где S_d^a, R_2^a, K^a, R_1^a - аналоги операторов S_d, R_2, K, R_1, соответственно, отличие заключается в том, что вводимые операторы есть операторы адекватного алгоритма (алгоритм измерения называется адекватным, если он позволяет получить состоятельные и несмещенные оценки).

Основные уравнения (8), (9), (10), (11) позволяют ввести следующую структуру погрешностей измерения статистических измерений на базе ПрИС:

Полная погрешность:

$$\Delta\theta_k^*\left[X(t_j)\right] = S_d^H R_2^H K^H R_1^H\left[X_k(t_j)\right] - S_d^\Gamma R_2^\Gamma K^\Gamma R_1^\Gamma\left[X_k(t_j)\right] \quad (12)$$

Составляющие полной погрешности:

- погрешность из-за ограничений на предельно достижимое значение параметра сходимости адекватного алгоритма к гипотетическому алгоритму измерений:

$$\Delta_{nc}\theta_k^*\left[X(t_j)\right] = S_d^a R_2^a K^a R_1^a\left[X_k(t_j)\right] - S_d^\Gamma R_2^\Gamma K^\Gamma R_1^\Gamma\left[X_k(t_j)\right] \quad (13)$$

- погрешность из-за неадекватности применяемого алгоритма измерения:

$$\Delta_{na}\theta_k^*\left[X(t_j)\right] = S_d R_2 K R_1\left[X_k(t_j)\right] - S_d^a R_2^a K^a R_1^a\left[X_k(t_j)\right] \quad (14)$$

- погрешность из-за неидеальности реализации преобразований:

$$\Delta_{ни}\theta_k^*\left[X(t_j)\right] = S_d^H R_2^H K^H R_1^H\left[X_k(t_j)\right] - S_d R_2 K R_1\left[X_k(t_j)\right] \quad (15)$$

Из соотношений (12), (13), (14), и (15) непосредственно следует, что рассмотренные составляющие представляют полную группу составляющих:

$$\Delta\theta_k^*\left[X(t_j)\right] = \Delta_{nc}\theta_k^*\left[X(t_j)\right] + \Delta_{na}\theta_k^*\left[X_k(t_j)\right] + \Delta_{ни}\theta_k^*\left[X(t_j)\right] \quad (16)$$

Представим полную погрешность $\Delta\theta_k^*\left[X(t_j)\right]$ в виде полной группы четырех составляющих погрешности:

$$\Delta\theta_k^*\left[X(t_j)\right] = \Delta_1\theta_k^*\left[X(t_j)\right] + \Delta_k\theta_k^*\left[X_k(t_j)\right] + \Delta_2\theta_k^*\left[X(t_j)\right] + \Delta_s\theta_k^*\left[X(t_j)\right] \quad (17)$$

где

$\Delta_1\theta_k^*\left[X(t_j)\right]$; $\Delta_k\theta_k^*\left[X_k(t_j)\right]$; $\Delta_2\theta_k^*\left[X(t_j)\right]$; $\Delta_s\theta_k^*\left[X(t_j)\right]$

погрешности, вызванные отличием операторов $R_1^H, S_d^H R_2^H R_d^H$ от операторов $R_1^\Gamma, K^\Gamma, R_2^\Gamma, S_d^\Gamma$ соответственно.

1. Цветков Э.И. Основы теории статистических измерений. - Л.: Энергия. Ленингр. Отд-ие, 1979.-288 с., ил.
2. Цветков Э.И. Процессорные измерительные средства. – Л.-Энергоатомиздат.Ленингр. отдние, 1989.-224 с.: ил.

УДК 528.25.550.31

О ФОРМИРОВАНИИ ПОГРЕШНОСТЕЙ СТАТИЧЕСКОГО ГРАВИМЕТРА С НЕЛИНЕЙНОЙ ФУНКЦИЕЙ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

Блажнов Б.А. [1], **Джилавдари И.З.** [2]

ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», Санкт-Петербург, Российская Федерация
Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

Известно, что в измерительных приборах с линейной функцией преобразования, инструментальные погрешности связаны со смещением нуля и изменением наклона функции преобразования. Эти погрешности независимы между собой и сводятся, соответственно, к аддитивной и мультипликативной погрешности прибора. Они легко обнаруживаются и устраняются при регулярной поверке прибора метрологическими службами.

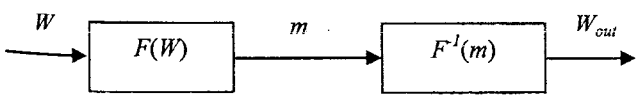


Рис. 1

Однако, если функция преобразования является нелинейной и меняется во времени, общая методика расчета погрешностей измерений и методы их уменьшения до сих пор не разработаны. В лучшем случае, эти вопросы рассматриваются на частных примерах. Специфической проблемой здесь является то, что смещение нуля функции преобразования приводит не только к аддитивным погрешностям, но и к мультипликативным погрешностям результатов измерений. Решение задач повышения точности измерений в этих условиях требуют тщательного анализа.

