положения уровенных поверхностей, а, следовательно, превышения при повторном нивелировании также изменяются.

Для правильного анализа результатов повторных нивелировок необходимо иметь в виду, что *данные геометрического нивелирования зависят от пути нивелирования между исследуемыми точками и имеют ясный физический смысл только в том случае, если они обрабатываются совместно с результатами измерения силы тяжести g вдоль нивелирных линий.*

Влияние вариаций гравитационного поля на результаты повторных геодезических измерений

Покажем это с помощью следующих рассуждений.

Разность потенциалов W силы тяжести в некоторой точке A земной поверхности и точке O начала счета высот у уровня моря можно представить формулой

$$W_O - W_A = \int_{OA} g dh \approx \sum_{OA} g \Delta h, \qquad (6.26)$$

где dh – элементарное нивелирное превышение;

Δh – превышение между некоторыми промежуточными реперами на пути от точки O начала счета к точке A.

Криволинейный интеграл или сумма в формуле (6.26) должны быть вычислены вдоль пути нивелирования.

Если между эпохами нивелирования произошло изменение разности потенциалов, то из этой же формулы данное изменение можно представить как

$$\delta\left(W_O - W_A\right) = \int_{OA} \left(\delta g \cdot dh + g \cdot \delta dh\right) \approx \sum_{OA} \left(\delta g \cdot \Delta h + g \cdot \delta \Delta h\right), \qquad (6.27)$$

где ( ) $\delta\, WO - WA$ – изменение разности потенциалов силы тяжести;

δg – изменение силы тяжести;

δdh и $\delta \Delta h$ – изменение соответствующих превышений.

Из (6.27) следует, что изменение разности потенциалов с. т., наблюдаемое между эпохами нивелирования, может быть вызвано как изменениями силы тяжести (δg), так и изменениями превышений ($\delta \Delta h$).

Влияние вариаций гравитационного поля на результаты повторных геодезических измерений

В равнинных районах при наблюдаемых изменениях нивелирных превышений и силы тяжести преобладающее влияние на изменение потенциалов окажет последний член под знаком суммы в формуле (6.27).

Действительно, при $\delta\Delta h$ = 5 мм, δg = 0,03 мГал, g = 1000000 мГал, $\Delta h = 5\cdot10^5$ мм этот член равен $5\cdot10^6$ мГал·мм, а первый член под знаком суммы этой формулы равен $0{,}015\cdot10^6$ мГал·мм.

Только в высоких горах при δg = 0,1 мГал (на Северном Кавказе обнаружено изменение δg , равное 0,08 мГал/год), и Δh =6 км первый член может приблизиться по порядку своей величины ко второму, достигнув $0{,}6\cdot10^6$ мГал·мм.

Из приведенных расчетов следует, что для равнинных районов, например, Беларуси (при условии отсутствия техногенных перемещений масс), формулу (6.27) можно упростить и переписать как

$$\delta(W_O - W_A) \approx \sum_{OA}(g\cdot\delta\Delta h). \qquad (6.28)$$

Следовательно, вертикальные перемещения земной коры здесь будут соответствовать изменению разности потенциалов, выявляемому из повторных нивелировок, и в этом случае не надо заботиться о повторных измерениях силы тяжести.

Однако в строгом смысле, исходя из формулы (6.27), можно сказать, что *только при неизменном гравитационном поле результаты повторных нивелировок будут соответствовать изменению высот.*

Влияние вариаций гравитационного поля на результаты повторных геодезических измерений

На практике же при обработке результатов повторного нивелирования следует иметь в виду, что поправки за изменения взаимного положения Земли, Луны и Солнца, так называемые приливные поправки, значительны только в ходах большой протяженности.

Поэтому вопрос об учете этих поправок в результатах повторного нивелирования на ГДП обычно не возникает.

Однако неприливные ВГП, то есть обусловленные техногенными перемещениями масс, извержениями вулканов, землетрясениями, миграцией подземных вод и т.д., могут достичь значительных величин и вызвать существенные искажения в исследуемых деформациях, если не учесть их в результатах повторных геодезических измерений.

Вопросу изучения неприливных изменений силы тяжести на ГДП во всем мире уделяется большое внимание. В Японии этот вопрос исследуется с помощью повторных гравиметрических измерений, начиная с 50-х годов прошлого столетия. Широко распространены подобные исследования в Северной Исландии, Мексике, США, Германии, странах бывшего Союза и еще в ряде других государств мира.

