

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

Член-корреспондент АН СССР Б. В. ДЕРЯГИН

**ОБ ОДНОМ МЕТОДЕ УВЕЛИЧЕНИЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ
ВЕСОВ С ОДНОВРЕМЕННЫМ УКРОЧЕНИЕМ ПЕРИОДА ИХ
КОЛЕБАНИЙ И ВОЗМОЖНОСТЬЮ ПРЯМОГО ОТСЧЕТА**

Основными неудобствами при работе с аналитическими весами являются необходимость уравнивания путем постепенного подбора грузов и сравнительно большой период колебаний, еще более удлиняющий и осложняющий процедуру взвешивания. При этом, как правило, период растет с увеличением чувствительности. От этих недостатков свободны микровесы пружинного типа, основанные на упругой деформации подвеса. Однако эти весы не могут дать высокой относительной точности взвешивания без использования приемов, позволяющих измерять весьма малые изменения деформации пружины весов, что, к тому же, предполагает весьма большое постоянство деформации при заданной нагрузке. Задачи эти, как показывает опыт конструирования гравиметров, могут быть разрешены, но отнюдь не легко, в особенности для сильно различающихся по величине нагрузок.

Предлагаемый метод позволяет сравнительно просто устранить в аналитических весах свойственные им недостатки, сохраняя высокую относительную точность взвешивания, превратив их в прибор прямого, почти моментального отсчета, упростив и ускорив процедуру взвешивания и одновременно получая возможность легкого регулирования, в частности, повышения чувствительности весов. Аналогичный метод позволяет и в случае пружинных микровесов повысить чувствительность отсчета, сократив их период и уменьшив, следовательно, их чувствительность к сотрясениям.

Переходя к изложению идеи нового метода взвешивания, мы объединим обе категории весов в одну, делая упор на том, что вблизи равновесия и те и другие являются примером простейшей колебательной системы, удерживаемой вблизи положения равновесия квази-упругой силой F , пропорциональной смещению из него x :

$$F = -kx, \quad (1)$$

где k — направляющая сила. В аналитических весах, как и в пружинных, конечный этап взвешивания определяется тем, что всякое изменение груза ΔP вызывает смещение x , при котором это изменение уравнивается проистекающей от перемещения центра тяжести или от упругости (для пружинных весов) реакцией весов. Принципиальная схема нового метода взвешивания изображена на рис. 1.

Введем теперь приспособление, благодаря которому смещение x одновременно вызывает появление или изменение электрического тока

$$i = lx, \quad (2)$$

где n — константа (выход тока), вызывающего, за счет как бы обратной связи, электромагнитную реакцию G , действующую на коромысло (или чашку) весов

$$G = -ni = -nlx = -jx. \quad (3)$$

Для реализации силы G достаточно пропустить ток i через катушку, связанную с коромыслом (или чашкой) весов и помещенную в постоянное магнитное поле, или же создать с помощью тока i магнитное поле, действующее на магнитную стрелку, связанную с коромыслом

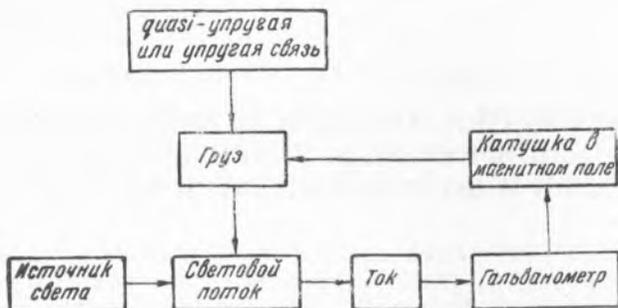


Рис. 1

весов. Появление силы G вызовет, при сохранении того же метода отсчета и определения чувствительности f_0 как отношения

$$f_0 = \frac{x}{\Delta P} = \frac{1}{k}, \quad (4)$$

уменьшение чувствительности, так как из условия равновесия

$$-\Delta P = F + G = -(k + j)x \quad (5)$$

следует

$$f = \frac{1}{k + j}. \quad (6)$$

Одновременно период τ укорачивается в отношении \sqrt{k} : $\sqrt{k+j}$. Однако, пользуясь гальванометром для измерения тока i , чувствительность отсчета можно увеличить. Если чувствительность отсчетов x и смещения y стрелки или зайчика гальванометра одинаковы и за чувствительность гальванометра f' принять отношение y/i , то чувствительность отсчета веса делается равной:

$$\frac{y}{\Delta P} = \frac{y}{i} \frac{i}{\Delta P} = f' \frac{ix}{\Delta P} = f' \frac{l}{k + j} = f' \frac{1}{(k/l) + n}. \quad (7)$$

В общем случае чувствительность зависит от направляющей силы k и константы l ; отсюда понятно, что всякие колебания констант k и l , а также смещения механического (в формуле (1)) и электрического (в формуле (2)) нулей, могущих не совпадать между собой, будут влиять на отброс y гальванометра и, следовательно, исказят измерения. Особенно велики эти искажения, если мы, с целью увеличения чувствительности, возьмем n отрицательным и близким по абсолютной величине к значению k/l . Это невыгодно также и из-за увеличения периода колебаний весов.

