

3. ПОВЕРКИ И ИССЛЕДОВАНИЯ ГРАВИМЕТРОВ

Несмотря на сравнительную простоту устройства кварцевых астазированных гравиметров, получение высококачественных измерений силы тяжести ими возможны только при условии выполнения целого ряда требований, как во время подготовки гравиметра, так и в процессе самих измерений. На точность измерения силы тяжести гравиметром влияют различные факторы и ошибки, которые можно подразделить на случайные и систематические.

К случайным относятся ошибки, связанные с неточностью: нивелировки гравиметра, совмещения индекса маятника с нулем окулярной шкалы, работы отсчетного устройства, определения температуры, настройки уровней на минимум чувствительности к наклону, отсчета температуры, а также с влиянием микросейсмических колебаний.

Систематические факторы обусловлены: ошибками эталонирования гравиметров, недоучетом смещений нуль-пункта, вызываемых изменением механических свойств пружин и нитей кварцевой системы, недоучитываемым действием температуры, а также систематическим влиянием микросейсм.

Величина многих из вышеперечисленных случайных ошибок может быть уменьшена путем выполнения соответствующих исследований, настроек гравиметра и применением соответствующей методики измерений.

Основные поверки, исследования гравиметров типа ГНУ-К и параметры, которым они должны удовлетворять, приведены в табл. 3.1 согласно ГОСТ 13017–83 [9].

Таблица 3.1. Гравиметры наземные. Общие технические условия

Название исследований и поверок гравиметров и их размерность	Норма для типа		
	ГНУ-К		
	Класс		
	A (I)	B(II)	C(III)
Верхний предел без перестройки диапазона, мГал	$d \geq 80$		
Верхний предел с перестройкой диапазона, мГал	$D \geq 6\,000$		
Длительность переходного процесса, мин	$t_{ct} \leq 3$		
Смещение нуль-пункта за сутки, мГал	0,5	2,0	2,0
Чувствительность q , дел./мГал, не менее	7,0	5,0	2,5
Барометрический коэффициент K_b , 10^{-5} мГал/Па, не более	1,1	1,3	1,6
Барометрический коэффициент, мм (10^{-3} мГал/мм рт. ст.), не более	1,5	1,7	2,1
Температурный коэффициент λ_C , мГал/ 1°C , не более	$\lambda_C \leq 0,5$		

3.1. Настройка гравиметра на минимум чувствительности к наклону по уровням

Настроить гравиметр на минимум чувствительности к наклону – значит привести главную плоскость гравиметра (ГПГ) рис. 3.1 в горизонтальное положение.

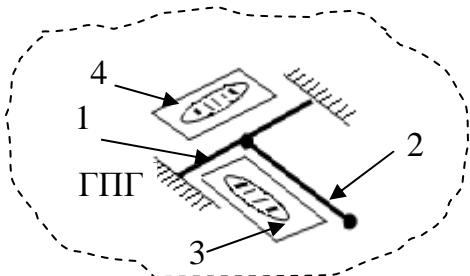


Рис. 3.1. Главная плоскость гравиметра:

1 – нить подвеса маятника; 2 – маятник; 3, 4 – уровни продольный и поперечный, соответственно

ГПГ – мнимая плоскость, в которой находятся нить подвеса маятника и сам маятник. Чтобы это условие выполнялось, оси поперечного и продольного уровней гравиметра должны быть параллельны ГПГ.

Теоретической основой способа настройки уровней гравиметра на минимум чувствительности является зависимость изменения показаний гравиметра от величины его наклона (β , радиан).

$$\Delta g_i = C \cdot (\Delta S_i) = \frac{1}{2} g \beta_i^2; \Delta S_i = S_0 - S_i, \quad (3.1)$$

где Δg_i – изменение показаний гравиметра, вызванное наклоном прибора, мГал;

S_0 , S_i – отсчеты по шкале гравиметра, при $\beta = 0$ и при $\beta \neq 0$, соответственно, обор.;

$g = 0,981 \cdot 10^6$, мГал – приближенное значение силы тяжести в пункте наблюдений;

C – цена оборота измерительного винта гравиметра, мГал/оборот;

β – угол наклона гравиметра относительно горизонтальной плоскости, радиан.

В реальных условиях угол β отсчитывается относительно главной плоскости гравиметра (рис. 3.2, а), которая составляет с горизонтальной плоскостью угол ε , обусловленный ошибками юстировки уровней.

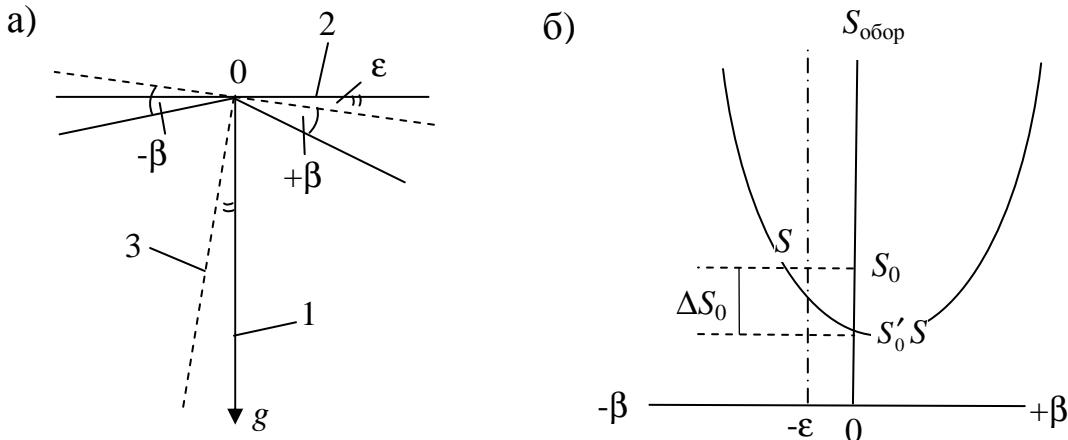


Рис. 3.2. Иллюстрация влияния ошибки юстировки уровней гравиметра ε

На рис. 3.2, а: 1 – отвесная линия; 2 – плоскость горизонта; 3 – ось чувствительности гравиметра. На рис. 3.2, б изображено графическое определение ε . В этом случае уравнение (3.1) примет вид:

$$\Delta g_i = C \cdot (S'_0 - S_i) = C \cdot (\Delta S_i + \Delta S_0) = \frac{g(\beta + \varepsilon)^2}{2};$$

$$\Delta S_0 = S'_0 - S_0, \quad (3.2)$$

где S'_0 – отсчет, соответствующий строго горизонтальному положению гравиметра при $\beta = -\varepsilon$.