В последние годы к ним активно привлекается спутниковая альтиметрия, позволяющая фиксировать высоты геоида (квазигеоида), а, следовательно, и их изменения, с точностью в несколько сантиметров.

Выполненные исследования изменений силы тяжести на геодинамических полигонах показали, что величины этих изменений могут составлять десятки мкГал/год.

Влияние вариаций гравитационного поля на результаты повторных геодезических измерений

В ряде случаев зафиксировано изменение гравитационного поля до и после происшедших землетрясений большой силы, вызвавших большие вертикальные перемещения земной поверхности.

Поэтому сведения об изменениях локального гравитационного поля, полученные с помощью повторных гравиметрических и спутниковых альтиметрических измерений, могут рассматриваться как один из видов предвестников землетрясений и извержений вулканов.

Наибольшие изменения силы тяжести на нашей планете зафиксированы вследствие перемещений масс, обусловленных деятельностью человека.

Доступные измерениям вариации силы тяжести наблюдаются при эксплуатации нефтяных и газовых месторождений, геотермальных полей, откачке воды, добыче угля, а также заполнении и спуске водохранилищ. По величине эти изменения могут достичь нескольких мГал.

Например, конкретные расчеты, выполненные для Саяно-Шушенского водохранилища, показали, что вариации силы тяжести, обусловленные изменением уровня воды от 225 до 250 м, вблизи береговой линии могут достигать 1 мГал, а вариации уклонений отвесных линий при этом могут составить 0,2″ и при выполнении высокоточных геодезических измерений ими нельзя пренебрегать.

Поэтому на техногенных ГДП при вычислении характеристик деформаций земной поверхности поправки за изменение гравитационного поля в результатах повторных геодезических измерений должны быть учтены.

Саяно-Шушенское ГЭС



Учет изменений гравитационного поля, вызванных заполнением водохранилища

Источником вариаций гравитационного поля (ВГП) в районах водохранилищ ГЭС являются массы воды в водохранилище при его заполнении и изменение уровня воды в нем в период эксплуатации.

Как известно, на ГДП ГЭС линии повторного нивелирования прокладываются по периметру водохранилища и перпендикулярно к нему.

Вследствие гравитационного притяжения масс воды водохранилища направления отвесных линий меняются таким образом, что превышения вдоль нивелирных ходов, идущих в перпендикулярном направлении к водохранилищу, будут больше, чем до его заполнения, то есть возникает ложный эффект опускания ложа водохранилища. Этот эффект будет наибольшим при сравнении результатов нивелирования, выполненного до и после заполнения водохранилища.

Однако он будет заметен также при сравнении нивелировок, выполненных уже после заполнения, из-за колебания уровня, обусловленного режимом расхода воды при эксплуатации ГЭС. Таким образом, результаты высокоточного нивелирования на каждом ГДП ГЭС должны приводиться к некоторому стандартному уровню наполнения водохранилища.

Методика вычисления соответствующих поправок разработана в ЦНИИГАиК. Она различает два случая: учет изменения всей массы воды водохранилища (при сравнении нивелировок, выполненных до и после его заполнения) и учет влияния колебаний уровня воды.

Учет изменений гравитационного поля, вызванных заполнением водохранилища

Поскольку указанный эффект проявляется в превышениях из-за небольших отклонений отвесных линий, то его можно оценить, определив изменения уклонения отвеса для рассматриваемых реперов и умножив их на расстояние между реперами.

Однако в этом случае, каждая эпоха нивелирования должна сопровождаться гравиметрической съемкой, что трудоемко и дорого.

Для удешевления работ ЦНИИГАиК предлагает учесть, что источник изменения гравитационного поля в районах водохранилища известен, так как службы ГЭС ведут практически непрерывные наблюдения за уровнем воды водохранилища.

Исходное теоретическое положение методики: при нивелировании в результате изменения окружающих масс происходит радиальное смещение уровенных поверхностейпроходящих через каждый репер. Поясним это с помощью чертежа (рис. 32).

Если до заполнения водохранилища уровенные поверхности реперов А и В занимали положения А1 и В1, то после его заполнения они займут положение А2 и В2.

