ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 56801— 2015 (ИСО 6721-1: 2011)

Пластмассы

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПРИ ДИНАМИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ

Часть 1

Общие принципы

ISO 6721-1:2011
Plastics — Determination of dynamic mechanical properties — Part 1: General principles
(MOD)

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2016

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 ПОДГОТОВЛЕН Федеральным государственным унитарным предприятием «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» совместно с Открытым акционерным обществом «НПО Стеклопластик» и Объединением юридических лиц «Союз производителей композитов» на основе аутентичного перевода на русский язык указанного в пункте 4 стандарта, который выполнен ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ»

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 497 «Композиты, конструкции и изделия из них»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 27 ноября 2015 г. № 2058-ст

4 Настоящий стандарт является модифицированным по отношению к международному стандарту ИСО 6721-1:2011 «Пластмассы. Определение механических свойств при динамическом нагружении. Часть 1. Общие принципы» (ISO 6721-1:2011 «Plastics — Determination of dynamic mechanical properties — Part 1: General principles»).

Дополнительные слова, фразы, показатели, включенные в текст настоящего стандарта для учета потребностей национальной экономики Российской Федерации, выделены курсивом.

Сведения о соответствии ссылочных национальных и межгосударственных стандартов международным стандартам, использованным в качестве ссылочных в примененном международном стандарте, приведены в дополнительном приложении ДА

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

*Правила применения настоящего стандарта установлены в ГОСТ Р 1.0—2012 (раздел 8). Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (*gost.e-ecolog.ru

© Стандартинформ, 2016

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 1
3 Термины и определения 2
4 Сущность метода 8
5 Оборудование и материалы 10
6 Образцы для испытания 11
7 Количество образцов 11
8 Кондиционирование образцов 11
9 Проведение испытания 12
10 Обработка результатов 13
11 Прецизионность 13
12 Протокол испытаний 13
Приложение А (обязательное) Резонансные кривые 14
Приложение В (справочное) Отклонения от линейной динамики 17
Приложение ДА (справочное) Сведения о соответствии ссылочных национальных и межгосударственных стандартов международным стандартам, использованным в качестве ссылочных в примененном международном стандарте 18

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Пластмассы

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПРИ ДИНАМИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ

Часть 1

Общие принципы

Plastics. Determination of dynamic mechanical properties. Part 1. General principles

Дата введения — 2017—01—01

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает общие принципы определения механических свойств при динамическом нагружении жестких пластмасс в области линейных вязкоупругих свойств.

Значения, полученные из данных испытания при изгибе, будут сравнимы со значениями, полученными из данных испытания на растяжение, только для образцов с однородной структурой и при уровнях деформации, при которых обеспечивается линейность соотношения «напряжение — деформация».

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 12015—66 Пластмассы. Изготовление образцов для испытания из реактопластов. Общие требования

ГОСТ 12019—66 Пластмассы. Изготовление образцов для испытания из термопластов. Общие требования

ГОСТ 12423—2013 (ISO 291:2008) Пластмассы. Условия кондиционирования и испытания образцов (проб)

ГОСТ 17035—86 Пластмассы. Методы определения толщины пленок и листов

ГОСТ 26277—84 Пластмассы. Общие требования к изготовлению образцов способом механической обработки

ГОСТ 33345—2015 (ISO 1268–1:2001) Композиты полимерные. Производство пластин для изготовления образцов для испытаний. Общие технические требования

ГОСТ 33346—2015 (ISO 1268–2:2001) Композиты полимерные. Производство пластин контактным формованием и напылением для изготовления образцов для испытаний

ГОСТ 33347—2015 (ISO 1268–3:2000) Композиты полимерные. Производство пластин прессованием для изготовления образцов для испытаний

ГОСТ 33348—2015 (ISO 1268–4:2005) Композиты полимерные. Производство пластин из препрегов для изготовления образцов для испытаний

ГОСТ 33349—2015 (ISO 1268–5:2001) Композиты полимерные. Производство пластин намоткой для изготовления образцов для испытаний

ГОСТ 33350—2015 (ISO 1268–7:2001) Композиты полимерные. Производство пластин литьевым прессованием для изготовления образцов для испытаний