Из уравнения (3.2) получим:

$$\Delta g_i = \frac{1}{2} g \cdot \beta^2 + g \cdot \beta \cdot \varepsilon + \frac{1}{2} g \cdot \varepsilon^2.$$

Величины $C \cdot \Delta S_0$ и $\frac{1}{2} g \cdot \varepsilon^2$ равны между собой, не зависят от β и выражают влияние наклона вследствие погрешности юстировки уровней:

$$C \cdot \Delta S_0 = \frac{1}{2} g \cdot \varepsilon^2 = \Delta g_0. \quad (3.3)$$

Вычитая (3.3) из выражения (3.2), получим:

$$\Delta g - \Delta g_0 = \frac{1}{2} g \cdot \beta^2 + g \cdot \beta \cdot \varepsilon. \quad (3.4)$$

Уравнение (3.4) графически выражается параболой с осью симметрии, параллельной оси ординат и величиной абсциссы, равной ε (см. рис. 3.2, б).

Величину ε можно определить графически или вычислить по формуле:

$$\varepsilon = \frac{2 \cdot (C \cdot \Delta S_0) - g \cdot \beta^2}{2 g \cdot \beta}, \text{ рад.} \quad (3.5)$$

Полагая, что в формуле (3.1) $\Delta g = 0,01 \text{ мГал}$; $g = 980 \text{ Гал}$; $\beta = \varepsilon$, получим:

$$\varepsilon = \pm \sqrt{\frac{2 \Delta g}{g}} = \pm \sqrt{\frac{0,02}{0,98 \cdot 10^6}} = \pm 1,4 \cdot 10^{-4} \text{ рад.}$$

$$\varepsilon'' = \varepsilon \cdot \rho'' = 1,4 \cdot 10^{-4} \cdot 206\,265'' = 30''.$$

Отсюда следует, что допустимая ошибка юстировки уровня равна $\pm 30''$, что соответствует одному делению уровня, цена которого τ равна $30''$.

Погрешность юстировки уровня $\varepsilon = \pm 30''$ соответствует $\pm 0,025$ оборота установочного винта продольного уровня и $\pm 0,010$ оборота поперечного уровня.

Настройку гравиметра на минимум чувствительности к наклону можно выполнить тремя способами.

3.1.1. Первый способ настройки уровней

Гравиметр устанавливают на жесткое основание так, чтобы поперечный уровень 2 (рис. 3.3, а), ось 11 которого параллельна оси 3 вращения рычага маятника 4 и линии, соединяющей два подъемных винта 1–1, находился по направлению к оператору (наблюдателю). Продольный уровень 7 расположен по направлению к третьему винту 6. Его ось симметрии 10 параллельна рычагу 4 и изображению индекса маятника 9 в поле зрения окуляра 5.

Нивелирование производят следующим образом.

1. Вращением подъемного винта 6 приводят в нуль-пункт пузырек продольного уровня.

2. Затем вращением винтов 1–1 в разные стороны: левого – против хода часовой стрелки, а правого – по ходу, приводят в нуль-пункт пузырек поперечного уровня.

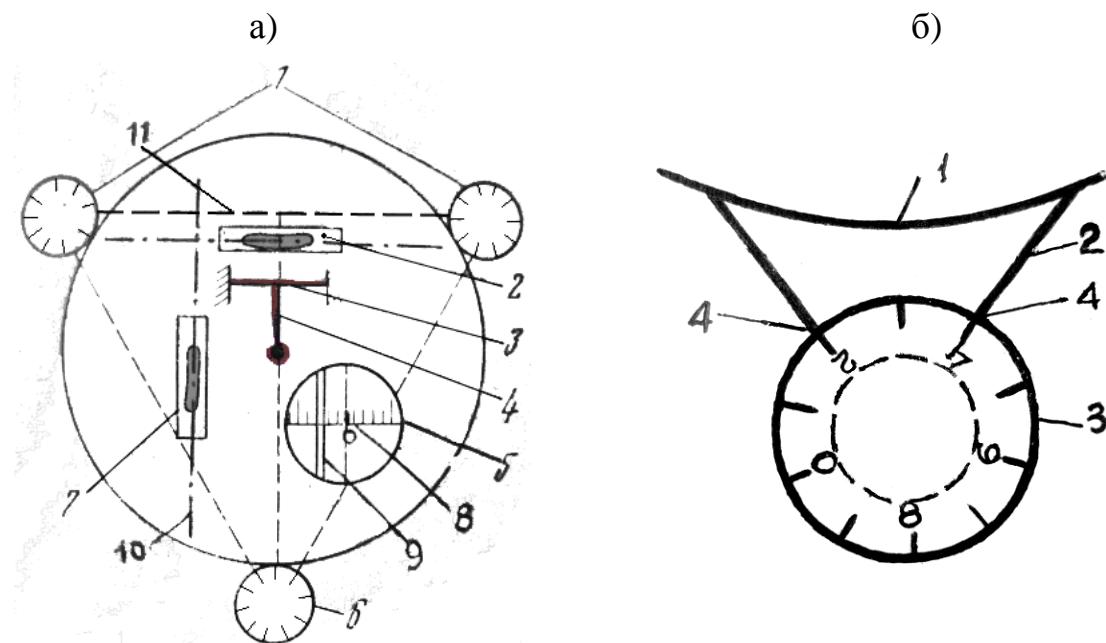


Рис. 3.3. Система нивелирования гравиметра: а) схема расположения уровней на верхней панели гравиметра; б) разметка головки подъёмного винта

На рис. 3.3, а: 1,6 – подъемные винты; 2 – поперечный уровень; 3 – нить подвеса маятника; 4 – рычаг маятника; 5 – поле зрения окуляра; 7 – продольный уровень; 8 – окулярная шкала; 9 – индекс маятника; 10 и 11 – оси симметрии уровней: продольного и поперечного, соответственно.

На рис. 3.3, б: 1 – корпус гравиметра, 2 – «прилив» к корпусу, 3 – головка подъемного винта с делениями, 4 – положения отсчетного индекса.

Если уровни отьюстированы, то при приведении их пузырьков в уль-пункт будет выполнено основное условие гравиметра – ГПГ будет горизонтальной.

Теоретически, горизонтальному положению ГПГ соответствует отсчет по головке подъемного винта $n_0^T = 0$. Практически же отсчет $n_0^T \neq 0$.