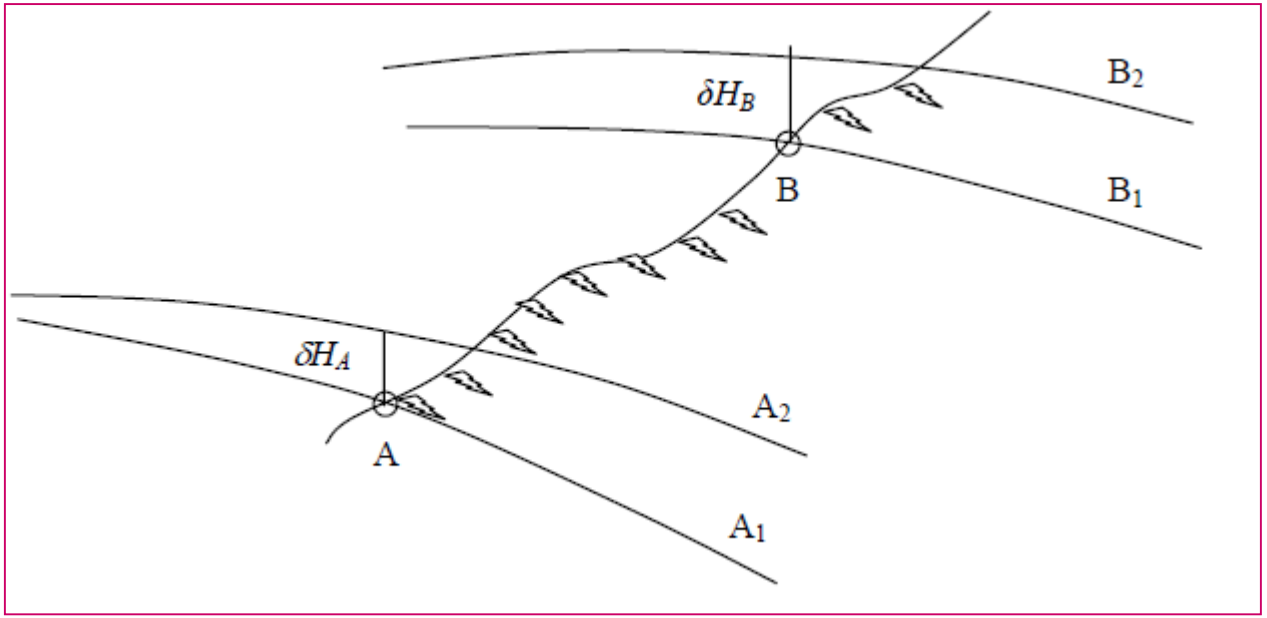
Это неизбежно будет наблюдаться, так как вследствие изменения окружающих масс произойдет изменение характеристик локального гравитационного поля, что выразится в изменении направлений отвесных линий, проходящих через реперы А и В, а, следовательно, и в изменении положений перпендикулярных этим направлениям уровенных поверхностей до положения А2, В2.

Учет изменений гравитационного поля, вызванных заполнением водохранилища

Показанные на рис. 32 отрезки *δHA* и *δHB* как раз и будут *δHA δHB* характеризовать радиальные смещения уровенных поверхностей на реперах А и В, вызванные заполнением или изменением уровня водохранилища.

Кроме того, разность (*δHB – δHA*) будет равна поправке в измеренное превышение *hAB* в эпоху *T2* за изменение гравитационного поля.

Величины *δHi* и их разности для соседних реперов (*δHi*+1 – *δHi*) могут быть вычислены без особых затруднений, исходя из следующих соображений.



Радиальное смещение уровенных поверхностей реперов А, В вследствие изменения масс воды в водохранилище

Учет изменений гравитационного поля, вызванных заполнением водохранилища

Из теории потенциала известно, что изменение потенциала тяготения в точке земной поверхности на величину ΔV приводит к радиальному смещению δH проходящей через нее уровенной поверхности, вычисляемому по формуле

$$\delta H = \frac{\Delta V}{\gamma}, \qquad (6.29)$$

где γ – нормальное значение силы тяжести в данной точке, то есть известная величина. При заполнении водохранилища изменение потенциала ΔV создается массой воды, объем и плотность которой известны, так как за уровнем водохранилища ведутся непрерывные наблюдения.

Поэтому величина ΔV может быть вычислена по известной формуле

$$\Delta V = f \cdot \rho \iiint_{\tau} \frac{d\tau}{r}, \qquad (6.30)$$

где f – гравитационная постоянная (f = 6,673·10-11 м3кг-1·с-2);

ρ – плотность воды (ρ = 1 г/см3);

τ – объем воды в водохранилище;

$d\tau$ – элементарный объем воды в водохранилище;

r – расстояние от репера, в котором вычисляется величина ΔV, до элемента объема воды $d\tau$.

