

предназначен для определения диаметра луча лазера, интенсивность которого достаточно велика, то концентрация носителей в освещенной части много больше, чем в неосвещенной части, и упрощение обосновано (фоторезистор из высокоомного материала). Следовательно, формулой (5) можно пользоваться, если поток излучения выше определенной минимальной величины  $\Phi_0$ , при которой концентрация носителей в освещенной части фоторезистора на порядок выше, чем в неосвещенной.

Во-вторых, расчет проведен в предположении, что линии тока от левого контакта к правому представляют собой прямые параллельные линии. Однако линии тока в центральной части фоторезистора будут искривляться в сторону освещенного пятна, представляющего собой (с учетом сказанного выше) эквипотенциальную поверхность, поэтому для каждого конкретного фоторезистора необходима корректировка теоретической величины  $R$  (для оптимального  $d$ ) с экспериментальной.

В-третьих, при больших величинах длины диффузионного смещения неосновных носителей  $L$  область, где генерируются носители, будет расплываться под действием диффузии, и ее диаметр не будет соответствовать диаметру светового пятна. Поэтому необходимо использовать материал с малым значением  $L$ , например сульфид кадмия, в котором  $L$  порядка 10 мкм.

Опытная проверка способа осуществлялась с использованием фоторезистора типа ФСК-1. Размеры его световой площадки составляли 4×4 мм. При таких размерах темновое сопротивление равно 2,48 МОм. При освещении лучом с  $d=2$  мм от лазера ЛГ-78 (красный свет) сопротивление уменьшалось до 1,9 МОм. При указанном диаметре определенное по (5) сопротивление равно 1,93 МОм. Достаточно хорошее совпадение рассчитанного и экспериментального значения  $R$  (в пределах ошиб-

ки, определяемой классом точности используемых приборов) показывает, что величина  $d$ , действительно, может быть определена из (5) по экспериментальному значению  $R$ . При уменьшении диаметра луча до 1 мм значение  $R$  составляет 2,3 МОм, что также находится в удовлетворительном соответствии с формулой (5).

На практике определение диаметра луча света производится следующим образом. При отсутствии света измеряется темновое сопротивление фоторезистора  $R_0$ . Затем на фоторезистор направляется луч такой интенсивности, чтобы при ее уменьшении в два раза (например фильтром) величина  $R$  не изменялась, что свидетельствует о том, что поток излучения выше  $\Phi_0$ . После этого измеряется сопротивление  $R$ . Зная размеры фоточувствительной площадки, диаметр луча рассчитывается по формуле (5).

Для убыстрения процесса измерения (при известных  $b$ ,  $l$  и  $R_0$  для конкретного фоторезистора) строится график зависимости  $R=f(d)$ , откуда легко определить  $d$  по измеренной величине  $R$ . Следует отметить, что величина  $R$  не зависит от положения светового пятна на фоторезисторе (т. е. при измерении луч не обязательно направлять в центр фотоприемной площадки), что упрощает процесс измерения.

Очевидными предельными ограничениями метода является то, что размеры чувствительной площадки фоторезистора должны быть больше диаметра луча, а интенсивность луча не должна превышать значения, при котором происходит заметный нагрев фоторезистора.

#### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Литвак В. И. Фотоэлектрические приборы и регуляторы в машиностроении.— М.: Машгиз, 1962.
2. Свечников С. В., Смовж А. К., Каганович Э. Б. Фотопотенциометры и функциональные фоторезисторы.— М.: Сов. радио, 1978.

К. т. н. М. Д. СКУБИЛИН

Россия, Таганрогский радиотехнический университет  
E-mail: scubilin@hotmail.ru

Дата поступления в редакцию  
18.03 2003 г.