Настройку гравиметра на минимум чувствительности к наклону начинают с юстировки продольного уровня в следующей последовательности.

1. Составляют и записывают в подготовленную таблицу (прил. 2) программу выполнения исследований – последовательность наклонов гравиметра относительно вертикали в плоскости колебания маятника в долях оборота установочных винтов.

Головка подъемного винта разделена на 10 делений. Одно деление соответствует углу наклона на 0,1 оборота, или на $2'$ (минуты дуги).

Обычно для повышения точности определения ϵ гравиметр наклоняют от вертикали в обе стороны на шесть делений ($n = 6$), с шагом $\Delta n = 2$ деления.

Угол наклона отчитывают с помощью индекса на корпусе прибора. В качестве такового используется место сопряжения прилива 2 к корпусу гравиметра 1 и головки подъемного винта 3 (обозначено 4 на рис. 3.3, б).

Принято считать вращение измерительного винта по ходу часовой стрелки положительным (+), а против – отрицательным (-).

С учетом сказанного, программа исследования продольного уровня (теоретическая) запишется в виде (прил. 2, табл. П.2.1, графа 2):

$$n^T \rightarrow 0; +0,6; +0,4; +0,2; 0; -0,2; -0,4; -0,6; 0$$

2. При горизонтальном положении ГПГ наводят изображение индекса маятника на нулевой штрих окулярной шкалы и берут отсчет по шкале гравиметра S_1 , который записывают в графу 7. Время взятия отсчета t_1 записывают в графу 5 табл. П.2.1, прил. 2.

3. Вращением подъемного винта по часовой стрелке устанавливают на головке подъемного винта отсчет $n^T = +0,6$ и берут отсчеты по гравиметру и по часам S_2 и t_2 соответственно.

Далее, вращая измерительный винт против часовой стрелки с шагом 2 деления выполняют измерения на установках, записанных в программе (графа 2 в табл. П.2.1, прил. 2).

4. Цикл измерений завершается на установке $n_0^T = 0$ и составляет прямой ход.

5. При исследовании поперечного уровня гравиметра наклон осуществляется одновременным вращением двух подъемных винтов в разные стороны с шагом $\Delta n = 0,1$ оборота. При этом пузырек продольного уровня должен оставаться в нуль-пункте.

Программу исследования поперечного уровня (для теоретических установок) можно записать в виде:

$$n^T \rightarrow 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8 \\ 0; \frac{+0,3}{-0,3}; \frac{+0,2}{-0,2}; \frac{+0,1}{-0,1}; 0; \frac{-0,1}{+0,1}; \frac{-0,2}{+0,2}; \frac{-0,3}{+0,3}; 0.$$

Здесь числа в числителе соответствуют правому подъемному винту, а в знаменателе – левому. Ошибку, с которой установлены уровни (угол ϵ), можно определить или графически, построив параболу по материалам наблюдений, или аналитически – по формуле (3.5).

6. Перед построением параболы необходимо в результаты измерений ввести поправки за смещение нуль-пункта гравиметра $\delta S_{\text{пп}}$: получить исправленный отсчет S^{ucsp} .

Для этого по отсчетам S_i и t_i , взятым по гравиметру при $n_0^T = 0$, строят график зависимости S от t (рис. 3.4).

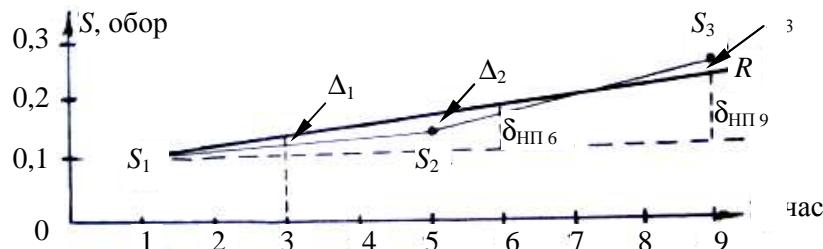


Рис. 3.4. Иллюстрация графического способа определения поправок за смещение нуль-пункта гравиметра $\delta S_{\text{пп}}$

7. Проводят редукционную прямую R под условием

$$\sum \Delta_i^2 = \min,$$

где Δ_i – уклонение измеренных значений $(S_0)_i$ от R .

8. Снимают с графика поправки $(\delta S_{\text{пп}})_i$ и вводят их в результаты измерений S_i^{uzm} :

$$S_i^{ucsp} = S_i^{uzm} + (\delta S_{\text{пп}})_i.$$

9. Для продольного уровня параболу строят по S_i^{ucsp} в прямом ходе.

Для поперечного уровня парабола строится по средним значениям (\bar{S}_i^{ucsp}) , исправленным за смещение нуль-пункта:

$$\bar{S}_i^{ucnp} = \frac{(S_i^{ucnp})^P + (S_i^{ucnp})^O}{2},$$

где буквами P и O обозначены результаты измерений в прямом и обратном ходах.

Если ось симметрии параболы совпадает с осью ординат (S), ГПГ горизонтальна. Если вершина параболы смещена относительно начала координат, находят ось симметрии параболы и определяют по графику величину ε (рис. 3.5).

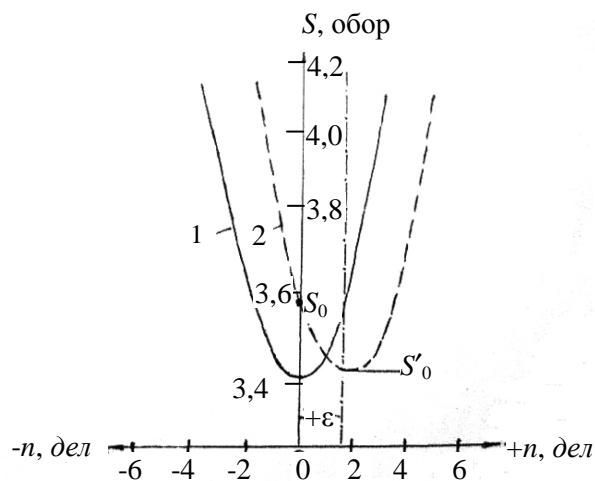


Рис. 3.5. Графики зависимости отсчетов S по гравиметру ГНУ-КВ № 44 от угла наклона n : 1) по продольному уровню; 2) по поперечному уровню

10. Определяют отсчет по головке подъемного винта n^{ucnp} , при котором парабола симметрична:

$$n^{ucnp} = n_0 + \varepsilon.$$

11. Исправленный отсчет устанавливают на головке подъемного винта. Если при $n_0 = 0$ пузырек уровня был в нуль-пункте, то при n^{ucnp} он сместится.