Все эти неудобства, наоборот, отпадают, если:

$$n \gg k/l \quad \text{или} \quad l \gg k/n. \quad (8)$$

Тогда приближенно будем иметь:

$$y/\Delta P = f'/n \quad (9)$$

и, следовательно, увеличение чувствительности равно:

$$\epsilon = \frac{f}{f_0} = f' \frac{k}{n}. \quad (10)$$

Так как n можно легко уменьшить в любое число раз (уменьшением числа витков или шунтированием катушки или ослаблением магнитного поля), то предел увеличения f и ϵ кладется только необходимостью соблюдать условие (8). Полагая

$$k/n = 0,01 l, \quad (11)$$

что соответствует уменьшению периода в 10 раз, мы для ϵ получим:

$$\epsilon = 0,01 f' l. \quad (12)$$

Таким образом, для увеличения ϵ нужно увеличивать f' и l ; при этом ϵ не зависит от первоначальной чувствительности весов f_0 . Получающееся из (11) увеличение чувствительности, благодаря укорочению периода, будет не только реально, но и сопряжено с увеличением быстроты и точности отсчета. Существенно также, что вследствие уменьшения механической чувствительности весов (согласно (6)) изменения нагрузки P будут вызывать сравнительно малые изменения положения коромысла, вследствие чего легко обеспечить постоянство значения n в формуле (3). Произведение $f'l$ в (12) имеет простой физический смысл: оно равно отношению отброса гальванометра к перемещению коромысла (или чашки) весов, его вызывающему, согласно выбранной схеме (рис. 1).

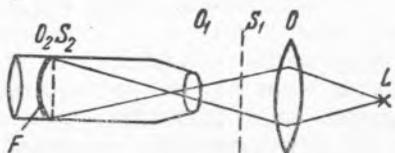


Рис. 2

Рассмотрим теперь возможные методы трансформации перемещений коромысла весов в ток, позволяющие обеспечить высокие значения l , $f'l$ и ϵ .

1. Фотоэлектрический метод. Схема одного из вариантов фотоэлектрического метода изображена на рис. 2. Со стрелкой весов жестко связана решетка S_1 (типографский растр) из нанесенных на стеклянной пластинке равноотстоящих, параллельных непрозрачных штрихов. Штрихи располагаются перпендикулярно направлению смещений, сопровождающих изменение нагрузки весов. Кондатор O концентрирует на решетке лучи сильного источника света L . Микро- или фотообъектив O_1 отбрасывает изображение решетки на вторую решетку S_2 , являющуюся фотографическим (оптическим) негативным изображением первой решетки; поэтому при определенном положении решетки S_1 изображение ее светлых промежутков совпадает со штрихами решетки S_2 , за которую свет не пройдет или пройдет крайне ослабленным. Смещение коромысла весов с решеткой S_1 вызовет пропускание света. Помещая за решеткой S_2 фотоэлемент F , мы и превратим смещение весов в ток. Беря решетку с числом штрихов порядка 100 на 1 см, а также яркий источник света и чувствительный, например, серно-серебряный фотоэлемент, можно обеспечить высокое значение коэффициента l (выхода тока) порядка 1 А/см, что при $f' = 10^6$ см/А (стрелочный микроамперметр) дает, согласно (12), увеличение чувствительности в 10^4 раз при одновременном укорочении периода в 10 раз. Что касается коэффициента n ,

то при чувствительности весов $1/k = \text{см/дина}$, из (11) получим* $n = 100 \text{ дин/А}$, реализация чего не может представить ни малейших затруднений.

Еще большее увеличение чувствительности можно получить, пользуясь усилением фототока (в этом случае следует взять вакуумный фотоэлемент с внешним фотоэффектом) или же беря фотоэлектронный умножитель, что, однако, конечно, ведет к усложнениям**.

2. Использование сеточного контакта. Любой достаточно чувствительный электрический датчик перемещений, не оказывающий заметного обратного действия на перемещающийся объект (коромысло или стрелка весов), способен заменить рассмотренное выше фотореле. Стабильность соответствующего коэффициента l_0 при этом не играет роли. Так, можно применить устройство, известное под названием „сеточного контакта“. Магнитно-индукционные датчики могут оказаться мало пригодными вследствие обратного механического воздействия.

3. Использование тиратрона. Весьма удобна, далее, схема, использующая тиратрон, ток которого реагирует на изменение емкости, вызываемое перемещением весов. Для исключения обратного электростатического воздействия, впрочем, удобнее пользоваться схемой, в которой ток тиратрона управляется изменением разности емкостей между пластинкой, перемещающейся вместе с весами, и двумя параллельными ей неподвижными пластинками, между которыми она расположена. Эта схема особенно удобна для увеличения чувствительности пружинных весов (с кварцевой спиральной пружиной).

В пружинных весах предел реальному увеличению чувствительности может положить непостоянство механического нуля, отвечающего деформации пружины под действием начального груза, однако, так как в этом случае речь обычно идет об определении небольших изменений веса (например под влиянием сорбции паров или газов), то, если эти изменения происходят достаточно быстро, влияние неустойчивости механического нуля будет сказываться незначительно***.

В заключение следует отметить чрезвычайную легкость изменения чувствительности как посредством изменения чувствительности или шунтирования гальванометра, так и посредством шунтирования катушки, которое вызывает такое же увеличение чувствительности взвешивания, как уменьшение коэффициента n .

Лаборатория поверхностных сил
Института физической химии
Академии Наук СССР

Поступило
20 V 1948

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ J. W. Clark, Rev. Sci. Instr., 18, 915 (1947). ² Б. П. Беринг и В. В. Серпинский, ДАН, 55, 741 (1947).

* При том же плече действия электромагнитной силы, что и плечо груза относительно опоры коромысла.

** В только что сделавшейся нам известной работе (¹) дифференциальный фотоэлемент с усилительной схемой применен для конструирования электромагнитных весов без коромысла или пружины. что, по нашему мнению, менее рационально ввиду большей сложности установки. Помимо этого, эти весы, в противоположность утверждению авторов, в настоящем их виде не являются прибором с прямым отсчетом, так как перед отсчетом требуют приведения к нулю, путем компенсации, тока цепи фотоэлементов.

*** Для случая длительных сорбционных измерений весьма целесообразен метод независимого взвешивания (²), применимый, если речь идет о сорбции паров.