

Табл. 2.

Металл	$E_{100} \cdot 10^{-3}$ , МН/м <sup>2</sup>	$E_{111} \cdot 10^{-3}$ , МН/м <sup>2</sup>	$G_{100} \cdot 10^{-3}$ , МН/м <sup>2</sup>
Al	64,1	77,4	29,0
Cu	88,4	210	76,5
Fe	132	277	113
Pb	11,0	39,6	14,75
W	400	400	155

Примечание:  $E_{100}$  — М. у. в направлении ребра куба элементарной кристаллической ячейки,  $E_{111}$  — М. у. в направлении пространств. диагонали куба.

Число М. у. анизотропного материала [коэф.  $g_{ij}$  в (\*)] равно 36, однако можно показать, что  $g_{ij} = g_{ji}$  и число различных коэф. уменьшается до 21 у анизотропного тела, лишённого всякой симметрии в отношении упругих свойств. При наличии симметрии в материале число М. у. сокращается. Напр., упругие свойства кристаллов моноклинной системы определяют 13 М. у., ромбич. системы — 9; для изотропного же упругого тела число независимых упругих постоянных сводится к двум.

М. у. устанавливаются экспериментально при статич. или динамич. испытаниях. В первом случае образец подвергают воздействию усилий, вызывающих в нём определ. напряжённое состояние. Напр.,  $E$  обычно определяют при испытаниях образцов на растяжение,  $G$  — на кручение и  $K$  — на всестороннее сжатие. Величины соответствующих М. у. устанавливают измерением приложенных усилий и возникающих при этом деформаций. При динамич. измерении М. у. пользуются зависимостью между частотой колебаний образца и величиной М. у. В случае продольных колебаний определяется  $E$ , в случае крутильных колебаний —  $G$ .

М. у. не являются строго пост. величинами для одного и того же материала, их значения меняются в зависимости от хим. состава и (в меньшей степени) от предварительной термич. и механич. обработки материала. Границы изменения М. у. обычно указываются в справочниках. В пределах упругих деформаций величины М. у. не зависят от скорости деформации. С изменением темп-ры материала значения М. у. также меняются. Зависимость М. у. от темп-ры близка к линейной. В ср. уменьшение М. у. при повышении темп-ры на 100° соответствует 2—4%.

Лит.: Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М., Теория упругости, 4 изд., М., 1987; Лившиц В. Г., Крапошня В. С., Ливецкий Я. Л., Физические свойства металлов и сплавов, 2 изд., М., 1980; Золоторевский В. С., Механические свойства металлов, 2 изд., М., 1983; Новик А., Берри Б., Релаксационные явления в кристаллах, пер. с англ., М., 1975. В. М. Розенберг.

**МОДУЛИРОВАННЫЕ КОЛЕБАНИЯ** — колебания, параметры к-рых (амплитуда, фаза, частота, длительность и т. п.) изменяются во времени. Это понятие распространяется и на колебания, параметры к-рых изменяются в пространстве, тогда говорят о пространственно модулированных колебаниях; в отличие от временных М. к. они могут быть дву- и трёхмерными. Далее всюду речь идёт только о колебаниях, модулированных во времени. Характер исходных (несущих) колебаний и законы их модуляции разнообразны: от простейших гармонических до хаотических. Это могут быть даже не колебательные, а, напр., импульсные сигналы с переменными длительностью, скважностью или другими характерными для импульсной модуляции параметрами.

Простейшим примером М. к., имеющим принципиальное значение для описания мн. физ. процессов и техн. приложений, является квазигармонич. М. к.:

$$u(t) = a(t)\cos\varphi(t) = a(t)\cos[\omega_0 t + \psi(t)], \quad (1)$$

где  $a(t)$  — мгновенная амплитуда,  $\varphi(t)$  — полная фаза колебаний,  $\omega_0 = \text{const}$  — несущая частота,  $\psi(t)$  — фаза колебаний. Все эти величины вводят по аналогии с обычными гармонич. колебаниями, для к-рых  $a(t) = \text{const}$  и  $\psi(t) = \text{const}$ . В произвольном случае представление (1) неоднозначно: множеству пар  $a(t)$ ,  $\psi(t)$  соответствует одна и та же ф-ция  $u(t)$ , что затрудняет строгий анализ М. к. Обычно эту неоднозначность удаётся устранить и оперировать с амплитудами и фазами