12. Исправительными винтами уровня приводят пузырек в нуль-пункт. При этом один исправительный винт вывинчивают, а другой ввинчивают.

13. После юстировки выполняют контрольные измерения. Гравиметр наклоняют от вертикали на одинаковое количество делений n и берут отсчеты S^{+n} и S^{-n} .

14. Если расхождение между отсчетами в допуске

$$\Delta S = S^{+n} - S^{-n} \leq 0,020 \text{ обор.},$$

то уровень настроен на минимум чувствительности к наклону.

3.1.2. Второй способ настройки уровней

1. Установить уровни в нулевое положение и совместить маятник с исходным (отсчетным) штрихом окулярной шкалы.

2. Установочными винтами прибора отклонить пузырек одного из уровней вправо или влево на два деления, наблюдая за положением маятника на окулярной шкале. Если при этом заметного смещения маятника не произойдет, или в обоих случаях он отклонится на малую величину в сторону уменьшения силы тяжести (вправо), можно считать, что нарушения регулировки данного уровня нет.

Следует помнить, что при отклонении пузырька одного из уровней пузырек второго уровня должен оставаться в нулевом положении.

Если пузырек второго уровня смещается, то его нужно поправить с помощью установочного винта. В том случае, когда при отклонении пузырька уровня в одну или другую сторону индекс маятника будет перемещаться в разные стороны от нулевого штриха окулярной шкалы, имеет место нарушение регулировки уровня на минимум чувствительности к наклону.

3. Подъемными винтами отвести пузырек неотрегулированного уровня на несколько делений в сторону увеличения силы тяжести (влево). Затем вращением микровинта совместить маятник с исходным положением на окулярной шкале, а пузырек уровня исправительными винтами (при помощи отвертки) привести в нулевое положение. Снова подъемными винтами отклонить пузырек уровня в ту же сторону и опять совместить маятник с исходным положением на окулярной шкале, а уровень привести в нулевое положение. Так нужно делать до тех пор, пока маятник при очередном наклоне прибора не отклонится в сторону уменьшения силы тяжести. Уровень считается отрегулированным, если отклонение его пузырька (наклон прибора) в любую сторону вызовет смещения маятника (блика) в сторону уменьшения силы тяжести от исходного положения или не вызовет никакого смещения.

4. Второй уровень регулируется таким же образом. После регулировки второго уровня необходимо снова проверить правильность установки первого уровня.

3.1.3. Третий способ настройки уровней

Часто настройку уровней проводят по сокращенной программе. Для этого необходимо выполнить следующие процедуры.

1. Наклонить гравиметр на n_1^+ делений подъемного винта и взять отсчет по шкале гравиметра (S_1^+).

2. Наклонить гравиметр в другую сторону на (n_2^-) делений подъемного винта и взять отсчет (S_2^-), $n_1^+ = n_2^-$.

3. Если (S_1^+) и (S_2^-) отличаются более чем на 20 делений, уровень требует юстировки.

4. Вычислить средний отсчет по гравиметру: $\bar{S} = \frac{(S_1^+) + (S_2^-)}{2}$.
5. Установить \bar{S} на отсчетном устройстве гравиметра.
6. Вращением подъемного винта, которым производили наклон гравиметра, вывести индекс маятника на нулевое (0) деление окулярной шкалы.
7. Исправительными винтами уровня вывести пузырек в нуль-пункт.
8. Для контроля повторить эту поверку. При этом разница (S_1^+ и S_2^-) не должна превышать 20 делений отсчетной шкалы.

3.2. Определение масштабного коэффициента гравиметра

Для перевода отсчетов по гравиметру в оборотах ($S_{\text{обор.}}$) в мГал необходимо знать цену оборота измерительного винта C , мГал/оборот – масштабный коэффициент.

Процесс определения C называется эталонированием гравиметра. Этalonирование выполняется обязательно перед началом и после окончания полевых работ. Существует 3 способа эталонирования гравиметров.

1. На пунктах гравиметрического полигона:

$$C = \frac{\Delta g}{\Delta S}, \text{ мГал/обор.,} \quad (3.6)$$

где $\Delta g = g_2 - g_1$; $\Delta S = S_2 - S_1$;

g_1, g_2 и S_1, S_2 – значения ускорений силы тяжести и отсчеты по гравиметру на пунктах гравиметрического полигона, соответственно.

Чтобы определить масштабный коэффициент всей отсчетной шкалы гравиметра типа ГНУ-К, необходимо иметь разность силы тяжести (Δg) между крайними пунктами полигона согласно ГОСТ 13017-83 [9] не менее 80 мГал. Необходимое приращение Δg можно «набрать» или за счет разности высот

точек H^γ : $\Delta g = -\frac{\delta\gamma}{\delta H} H^\gamma = -0,3086 H^\gamma$, или за счет изменения нормального поля силы тяжести с широтой (5,2 мГал/10 км), расположив пункты полигона вдоль меридиана.

Погрешность определения силы тяжести (m_g) на пунктах полигона должна

быть около 0,01 мГал. Относительная погрешность $-\delta = \frac{m_g}{\Delta g}$ должна быть не более $(1,7; 2,6 \text{ и } 5,0) \cdot 10^{-4}$ для гравиметров классов А, В и С, соответственно.

Коэффициент C должен быть определен не менее чем в шести независимых рейсах. При вычислении C обязательно учитывается поправка за приливное влияние Луны и Солнца (δg_n).

Среднее значение цены оборота измерительного винта гравиметра определяется как средневесовое по формуле:

$$\bar{C} = \frac{\sum_{i=1}^n C_i \cdot \Delta g_{i,0}}{\sum_{i=1}^n \Delta g_{i,0}}, \quad (3.7)$$

где C_i – коэффициент, вычисленный для каждой разности $\Delta g_{i,0}$ между начальным (0) и i -м пунктом полигона.

Относительная погрешность определения среднего значения \bar{C} вычисляется по формуле:

$$\delta \bar{C} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (C_i - \bar{C})^2}{C^2 \cdot n(n-1)}}, \quad (3.8)$$

где n – число независимых рейсов.

2. Способ навески дополнительной массы

Если взять отсчет по гравиметру – S_1 , а затем поместить на конец рычага маятника дополнительную массу, которая увеличивает момент силы тяжести на известную величину (например, на 200 мГал) и при этом взять отсчет S_2 , то

$$C = \frac{200 \text{ мГал}}{(S_2 - S_1)_{\text{обор}}}.$$

Этим способом определяется C у гравиметров с металлической упругой системой, типа GS – 11.