ГОСТ 33351—2015 (ISO 1268–10:2005) Композиты полимерные. Изготовление образцов для испытаний литьем под давлением длинноволокнистых пресс-материалов

Издание официальное

ГОСТ 33367.8—2015 (ISO 1268–8:2004) Композиты полимерные. Производство пластин прямым прессованием препрегов и премиксов для изготовления образцов для испытаний

ГОСТ 33371—2015 (ISO 1268–6:2002) Композиты полимерные. Производство пластин пултрузией для изготовления образцов для испытаний

ГОСТ 33372—2015 (ISO 1268–9:2003) Композиты полимерные. Производство пластин прямым прессованием для изготовления образцов для испытаний

ГОСТ Р 56745—2015 (ИСО 6721–2:2008) Пластмассы. Определение механических свойств при динамическом нагружении. Часть 2. Метод крутильного маятника

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого стандарта с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого стандарта с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 **комплексный модуль M^*, Па** (complex modulus): Отношение динамического напряжения к динамической деформации вязкоупругого материала, который подвергают воздействию синусоидальных колебаний.

Динамическое напряжение σ, Па, вычисляют по формуле:

$$\sigma(t) = \sigma_A \exp(i2\pi ft). \quad (1)$$

где σ_A — амплитуда циклов напряжения, Па;

$i = \sqrt{-1}$;

f — частота, Гц;

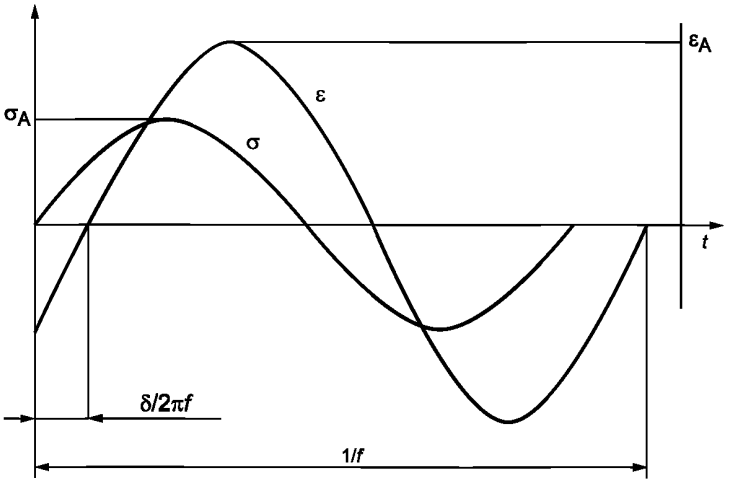
t — время, с.

Динамическую деформацию ε, %, вычисляют по формуле:

$$\varepsilon(t) = \varepsilon_A \exp[i(2\pi ft - \delta)], \quad (2)$$

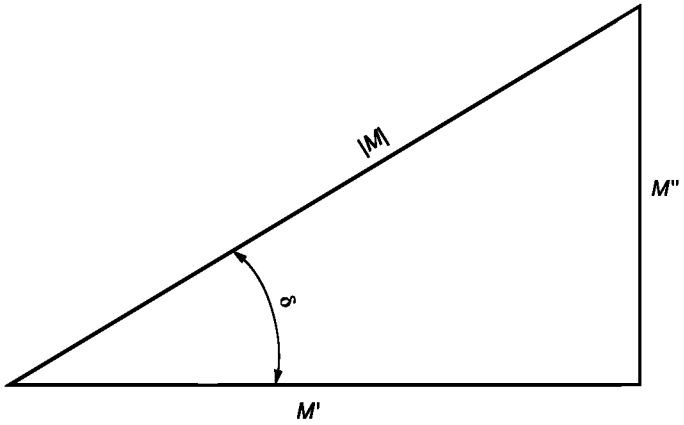
где ε_A — амплитуда циклов деформации, %;

δ — фазовый угол между напряжением и деформацией, рад (см. 3.5 и рисунок 1).