Учет изменений гравитационного поля, вызванных заполнением водохранилища

Предусматриваемое формулой (6.30) интегрирование выполняется численно.

Для этого используется известная круговая палетка Еремеева. Она строится в масштабе карты, на которой нанесены водохранилище и нивелирная сеть ГДП ГЭС.

При использовании круговых палеток операция интегрирования соответствует суммированию отдельных вкладов вертикальных столбов (призм) воды, горизонтальные сечения которых задаются отсеками применяемой палетки (рис. 33), в изменение потенциала тяготения, то есть

$$\Delta V = \sum_{i=F}^{IV} \sum_{K=1}^{16} \delta V_{iK} \,, \qquad (6.31)$$

где ΔV – изменение потенциала тяготения, вызванное заполнением водохранилища;

δViK – изменение потенциала тяготения, вызванное столбом воды, высекаемом в водохранилище отдельным отсеком палетки;

K = 1, 2, 3 . . . 16 – номер сектора палетки;

i = F, E, D, C, B, A, I, . . . IV – наименование зоны палетки.

Учет изменений гравитационного поля, вызванных заполнением водохранилища

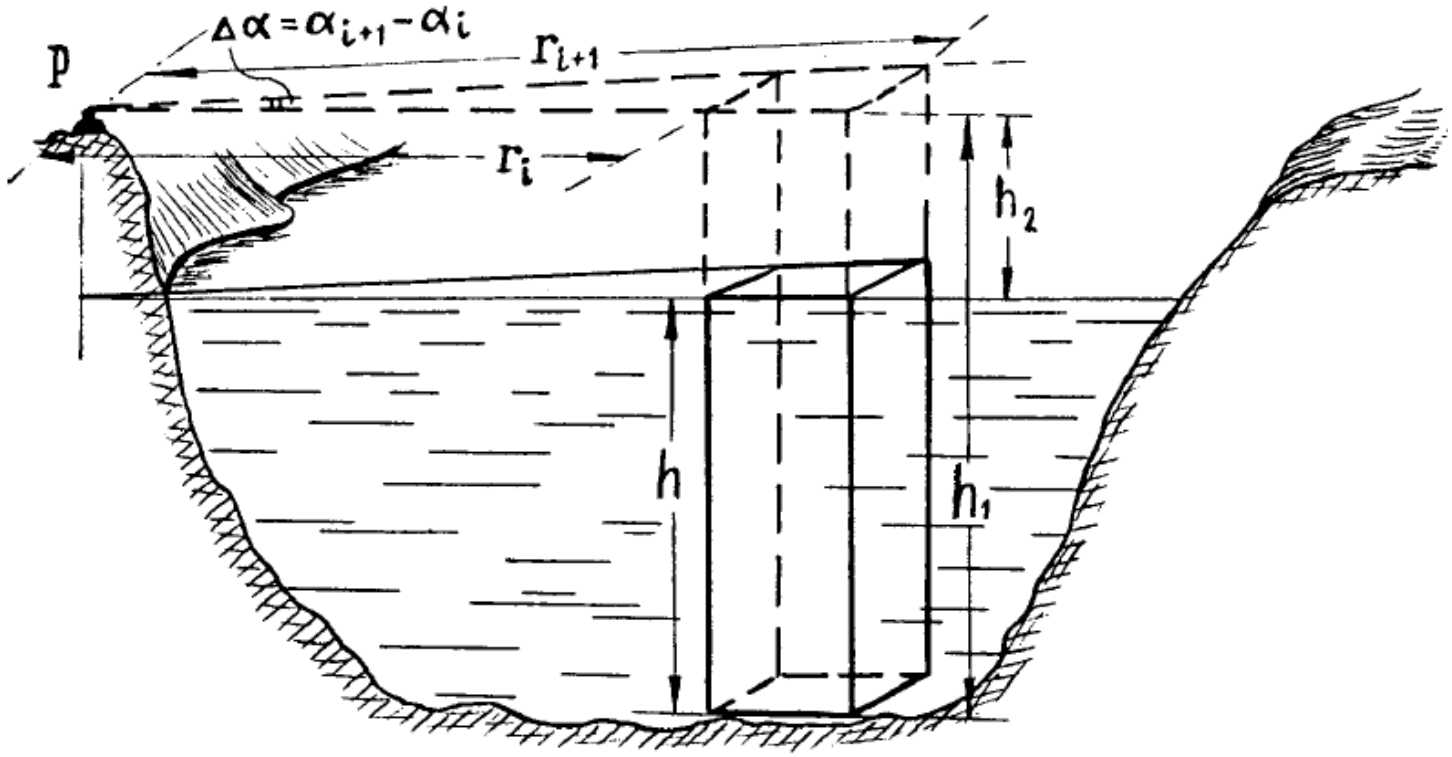


Иллюстрация к операции численного интегрирования формулы (6.31):
P – репер, в котором вычисляется изменение потенциала ΔV ;
h – высота столба воды (глубина водохранилища), соответствующая отсеку палетки iK с радиусами ri и ri+1 ;
$h2$ – высота репера P над уровнем воды водохранилища; $h1 = h + h2$