3. Способ наклона

В основе этого способа лежит зависимость изменения отсчета по гравиметру от угла наклона, которая описывается уравнением параболы (3.1):

$$\Delta g = \frac{1}{2} g \beta^2.$$

Если S_0 – отсчет по гравиметру при горизонтальном положении ($\beta^\circ = 0$) (рис. 3.6), а S_i при $\beta^\circ \neq 0$ и C – цена оборота измерительного винта, то можно записать:

$$g = C \cdot S_0 \text{ при } \beta^\circ = 0; \quad (3.9)$$

$$g \cdot \cos \beta_i = C \cdot S_i \text{ при } \beta^\circ \neq 0. \quad (3.10)$$

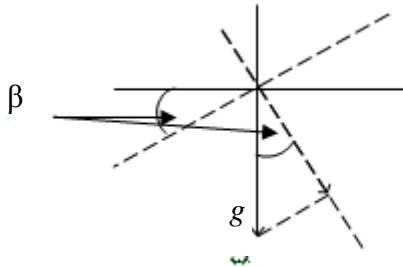


Рис. 3.6. Иллюстрация к определению величины C способом наклона

Вычитая формулу (3.10) из выражения (3.9), получим:

$$g(1 - \cos\beta_i) = C(S_0 - S_i). \quad (3.11)$$

Так как

$$(1 - \cos\beta_i) = 2 \sin^2 \frac{\beta_i}{2}, \quad (3.12)$$

то с учетом (3.12) выражение (3.11) примет вид:

$$2g \sin^2 \frac{\beta_i}{2} = C(S_0 - S_i). \quad (3.13)$$

По малости β_i , разложив левую часть равенства (3.13) в ряд и ограничиваясь первым членом разложения, получим:

$$g \frac{\beta_i^2}{2} = C \cdot (S_0 - S_i) = C \cdot \Delta S_i. \quad (3.14)$$

Отсюда, имея ввиду, что $\Delta S_i = S_0 - S_i$, находим:

$$C_i = \frac{g \beta_i^2}{2 \Delta S_i}. \quad (3.15)$$

Наклоны гравиметра задают в делениях подъемного винта. Переход от деления к радианам производится по формуле:

$$\beta_i = \mu \cdot n^T,$$

где $\mu = a/d$;

$a = 0,75$ мм – шаг установочного (подъемного) винта;

$d = 125$ мм – база гравиметра ГНУ-КВ.

С учетом этого выражение (3.15) запишется в виде:

$$C_i = \frac{g}{2} \cdot \mu^2 \left(n_i^T \right)^2.$$

Если обозначить выражение $\frac{1}{2} \cdot g \frac{a^2}{d^2} = K$, то можно записать:

$$C_i = \frac{K \left(n_i^T \right)^2}{\Delta S_i}. \quad (3.16)$$

В этом способе наклон гравиметра осуществляется поворотом подъемного винта, т. е. угол наклона β определяется приближенно, а значит, приближенно определяется и цена оборота измерительного винта. Следует также заметить, что определение C приближенным способом можно производить лишь после настройки гравиметра на минимум чувствительности к наклону по уровням.

Для определения ***точного*** значения цены оборота измерительного винта C методом наклона существует установка эталонирования гравиметров (полевая) (УЭГП-3), в которой угол наклона гравиметра (β) измеряется с помощью оптической системы теодолита ОТ-02 с погрешностью $m_\beta = \pm 0,5''$.

Зависимость показаний гравиметра в мГал является неизвестной нелинейной функцией его отсчета и температуры, которую можно представить в виде:

$$g_i^S = C \cdot S_i + f(S_i), \quad (3.17)$$

где g_i^S – отсчет по шкале гравиметра, мГал;

C – цена оборота измерительного винта гравиметра, мГал/обор.

S_i – отсчет по шкале гравиметра в оборотах измерительного винта, обор.;

$f(S_i)$ – поправка в отсчет по гравиметру за нелинейность шкалы микрометра, мкГал.

Эталонирование гравиметра ГНУ-К методом наклона на УЭГП состоит из следующих основных этапов:

1. Проверка и юстировка УЭГП.
2. Установка и регулировка гравиметра на УЭГП.
3. Эталонирование гравиметра.
4. Обработка измерений.
5. Определение зависимости цены оборота микровинта от температуры.

Цена оборота измерительного винта вычисляется по формуле:

$$C = \frac{\sum_1 \Delta g_i}{\sum_2 \Delta S_i}, \text{ мГал/обор.}, \quad (3.18)$$

где $\Delta g_i = g_i^S - g_1^S$;

$$g_i^S = \left[\left(\cos \frac{\beta_i^+ - \beta_i^-}{2} \right) - 1 \right] \cdot 98000;$$

$$\Delta S_i = S_i - S_1,$$

$$f(S_i) = (\Delta C \cdot a)_i - l'_i;$$

$$a_i = \bar{S} - S_i;$$

$$\bar{S} = \frac{\sum S_i}{n};$$

$$l'_i = l_i - C \cdot a_i;$$

$$l = \bar{g}^S - g_i^S;$$

$$\Delta C = \frac{[al]}{[aa]};$$

β – угол наклона;

n – количество измерений.

Методика эталонирования гравиметров на УЭГП и обработка результатов измерений приведены в методических указаниях [23].

3.3. Определение цены оборота диапазонного винта

Цену оборота диапазонного винта определяют на УЭГП. Гравиметр устанавливают так, чтобы ось поперечного уровня расположилась вдоль оси вращения «стакана» (термостата). Прибор нивелируют. С помощью отвертки поворачивают диапазонный винт на 1–2 оборота так, чтобы индекс маятника сместился влево (в тяжелую сторону). Затем, вращая микровинт УЭГП, наклоняют прибор до тех пор, пока индекс маятника не появится в поле зрения окуляра. Цену оборота диапазонного винта определяют по формуле:

$$C_d = \frac{g\beta^2}{n}, \text{ мГал/оборот,} \quad (3.19)$$

где g – ускорение силы тяжести в месте эталонирования;

β – угол наклона прибора, в радианах;

n – количество оборотов диапазонного винта.