В первую очередь, это касается измерения ускорения свободного падения на подвижных основаниях, где широко используются статические гравиметры. В качестве гравиметрического датчика в них используется двойная упругая кварцевая система, представляющая собой два идентичных горизонтальных маятника, подвешенных на тонких кварцевых нитях. Процесс преобразования сигнала в таком гравиметре с последующей обработкой выходных

отсчетов иллюстрируется на рис.1. Измеряемая величина W поступает на вход преобразователя $F(W)$, на выходе которого эта величина выражается в отсчетных единицах m. Далее путем численных преобразований величину m выражают в единицах измеряемого сигнала, т.е. приводят к входу. Здесь $F(W)$ – функция прямого преобразования (ФПП), $F^{-1}(W)$ - функция обратного преобразования (ФОП). ФПП и ФОП связаны между собой очевидным условием:

$$W_{out} = F^{-1}(m) = F^{-1}[F(W)] = W .$$

В этих приборах ФПП является нелинейной. Но при выполнении данного тождества, применение ФОП линеаризует процесс преобразования полезного сигнала в гравиметре.

Цель данной работы состоит в том, чтобы рассмотреть характерные виды погрешности гравиметра и предложить методики уменьшения этих погрешностей.

Особенностью маятниковых гравиметров с упругим подвесом является наличие непрерывного смещения нуля ***в отсчетном устройстве***, причем скорость смещения нуля может меняться во времени. Этот дрейф не связан с искажением ФПП, и, вследствие этого, он эквивалентен появлению на входе отсчетного устройства ложного сигнала ΔW на входе прибора.

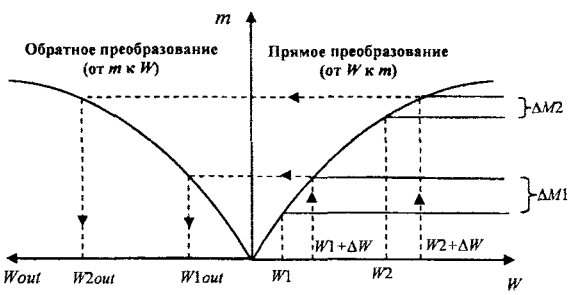
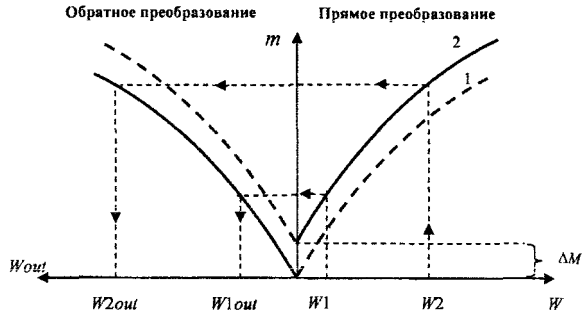


Рис. 2

Вследствие нелинейности ФПП, при измерении различных по величине полезных сигналов $W1$ и $W2$, на входе гравиметра, аддитивная погрешность ΔW, возникающая в приборе, приводит к различным значениям $\Delta M1$ и $\Delta M2$ смещений отсчетов гравиметра (рис.2).

При стабильной ФПП, после применения полученной при эталонировании ФОП, смещение показаний прибора на выходе становится одинаковым для обоих измерений. В этом случае разностный сигнал $W2out - W1out = W2 - W1$, т.е. погрешность, обусловленная смещением нуля ΔW, исключается полностью.



1 – эталонная ФПП, 2 - смещенная ФПП

Рис.3

Однако при наличии искажения ФПП, например, в виде ее параллельного смещения (рис. 3, кривая 2) относительно исходной эталонной ФПП (кривая 1) на величину ΔM. применение эталонной ФОП приводит к появлению и аддитивной (одинаковой для обоих сигналов), и мультипликативной (зависящей от разности входных сигналов) погрешности гравиметра.

В работе показано, что, при существующей схеме обработки выходных отсчетов гравиметра погрешностью смещения нуля ΔW, не приводящей к искажению зафиксированной при эталонировании функции прямого преобразования прибора, можно пренебречь. Рассмотрено влияние смещения нуля и искажения параметров нелинейной функции прямого преобразования на выходной сигнал гравиметра. Рассмотрены два возможных типа смещения нуля.

Выведены выражения для оценки погрешности прибора при наличии искажения ФПП прибора за счет ее смещения и изменения наклона. Показано, что в обоих случаях в выходном сигнале появляется мультипликативная погрешность. Эта погрешность наиболее существенна при проведении аэрогравиметрической съемки. Однако при использовании современной приемной аппаратуры спутниковой навигационной системы, можно провести оценку, возникшей мультипликативной погрешности и использовать ее для коррекции функции обратного преобразования при камеральной обработке результатов измерений.

На опыте использование новой ФОП позволило уменьшить погрешность гравитационной съемки до погрешности эталонирования прибора (примерно 0.03%).