Оппонент к. т. н. В. Г. КАБАРУХИН  
(ТИУиЭ, г. Таганрог)

## СПОСОБ ИЗМЕРЕНИЯ МАССЫ (ВЕСА) ДВИЖУЩИХСЯ ОБЪЕКТОВ

*Может найти применение в контроле массы (веса) транспортных средств в неподвижном или движущемся состоянии.*

Измерение массы (веса) движущихся объектов и, в особенности, объектов со значительными габаритно-весовыми характеристиками затруднено в силу ограниченности функциональных возможностей известной весоизмерительной техники, ее значительной инерционности и погрешности, вносимой в условиях сейсмической нестабильности.

Вместе с тем масса (вес) транспортных средств существенно влияет на их маневренность, а в конеч-

ном итоге и на безаварийность на транспорте и, особенно, в авиации. В последнее время участились случаи возникновения нештатных ситуаций на судах транспортной авиации, чему причин более чем достаточно.

Известны способы измерения веса (массы) объектов с применением рычажных, пружинных, тензометрических, пьезоэлектрических и магнитоанізотропных средств, предполагающие механическое воздействие на чувствительные элементы, на датчики систем весоизмерения. Но эти способы и средства громоздки и не лишены существенных недостатков. В частности, они не позволяют дистанционно и в движении оценить массу (вес) объектов.

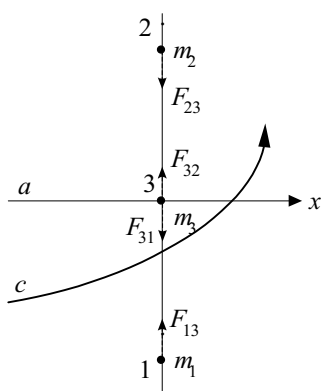


Рис. 1

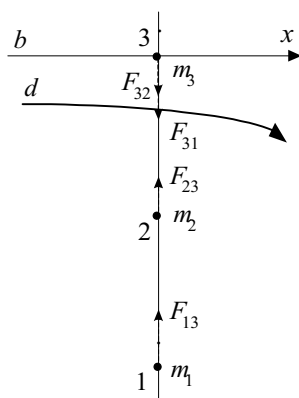


Рис. 2

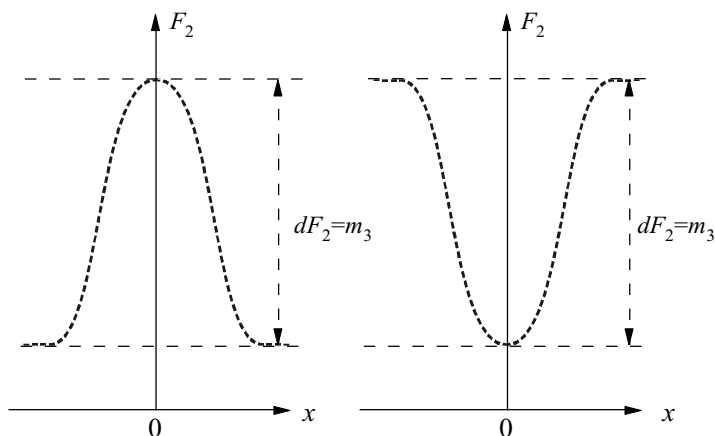


Рис. 3

Рис. 4

Цель данной работы — рассмотрение способа измерения массы (веса) объектов при движении последних.

Известно, что между любыми двумя материальными точками действуют силы взаимного тяготения, прямо пропорциональные произведению масс этих точек и обратно пропорциональные квадрату расстояния между ними:

$$F_{12} = f(m_1 m_2 / r^2),$$

где  $F_{12}$  — сила тяготения, действующая на точку с массой  $m_1$  в направлении точки с массой  $m_2$ ;  $r$  — расстояние между точками с массой  $m_1$  и  $m_2$ ;  $f$  — гравитационная постоянная (постоянная тяготения), равная  $6,67 \cdot 10^{-11}$  Н·м<sup>2</sup>/кг<sup>2</sup> [1, с. 47—50; 2, с. 568].