3.4. Определение коэффициента смещения нуль-пункта гравиметра

Смещение нуль-пункта гравиметра δg_{nn} – это изменение показания гравиметра Δg , мГал на одном и том же пункте за интервал времени ΔT , час:

$$\delta g_{nn} = \frac{\Delta g}{\Delta T} K_T = \frac{(C \cdot \Delta S)}{\Delta T} \cdot \Delta t_i, \quad (3.20)$$

где K_T – коэффициент смещения нуль-пункта;

$\Delta S = S_i^H - S_i^K$ – разность отсчетов по гравиметру на одноименных точках за интервал времени $\Delta T = T_K - T_H$ в начале (H) и в конце (K) исследования;

$\Delta t_i = T_i - T_1$ – приращение времени относительно времени измерений на первом пункте;

C – цена оборота измерительного винта.

Коэффициент K_T можно определить двумя способами: аналитическим или графическим.

3.4.1. Аналитический способ

Используя повторные наблюдения на одноименных пунктах, составляют уравнения поправок вида:

$$\begin{aligned}\Delta S_1 - K_T \cdot \Delta T_1 &= v_1; \\ \Delta S_2 - K_T \cdot \Delta T_2 &= v_2;\end{aligned}\tag{3.21}$$

$$\Delta S_i - K_T \cdot \Delta T_i = v_i;$$

где v_i – остаточная погрешность, обусловленная ошибками взятия отсчета, или нивелирования, или влияния микросейсм.

Решают систему уравнений по способу наименьших квадратов под условием $[vv] = \min$:

$$f(K_T) = \sum (\Delta S_i - K_T \cdot \Delta T_i)^2 = \sum \Delta S_i^2 - 2 K_T \sum \Delta S_i \Delta T_i + K_T^2 \sum \Delta T_i^2. \tag{3.22}$$

Взяв производную от $f(K_T)$ по K_T и учитывая, что

$$\frac{df(K_T)}{d(K_T)} = 0,$$

получают

$$f'(K_T) = -2 \sum \Delta S_i \Delta T_i + 2 K_T \sum \Delta T_i^2 = 0. \tag{3.23}$$

Откуда

$$K_T = \frac{\sum (\Delta S_i \Delta T_i)}{\sum (\Delta T_i^2)}. \tag{3.24}$$

Согласно ГОСТ 13017–83 смещение нуль-пункта гравиметров класса В и С не должно превышать 2 мГал за сутки [9].

3.4.2. Графический способ

Этот способ позволяет быстро, без вычислений определять поправку за смещение нуль-пункта гравиметра $\delta g_{\text{НП}}$.

Сущность этого метода в следующем.

1. Отсчеты гравиметра в оборотах переводят в мГал.
2. По результатам измерений на контрольных пунктах строят графики смещения нуль-пункта для одноименных точек, на которых выполнено повторное измерение (рис. 3.7).

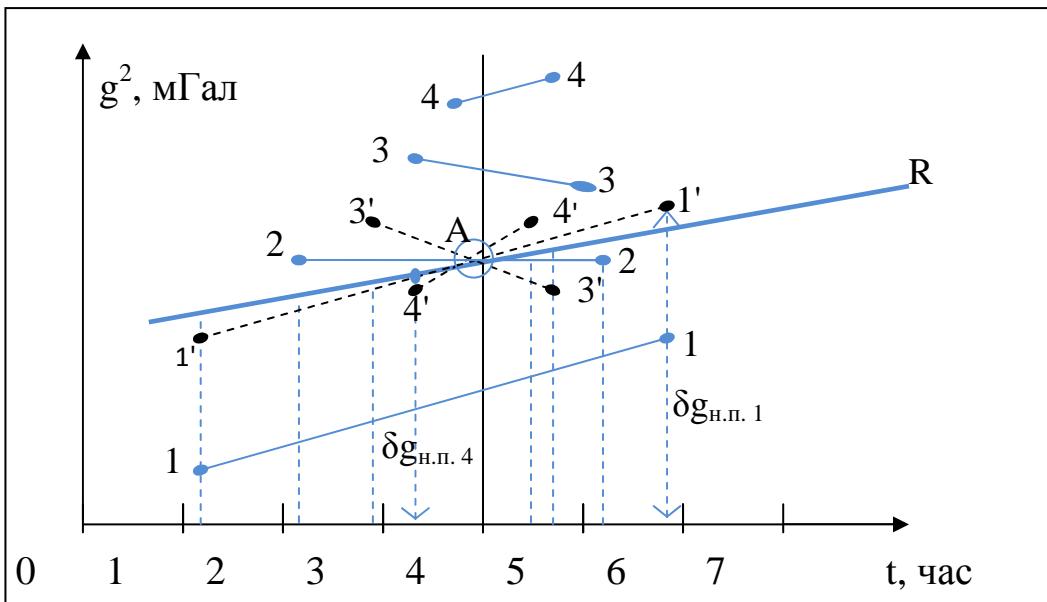


Рис. 3.7. Графический способ определения поправки за смещение нуль-пункта гравиметра

3. Проводят линию перпендикулярно оси времени t так, чтобы она пересекла все отрезки смещения нуль-пункта на контрольных точках.
4. Параллельным переносом смещают все отрезки в одну точку (A).
5. Проводят редукционную прямую R под условием $[vv] = \min$, где v — уклонение концов отрезков от R .
6. Поправки за смещение нуль-пункта $(\delta g_{\text{н.п.}})_i$ — расстояние от R до оси времени, мГал.

3.5. Определение чувствительности и порога чувствительности гравиметра

Чувствительностью гравиметра называется отношение перемещения индекса маятника упругой системы по окулярной шкале к изменению силы тяжести.

Чем выше чувствительность, тем точнее может быть совмещен индекс с нулевым штрихом окулярной шкалы. Увеличение чувствительности ведет к увеличению периода T собственных колебаний маятника, что удлиняет время наблюдения на пункте. Чувствительность увеличивается при смещении нуля окулярной шкалы в сторону увеличения силы тяжести и уменьшается — в сторону уменьшения силы тяжести. Чувствительность определяют после настройки гравиметра на минимум чувствительности к наклону по уровням.

Гравиметр устанавливают на жесткое основание, дают выдержку в несколько часов, пока не стабилизируется изменение нуль-пункта.

Далее снимают отсчеты по гравиметру, последовательно наводя индекс маятника на следующие деления: «0» окулярной шкалы $-S_0$, затем на 10 штрих слева от «0» $-S_{-10}$, потом на 10 штрих справа от «0» $-S_{+10}$, и снова по

нулевому штриху окулярной шкалы – S'_0 . На каждом штрихе «берут» по три отсчета и записывают время их взятия.

Программа наблюдений при выполнении данного исследования записывается следующим образом.