как с определ. параметрами М. к. В частности, одним из эвристич. способов устранения неоднозначности является введение дополнит. сигнала  $v(t)$ , каждая фурье-составляющая к-рого сдвинута по фазе на  $\pi/2$  относительно соответствующей фурье-составляющей осн. сигнала  $u(t)$  (преобразование Гильберта), что приводит к образованию т. н. *аналитического сигнала*:

$$w(t) = u(t) + iv(t) = a(t)\exp i\varphi(t), \quad (2)$$

амплитуда  $a(t)$  и фаза  $\varphi(t)$  к-рого однозначно выражаются через  $u(t)$  и  $v(t)$ :

$$a(t) = [u^2(t) + v^2(t)]^{1/2},$$

$$\varphi(t) = \text{arctg}[v(t)/u(t)].$$

Физически это соответствует мысленной замене осцилляторов ротаторами. Во мн. техн. устройствах, реализующих, напр., приём М. к., преобразование (2) используют как наиболее эфф. средство демодуляции.

Интерпретации М. к. как в исходной (1), так и в обобщённой (2) форме совпадают, если предположить медленность изменения ф-ций  $a(t)$  и  $\varphi(t)$  на протяжении периода  $T$  несущей частоты  $\omega_0 = 2\pi/T$  и пренебречь усреднённым вкладом высших составляющих спектра. Как правило, именно с таким квазигармонич. М. к. приходится иметь дело в технике.

Виды М. к. И так, в определ. условиях [медленность изменения и (или) возможность доопределения] М. к. можно разделить на амплитудно-модулированные колебания (АМК) и фазомодулированные колебания (ФМК). Последние называют иногда также колебаниями с угл. модуляцией, выделяя среди них частотно-модулированные колебания (ЧМК) и собственно ФМК. Тем не менее, поскольку

$$\varphi(t) = \int_{-\infty}^t \omega(t)dt + \psi(t), \quad (3)$$

точных критериев различения режимов, в к-рых  $\omega(t) = \text{const}$ ,  $\psi(t) \neq \text{const}$  и  $\psi(t) = \text{const}$ ,  $\omega(t) \neq \text{const}$ , не существует. Поэтому при проведении такой классификации руководствуются скорее нек-рой «спектральной интуицией», а главные принципы реализации процессов модуляции и демодуляции в соответствующих техн. устройствах.

Квазигармонич. АМК обычно записывают в виде:

$$u_{\text{АМК}}(t) = a_0[1 + Ms(t)]\cos(\omega_0 t + \psi_0). \quad (4)$$

Здесь  $a_0$  — пост. амплитуда несущего колебания (рис., а),  $s(t)$  — нормированный [обычно  $\max|s(t)| = 1$ ] модулирующий сигнал (рис., б),  $M$  — коэф. модуляции (см. *Амплитудная модуляция*). Случай  $M \ll 1$  соответствует слабомодулированным АМК (рис., в),  $M \approx 1$  — глубокомодулированным АМК; сигналы с  $M > 1$  наз. перемодулированными (рис., г). При использовании АМК в приёмопередающих системах (вещание, связь и т. п.) выбирают оптимальные (с точки зрения эфф. использования мощности передатчиков и нелинейных искажений формы АМК) значения  $M$ . Поскольку передаваемая информация равнозначно заключена в верхних и нижних боковых составляющих спектра АМК, то выгодно формировать и передавать информацию АМК с подавлением одной из групп боковых частот (полос). В этом случае получаются т. н. однополосные М. к., содержащие комбинацию АМК и ФМК, характерные для систем с частотным уплотнением канала передачи и высокой энергетич. эффективностью. Иногда используют частичное или полное подавление несущей компоненты с последующим её восстановлением в приёмной системе.

Квазигармонич. ФМК и ЧМК записывают в виде, аналогичном (4):

$$u_{\text{ФМК}}(t) = a_0\cos[\omega_0 t + K_{\text{ФМК}}s(t) + \psi_0], \quad (5)$$