Силы взаимного тяготения между точками (телами) 1, 2 и 3 с массами  $m_1$ ,  $m_2$  и  $m_3$ , соответственно, (см. рис. 1 и 2) выражаются как  $F_{21} = f m_2 m_1 / r_{12}^2$  и  $F_{32} = f m_3 m_2 / r_{23}^2$ . Здесь значение  $F_{32}$  достигает максимума  $F_{32\max}$  при минимизации расстояния  $r_{32}$  между точками 2 и 3 и размещении масс  $m_1$ ,  $m_2$  и  $m_3$  на одной прямой.

Результирующая сила тяготения точки 2 (массы  $m_2$ ) определяется как

$$F_2 = F_{21} \pm F_{32} = f m_2 m_1 / r_{12}^2 \pm f m_3 m_2 / r_{32}^2,$$

где знак "+" берется при одностороннем расположении точек 1, 2 относительно точки 3, как показано на рис. 2, а знак "-" — при расположении точки 2 между точками 1 и 3, как показано на рис. 1. Но второе слагаемое  $f m_3 m_2 / r_{32}^2 = 0$  при  $m_2 = 0$ , что соответствует отсутствию объекта контроля в пространстве контроля.

Тогда по модулю максимального значения разности

$$|dF_2| = |F_{2\max} - F_{2\min}| = |(f m_2 m_1 / r_{12}^2) - (f m_2 m_1 / r_{12}^2 \pm f m_3 m_2 / r_{32}^2)| = f m_3 m_2 / r_{32}^2 = q m_3,$$

где  $q = f m_2 / r_{32}^2$ , а при  $r_{32}^2 = \text{const}$  и  $q = f m_2 / r_{32}^2 = \text{const}$  однозначно интерпретируется масса (вес)  $m_3$  точки (тела в точке) 3.

На рис. 3 и 4 представлены значения  $F_2$  в функции от места пребывания объекта с массой  $m_3$  по рис. 1 и рис. 2, соответственно.

Техническая реализация способа контроля массы (веса) транспортных средств предполагает (допуска-

ет) использование в качестве  $m_1$  массы Земли, а в качестве  $m_2$  — массы чувствительного к силам взаимного тяготения элемента датчика значений  $F_2$ , и установку датчика значений  $F_2$  (гравиметра) как под (см. рис. 1), так и над (см. рис. 2) объектом контроля его массы (веса)  $m_3$ . Вес  $P$  объекта и его масса  $m$  однозначно связаны между собой по  $P = mg$ , где  $g$  — ускорение свободного падения и равно  $981 \text{ см/с}^2 = \text{const}$  в земных условиях, на небольших высотах.

Реализация способа заключается в установке в заданном месте (например под полотном дорожки аэропорта) гравиметра с достаточно высокой чувствительностью и в обеспечении связи "гравиметр—диспетчер". Информация о фактической массе (весе) может визуализироваться и/или фиксироваться, в т. ч. и на твердом носителе информации, для контроля и отчетности.

В аэропортах в качестве гравиметров приемлемы приборы с чувствительностью порядка 5—10 мГал, например типа ГАЭ-3, СН-3, FG5, JLAG, IC5, FC5 [3, с. 20—22] и др., обеспечивающих погрешность измерения массы (веса) самолетов с точностью не хуже  $\pm 5\%$ .

Предлагаемый способ приемлем для измерения массы (веса) произвольных объектов, в т. ч. наземных, морских и воздушных транспортных средств, как в неподвижном их состоянии, так и в состоянии движения со скоростью менее скорости света.

\*\*\*

Недопущение перегрузок транспортных средств призвано сократить аварийность на транспорте. В частности, аэропорты могут быть оборудованы пунктами контроля массы (веса) выпускаемых в полет транспортных средств, имеющими задачу своевременно препятствовать вылету перегруженного авиаобъекта.

#### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Яворский Б. М., Детлаф А. А. Справочник по физике. — М.: Наука, 1968.
2. БСЭ. Т. 4. — М.: СЭ, 1971.
3. Гриценко А. И., Жабров И. П., Леонтьев И. А. и др. Гравиметрический метод контроля за разработкой газовых месторождений // Газовая промышленность. — М.: Недра, 1983.