1. Отсчеты(обор.): $S_0, S_{-10}, S_{+10}, S_0, S_{-10}, S_{+10}, S_0, S_{-10}, S_{+10}, S_0$.
2. Время (h, m): $t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6, t_7, t_8, t_9, t_{10}$.

По средним отсчетам на нулевых штрихах вычисляют поправку $\delta g_{\text{НП}}$, а по крайним – чувствительность:

$$(\delta g_{\text{НП}})_i = K \cdot \Delta t_i, \quad (3.25)$$

$$\text{где } K = \frac{\sum_{i=1}^n (\Delta S_i \cdot \Delta T_i)}{\sum_{i=1}^n (\Delta T_i)^2};$$

$$\Delta S_i = (S_0)_i - (S_0)_{i+1};$$

$$\Delta T_i = (t_0)_{i+1} - (t_0)_i; \Delta t_i = t_i - t_1.$$

Вычислив поправки за смещение нуль-пункта гравиметра, получают исправленные отсчеты по гравиметру:

$$S_i^{\text{испр.}} = S_i^{\text{изм.}} + (\delta g_{\text{НП}})_i. \quad (3.26)$$

Далее вычисляют средние отсчеты на штрихах (+10) и (-10):

$$\bar{S}^{\text{испр.}} = \frac{\sum S_i^{\text{испр.}}}{3}. \quad (3.27)$$

И, наконец, вычисляют чувствительность гравиметра:

$$q = \frac{\Delta \cdot n}{C(\bar{S}_{+10}^{\text{испр.}} - \bar{S}_{-10}^{\text{испр.}})} \geq 2,5 \text{ мм/мГал},$$

где Δ – расстояние (видимое) между штрихами окулярной шкалы,

$\Delta = 0,1 \text{ мм} \times 20^x = 2 \text{ мм}$, ($0,1$ – истинное расстояние между штрихами окулярной шкалы; 20^x – увеличение окуляра);

n – количество отсчетов на каждом штрихе.

Чувствительность гравиметра может изменяться от пункта к пункту. Допуск – 15 % при разности $\Delta g \leq 500$ мГал.

Под **порогом чувствительности** (σ) понимают среднюю квадратическую погрешность (СКП) взятия отсчета по гравиметру. Ее вычисляют как СКП двух соседних отсчетов:

$$\sigma_i = S_2 - \frac{S_1 + S_3}{2}, \quad (3.29)$$

где S_1, S_2, S_3 – последовательные отсчеты по гравиметру;

σ_i – СКП взятия отсчета.

Порог чувствительности вычисляют по формуле:

$$\sigma = C \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \sigma_i^2}{n}}. \quad (3.30)$$

3.6. Определение времени переходного процесса или становления отсчета

Под действием переменных нагрузок во время транспортировки чувствительная система гравиметра сильно возбуждается. В результате колебаний изображение маятника на окулярной шкале становится нечетким (размытым), что мешает точному наведению индекса маятника на нуль окулярной шкалы. Поэтому, перед снятием отсчета по гравиметру требуется время для успокоения системы – «время становления отсчета». Оно определяется следующим образом.

Гравиметр устанавливают на вибростенд и подвергают вибрации с частотой 20 Гц и амплитудой около 0,2 мм в течение 10 минут. Затем, в течение 20 минут берут отсчеты по гравиметру через 1 минуту. Отсчеты переводят в мГал и вычисляют Δg :

$$\Delta g_i = C \cdot \Delta S_i, \text{ (мГал)}, \quad (3.31)$$

где $\Delta S_i = S_i - S_0$ (обор.).

По результатам вычислений строят график зависимости Δg от t^m (рис. 3.8).

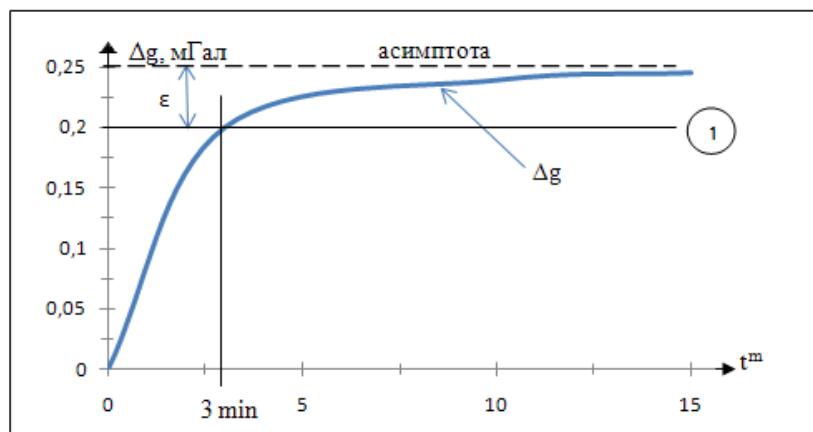


Рис. 3.8. Иллюстрация определения времени становления отсчета

Погрешность единичного измерения силы тяжести ε берется из ГОСТ 13017–83 [9].

Проводят асимптоту к кривой Δg . Далее на расстоянии ε от асимптоты проводят прямую 1, параллельную оси абсцисс t^m . Через точку пересечения

линии 1 с кривой Δg проводят перпендикуляр к оси абсцисс, который отсчет время становления отсчета t_{cm} . Допустимая величина $t_{cm} \leq 3$ min. Чем меньше t_{cm} , тем лучше гравиметр.

3.7. Определение верхнего предела измерений силы тяжести без перестройки диапазона гравиметра

Возможно несоответствие фактического диапазона измерения силы тяжести гравиметром и данного в паспорте прибора. Поэтому необходимо точно знать его величину и рабочие обороты микровинта, чтобы надежно планировать объемы работ на день.

1. Микровинтом устанавливаем на счетчике оборотов отсчет 0,000 оборотов.

2. Индекс маятника «уйдет» влево (в сторону увеличения силы тяжести).

3. Вращением диапазонного винта против часовой стрелки (в сторону, где находится маятник) выводим изображение индекса на середину окулярной шкалы, не доводя до нулевого штриха на 1–2 деления слева.

4. Вращением измерительного винта наводим изображение индекса точно на нуль окулярной шкалы и берем отсчет по шкале гравиметра (S_{min}).

5. Микровинтом устанавливаем на счетчике оборотов максимальный отсчет – 15 обор.

6. Маятник «уйдет» вправо (в сторону уменьшения силы тяжести).

7. Вращением диапазонного винта по часовой стрелке, выводим изображение маятника на середину окулярной шкалы, не доводя на 1–2 деления до нуля окулярной шкалы справа и берем отсчет по гравиметру.

