

Разрешающая способность измерительных приборов

М. ЛИВШИЦ

ВСЕМ ИЗВЕСТНО, ЧТО МИКРОСКОП НУЖЕН ДЛЯ ТОГО, например, чтобы пересчитать число микробов на предметном столике, телескоп – чтобы пересчитать звезды на небе, радиолокатор – чтобы установить число летательных аппаратов в небе и расстояния до них.

В этой статье речь пойдет о важнейшем свойстве физических приборов – их разрешающей способности, т.е. величине наименьших деталей объектов измерения, различаемых в процессе измерения. Именно разрешающая способность является главной характеристикой качества применяемого измерителя (даже более важной, чем точность измерений). Например, не только от увеличения микроскопа зависит его качество. Если устройство микроскопа не обеспечивает раздельное восприятие достаточно мелких деталей объекта, то получаемое изображение не улучшится даже при значительном росте увеличения. Мы получим только более крупную, но такую же нечеткую картинку рассматриваемого предмета. Кроме того, сами ошибки измерения могут быть определены только после разрешения, т.е. после выделения данной детали объекта из других.

Покажем, какие физические свойства дистанционных (неконтактных) измерителей непосредственно влияют на получающееся при их использовании разрешение и какими методами можно добиться улучшения разрешающей способности таких приборов.

Сначала дадим количественную оценку. Чем более мелкие детали объектов могут быть выделены данным прибором в процессе измерения, тем лучше (выше) его разрешающая способность. Для различных приборов существуют различные определения и разные формулы для количественной оценки разрешающей способности в зависимости от целей и методов: например, оценивается ли разрешение деталей предмета (микроскоп, бинокль, телескоп) или отдельных линий в спектре излучения (призма, дифракционная решетка и другие спектральные устройства), используется ли независимость наблюдения и измерения координат нескольких целей (радиолокатор, гидролокатор, эхолот животного) и т.п. Однако общепринятой основой количественной оценки разрешающей способности является критерий Рэлея, первоначально установленный для случая раздельного наблюдения двух точечных источников света (разрешение двойных звезд). Его обобщение, позволяющее использовать этот критерий в самых разных случаях, осуществляется следующим образом.

Пусть входное воздействие на измерительный прибор состоит из двух пиков, отстоящих на интервал Δx ; при этом

на выходе прибора от каждого пика получается «отклик» в виде более размазанного по x всплеска конечной ширины, характеризующий свойства прибора и называемый аппаратной функцией (рис.1).

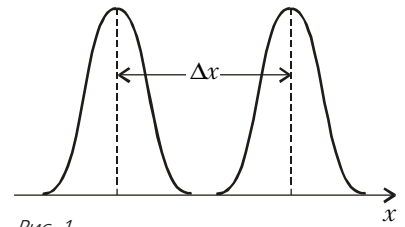


Рис. 1

Тогда разрешающей способностью по Рэлею называют минимальный интервал Δx_{\min} между воздействиями двух пиков, при котором суммарный отклик еще имеет вид

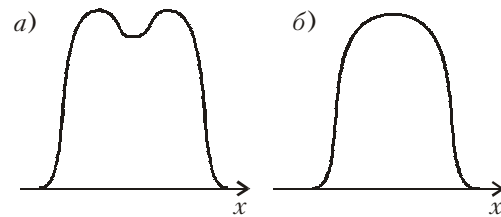


Рис. 2

двугорбой кривой (рис.2,а). Если уменьшить Δx , верхушка суммарного всплеска уплощается и всплески сливаются в один (рис.2,б).

Какие же параметры волн, используемых в дистанционных измерителях, определяют величину разрешающей способности? Оказывается, таким параметром является степень когерентности волн (латинское слово «когерентный» означает «находящийся в связи»).

Прежде вспомним о когерентности колебаний. Колебания называются когерентными, если разности фаз и отношения амплитуд колебаний остаются постоянными в течение всего времени наблюдения. В простейшем случае когерентными являются два синусоидальных колебания $A \cos(\omega t + \alpha)$ и $B \cos(\omega t + \beta)$, где A , B , α и β – постоянные величины. Поскольку волновые процессы определяются колебаниями во всех точках пространства, где эти волны существуют, необходимым условием когерентности волн является когерентность колебаний, происходящих в каждой данной точке волны в течение времени наблюдения.

Более общим и кратким является определение некогерентности волн: пучки света или других волн будут некогерентными, если разность фаз между колебаниями во всех точках пространства, где эти волны существуют совместно, многократно и нерегулярным образом изменяется в течение времени наблюдения.

Теперь постараемся установить связь разрешающей способности измерителя со степенью когерентности волн. Наиболее наглядно это можно сделать на примере радиолокации – способе определения местонахождения объектов с помощью радиоволн.

Кратко напомним принцип работы импульсной радиолокационной станции (РЛС). На рисунке 3 изображена блок-схема РЛС. Здесь 1 – передатчик, 2 – антенный переключатель, 3 – антенна, 4 – диаграмма направленности антенны, 5 – приемник, 6 – индикатор. Передатчик РЛС с помощью узконаправленной антенны производит периодическое облучение пространства кратковременными пучками радиоволн (так

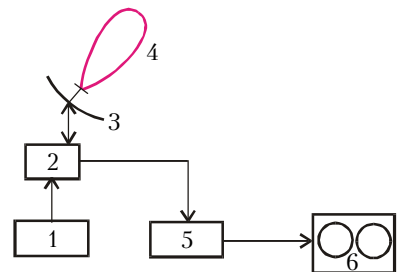


Рис. 3