Доклады Академии наук СССР
1970. Том 195, № 6

УДК 528.563 *ГЕОФИЗИКА*

В. А. КУЗИВАНОВ, И. А. МАСЛОВ, И. И. НАУМЕНКО-БОНДАРЕНКО,
В. В. РАТУШНЫЙ

ОБ ИЗМЕРЕНИИ УСКОРЕНИЯ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ ГРАВИМЕТРОМ НА ПОДВИЖНОМ ОСНОВАНИИ

(Представлено академиком М. А. Садовским 18 V 1970)

Основные трудности, возникающие при измерении ускорения силы тяжести на подвижном основании, обусловлены большими воздействиями инерциальных ускорений и наклонов основания гравиметра на показания его чувствительной системы. Эти влияния могут достигать сотни и тысячи миллигал, в то время как величина искомого приращения Δg ускорения силы тяжести редко превышает несколько десятков миллигал.

Для уменьшения влияния знакопеременных инерциальных ускорений на показания чувствительной системы гравиметра ее помещают в сильнодемпфирующую среду. Априорно предполагается, что за промежуток времени 10—20 мин. наблюдения среднее значение влияния таких ускорений равняется нулю. Недостатком принятой методики является весьма малая производительность и низкая деятельность гравиметрической съемки.

Ниже предлагается один из подходов к реализации детальных гравиметрических съемок на морях, основанный на определении дискретных значений показаний чувствительной системы гравиметра в моменты, когда влияние знакопеременных инерциальных ускорений на показания маятника близко нулю.

Способ основан на том, что движение сильнодемпфированного маятника отличается по фазе от инерциальной силы, обусловленной волнением моря, примерно на $\pi / 2$.

Сравним показания двух идентичных сильнодемпфированных маятников, которые отличаются только в степени демпфирования и имеют одинаковую статическую и различную динамическую чувствительности.

Пусть на маятники действуют вертикальные ускорения $\ddot{z} = \ddot{z}_0 \sin \omega t$.

Дифференциальное уравнение движения маятника приближенно можно представить в виде

$$\ddot{\varphi} + 2\lambda\dot{\varphi} + n^2\varphi = \frac{\ddot{z}_0}{l}\sin \omega t. \qquad (1)$$

Для случая сильнодемпфированного маятника, когда $2\lambda \gg n^2$, в (1) можно пренебречь $\ddot{\varphi}$. Решение уравнения (1) (без члена, выражающего переходный процесс, которым пренебрегаем), имеет вид

$$\varphi = \frac{\ddot{z}_0}{l\sqrt{n^4 + 4\lambda^2\omega^2}}\sin\left(\omega t - \operatorname{arc\,tg}\frac{2\lambda\omega}{n^2}\right). \qquad (2)$$

Примем следующие параметры маятников: коэффициенты демпфирования $2\lambda_1 = 5000$ сек$^{-1}$, $2\lambda_2 = 10000$ сек$^{-1}$, квадрат собственной частоты $n_1^2 = n_2^2 = n^2 = 100$ сек$^{-2}$, приведенная длина $l_1 = l_2 = l = 2$ см. Волновая частота (частота качки надводного судна) $\omega = 1$ сек$^{-1}$.

Подставляя эти значения в (2), находим, что сдвиг фазы у одного маятника равен 89°, а у другого 89°,5. Амплитуды их отличаются друг от друга в два раза. Точки пересечения показаний этих маятников располагаются вблизи от положения равновесия, которое занимают маятники при воздействии на них лишь ускорения силы тяжести и систематических факторов. Влияние знакопеременных ускорений $\ddot{z}$ в моменты пересечений не превосходит нескольких десятков миллигал, что и позволяет за 1—2 мин. освободиться от этих влияний в показаниях маятников.

Лабораторная проверка справедливости предложенного способа была выполнена с помощью макета двухмаятникового морского гравиметра. Конфигурация маятников и демпфирующие свойства среды были выбраны в соответствии с приведенными выше условиями.