8. Наводим микровинтом индекс маятника точно на нуль окулярной шкалы и снимаем отсчет (S_{max}):

$$\Delta g = |(S_{max} - S_{min}) \cdot C| \geq 100 \text{ мГал.} \quad (3.32)$$

При выполнении полевых работ не рекомендуется «работать» на крайних оборотах измерительного винта.

3.8. Исключение влияния люфта («мертвого хода») измерительного винта

В процессе работы резьба микровинта истирается и появляется люфт, наличие которого приводит к ошибке в отсчете. Люфт может приводить к ошибке в отсчете до нескольких десятых долей оборота микровинта. Для исключения влияния «мертвого хода» необходимо всегда наводить изображение маятника на нуль окулярной шкалы вращением микровинта по часовой стрелке. Смещать индекс маятника вращением микровинта против часовой стрелки.

3.9. Определение температурного коэффициента гравиметра

Температурный коэффициент гравиметра (α_C) получают одновременно с определением цены оборота измерительного винта (C). C – определяют на УЭГП в термокамере при 3-х температурах с шагом $\Delta T = 10^\circ$. Например, для летних работ $T = 10, 20, 30^\circ\text{C}$. Причем, при каждой температуре « \bar{C} » определяют не менее чем из трех приемов. Строят график зависимости C , полученной как среднее из трех приемов, от $T, ^\circ\text{C}$ (рис. 3.9).

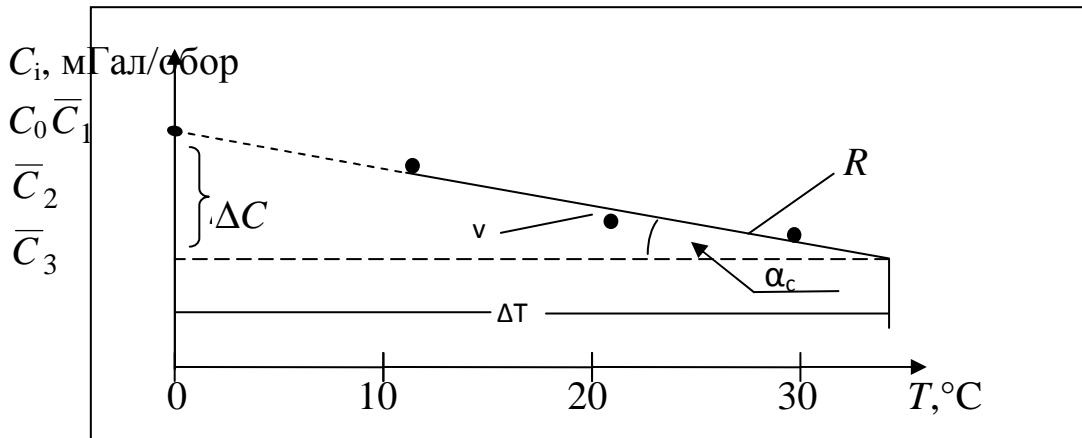


Рис. 3.9. График изменения цены оборота измерительного винта от температуры

Проводят редукционную прямую R через точки \bar{C}_i при условии $[vv] = \min$. R продолжают до пересечения с осью C и получают значение C_0 при $T = 0^\circ\text{C}$. Коэффициент α_C есть ничто иное, как $\alpha_C = \tan \frac{\Delta C}{\Delta T}$ – температурный коэффициент цены оборота микровинта гравиметра, в мГал/(оборот · градус).

При обработке гравиметрического рейса цену оборота измерительного винта необходимо вычислять для каждой температуры T_i гравиметра по формуле:

$$C_t = C_0 + \alpha_C \cdot \Delta T_i, \quad (3.33)$$

где $\Delta T_i = (T_i - T_0)^\circ\text{C}$.

По ГОСТ 13017–83 величина $\alpha_C \leq 0,5 \text{ мГал}/1^\circ\text{C}$ [9].

3.10. Определение барометрического коэффициента гравиметра

Измерения с гравиметром проводят в барокамере (рис. 3.10). При этом соблюдается следующая последовательность действий.

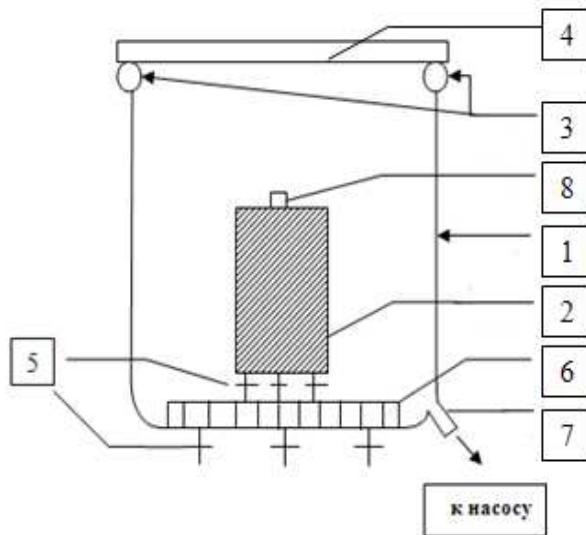


Рис. 3.10. Схема устройства барокамеры для исследования гравиметров

1. Гравиметр (2) устанавливают на дно 6 барокамеры 1 и нивелируют его.
2. Совмещают подвижный индекс маятника с нулем окулярной шкалы и берут отсчеты по гравиметру S_1 в оборотах микровинта и давление воздуха по барометру P_1 мм рт. ст.
3. Закрывают барокамеру толстым прозрачным оргстеклом 4, укладывая последнее на кольцо из вакуумной резины 3.
4. С помощью вакуумного насоса откачивают воздух из барокамеры через вакуумный кран с манометром 7, понижая давление на 300–400 мм рт. ст.
5. Глядя через оргстекло в окуляр гравиметра 8, отмечают смещение индекса маятника в делениях окулярной шкалы и давление P_2 внутри барокамеры.
6. Открывают барокамеру, наводят микровинтом изображение индекса маятника на тот штрих окулярной шкалы, который был отмечен при закрытой барокамере и берут отсчет по гравиметру S_2 .
7. Барометрический коэффициент вычисляют по формуле:

$$K_B = \frac{C(S_1 - S_2)}{P_1 - P_2} \frac{\text{мГал}}{\text{мм рт.ст.}}. \quad (3.34)$$

По ГОСТ 13017–83 величина $K_B \leq 1,6$ мГал/мм рт. ст. [9].