Учет изменений гравитационного поля, вызванных заполнением водохранилища

Гравитационный потенциал изображенной на рис. 33 вертикальной призмы может быть вычислен по формуле

$$\delta V_{iK} = \frac{1}{2} f\rho(\alpha_{i+1} - \alpha_i)\left[h_1\left(\sqrt{r_{i+1}^2 + h_1^2} - \sqrt{r_i^2 + h_1^2}\right) - h_2\left(\sqrt{r_{i+1}^2 + h_2^2} - \sqrt{r_i^2 + h_2^2}\right) + \right.$$

$$\left. + r_{i+1}^2 \ln \frac{\left(h_1 + \sqrt{r_{i+1}^2 + h_1^2}\right)}{\left(h_2 + \sqrt{r_{i+1}^2 + h_2^2}\right)} - r_i^2 \ln \frac{\left(h_1 + \sqrt{r_i^2 + h_1^2}\right)}{\left(h_2 + \sqrt{r_i^2 + h_2^2}\right)}\right], \qquad (6.32)$$

Формула (6.32) получается как разность выражений для потенциала тяготения двух призм с основанием на горизонтальной плоскости, проходящей через репер Р.

Ввиду малости вычисляемой поправки формулу (6.32) для нашего случая можно существенно упростить.

Ее достаточным приближением является выражение

$$\delta V_{iK} = f \cdot \rho \cdot h \cdot (\alpha_{i+1} - \alpha_i)(r_{i+1} - r_i) = f \cdot \rho \cdot h \frac{2\pi}{16} \cdot (r_{i+1} - r_i). \qquad (6.33)$$

Результирующая величина смещения уровенной поверхности равна

$$\delta H = \frac{\Delta V}{\gamma} = \frac{\sum_{i=F}^{IV} \sum_{K=1}^{16} \delta V_{iK}}{\gamma}. \qquad (6.34)$$

Учет изменений гравитационного поля, вызванных заполнением водохранилища

В формуле (6.34) суммирование выполняется по числу элементарных призм, на которые при вычислении разбивается объем водохранилища с помощью используемой палетки (см. рис. 33).

Вычислительная процедура сводится к оцениванию средних значений глубин в отсеках палетки, задающих горизонтальные сечения упомянутых элементарных призм. При этом палетка накладывается на топографическую карту, на которой желательно заранее поднять горизонтали, попадающие на водохранилище.

Особо нужно выделить и подписать выбранный стандартный уровень.

Центр палетки должен быть совмещен с репером, для которого вычисляется смещение уровенной поверхности.

Хотя для этих вычислений азимутальная ориентировка палетки может быть произвольной, палетку лучше всего ориентировать единообразно, что позволит использовать результаты снятия для вычисления изменений уклонений отвеса, если они будут представлять интерес.

Подходящим масштабом карты является 1:100000. *Палетка строится в масштабе используемой карты.*

Принципы расчета гравиметрической съемки при решении геодезических задач



Полезные ссылки

- Кузьмин, В.И. Гравиметрия [Текст]: учеб. пособие / В.И. Кузьмин. – Новосибирск: СГГА, 2011. – 193 с.
- Гравиметрия : учеб.-метод. комплекс для студ. спец. 1-56 01 02 «Геодезия»/сост. и общ. ред. Г. А. Шароглазовой. – Новополоцк : ПГУ, 2006 – 196 с.
- http://www.myshared.ru/slide/922945/ Технология составления геофизической основы с прогнозом рудных полезных ископаемых на подготовительном этапе ГСР-200 (складчатые области). ЗАО «НПП ВИРГ-Рудгеофизика» - презентация
- https://present5.com/sovremennye-texnologii-interpretacii-gravimetricheskix-dannyx-pri-issledovaniyax-na/ Современные технологии интерпретации гравиметрических данных при исследованиях на нефть и газ