Макет гравиметра, установленный на экзаменатор для определения частотных характеристик морских гравиметров, помещался на платформу испытательного стенда. Изменяя скорость и величину угла наклона основания гравиметра, можно было имитировать изменение аномалий силы тяжести по линейному или синусоидальному закону. Вертикальные ускорения задавались с амплитудой до 30 гал и периодами от 11 до 30 сек.

При действии возмущающих ускорений амплитуды первого маятника значительно отличались от амплитуд второго, но точки пересечения записей находились знакопеременно вблизи линии, характеризующей положение маятников, которое они занимали под действием силы тяжести. По точкам пересечения показаний маятников уверенно прослеживались длиннопериодные аномалии, создаваемые экзаменатором, на фоне значительно превосходящих их по амплитуде короткопериодных возмущений.

Разработка гравиметра с двумя идентичными чувствительными системами, отличающимися только степенью демпфирования, представляет определенные трудности. Между тем, имеются две возможности использования на практике описанного свойства сильнодемпфированных маятников при помощи лишь одного маятника.

Первая из них реализуется при наличии гравиметра, показания которого выдаются в виде электрического сигнала. В этом случае его можно различно «задемпфировать» при помощи двух электрических или электромеханических фильтров, например гальванометров, имеющих одинаковую статическую и разную динамическую чувствительность и включенных параллельно, а затем найти величины этих сигналов в моменты, когда они совпадают друг с другом.

Вторая из указанных возможностей принципиально реализуется при наличии одного реального маятника и введения фиктивного маятника, параметры которого отличаются от параметров реального маятника лишь степенью демпфирования.

Рассмотрим систему дифференциальных уравнений движений этих маятников (как и раньше, уравнение II порядка заменим уравнением I порядка)

$$\begin{aligned} 2\lambda_1 l\dot{\varphi}_1 + n^2 l\varphi_1 &= f(t), \\ 2\lambda_2 l\dot{\varphi}_2 + n^2 l\varphi_2 &= f(t). \end{aligned} \qquad (3)$$

Будем считать, что первое уравнение относится к фиктивному маятнику, второе — к реальному.

Обозначая $\lambda_2 = \lambda_1 + \Delta\lambda$, $\varphi_1 - \varphi_2 = \varphi$, $\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_2 = \dot{\varphi}$ и вычитая из первого уравнения (3) второе, получаем

$$2\lambda_1\dot{\varphi} + n^2\varphi = 2\Delta\lambda\dot{\varphi}_2. \qquad (4)$$

Его решение (без члена, выражающего переходный процесс) имеет вид

$$\varphi(\tau) = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_1}\left[\varphi_2(\tau) - \frac{n^2}{2\lambda_1} e^{-\frac{n^2}{2\lambda_1}\tau} \int \varphi_2(t)\, e^{\frac{n^2}{2\lambda_1}t}\, dt\right]. \qquad (5)$$

Рассмотрим случай, когда показания обоих маятников совпадают, т. е. $\varphi = \varphi_1 - \varphi_2 = 0$

Это имеет место, когда

$$\varphi_2(\tau) = \frac{n^2}{2\lambda_1} e^{-\frac{n^2}{2\lambda_1}\tau} \int \varphi_2(t)\, e^{\frac{n^2 t}{2\lambda_1}}\, dt. \qquad (6)$$

Таким образом, когда мгновенное показание реального маятника $\varphi_2(\tau)$ будет равно его интегральному значению $\frac{n^2}{2\lambda_1} \int \varphi_2(t)\, e^{\frac{n_2}{2\lambda_1}(t-\tau)}\, dt$, то реальный маятник занимает положение, когда влияние инерциальных знакопеременных ускорений на его показания близко нулю, и это положение он принимает под действием лишь ускорения силы тяжести и воздействий, имеющих систематический характер.

Описанный подход к выделению сигнала на фоне больших инерционных ускорений может быть использован для определения ухода гировертикали, т. е. для определения истинного угла наклона основания гравиметра.

Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта
Академии наук СССР
Москва

Поступило
29 IV 1970