Фазовый сдвиг $\delta/2\pi f$ между напряжением σ и деформацией ε в вязкоупругом материале под действием синусоидальных колебаний (σ_A и ε_A — соответствующие амплитуды, f — частота)

Рисунок 1. Лист 1 — Фазовый угол и комплексный модуль



Связь между модулем упругости M', модулем потерь M'', фазовым углом δ и абсолютным значением $|M|$ комплексного модуля M^*

Рисунок 1. Лист 2 — Фазовый угол и комплексный модуль

Примечания

1 В зависимости от режима деформации комплексный модуль, который может быть одного из нескольких типов (G^*, E^*, K^* или L^*), складывается из модуля упругости M', Па, и модуля механических потерь M'', Па, согласно формуле:

$$M^* = M' + iM''. \quad (3)$$

Связь между разными типами комплексных модулей показана в таблице 1.

2 Для изотропных вязкоупругих материалов независимыми являются два из показателей упругости G^*, E^*, K^*, L^* и μ^* (μ^* — комплексный коэффициент Пуассона).

3 Наиболее важной величиной, включающей коэффициент Пуассона μ, является «объемный член» $1 - 2\mu$, значения которого находятся в интервале 0—0,4 для μ в интервале между 0,5 и 0,3. Соотношения в таблице 1, включающие в себя «объемный член» $1 - 2\mu$, используют, только если значение этого члена известно с достаточной точностью.

Согласно таблице 1, «объемный член» $1 - 2\mu$ может быть оценен с высокой степенью достоверности, только исходя из модуля объемной упругости K или модуля одноосной деформации L и с использованием E или G, поскольку измерения K и L включают деформации с относительно большой составляющей объемной деформации.

4 Модуль одноосной деформации L определяют при нагружении с высокой составляющей гидростатического напряжения. Следовательно, значение L допускается использовать вместо значения K, и «объемный член» $1 - 2\mu$ оценивают с достаточной точностью на основе пар модулей (G, L) и (E, L). Пара (G, L) является предпочтительной, поскольку модуль G определяют при нагружении без гидростатической составляющей.

5 Уравнения в таблице 1 применимы как для комплексных модулей, так и для их абсолютных значений (см. 3.4).

6 Большинство уравнений для расчета модулей, представленные в других частях настоящего стандарта, являются приближенными. Они не учитывают, например, «концевые эффекты», вызываемые креплением образцов в зажимах, а также предусматривают другие упрощения. Поэтому использование уравнений из таблицы 1 часто требует применения дополнительных коррекций.

7 В случае линейно-вязкоупругого поведения, комплексная податливость C^* является обратной величиной комплексного модуля M^*, т. е.:

$$M^* = (C^*)^{-1}. \quad (4)$$

Таким образом:

$$M' + iM'' = \frac{C' - iC''}{(C')^2 + (C'')^2}. \quad (5)$$

Таблица 1 — Взаимосвязь между модулями для однородно изотропных материалов

Показатель	G и μ	E и μ	K и μ	G и E	G и K	E и K	G и L[a]
Коэффициент Пуассона, μ $1-2\mu =$[b]				$3-\frac{E}{G}$	$\frac{G/K}{1+G/3K}$	$\frac{E}{3K}$	$\frac{1}{L/G-1}$
Модуль сдвига, $G =$			$\frac{3K(1-2\mu)}{2(1+\mu)}$			$\frac{E}{3-E/3K}$	
Модуль Юнга, $E =$	$2G(1+\mu)$	$\frac{E}{2(1+\mu)}$	$3K(1-2\mu)$		$\frac{3G}{1+G/3K}$		$\frac{G3(1-4G/3L)}{1-G/L}$
Модуль объемной упругости, $K =$[c]	$\frac{2G(1+\mu)}{3(1-2\mu)}$	$\frac{E}{3(1-2\mu)}$		$\frac{G}{3(3G/E-1)}$			$L-\frac{4G}{3}$
Модуль одноосной деформации или модуль продольных волн, $L =$	$\frac{2G(1-\mu)}{1-2\mu}$	$\frac{E(1-\mu)}{(1+\mu)(1-2\mu)}$	$\frac{3K(1-\mu)}{1+\mu}$	$\frac{G(4G/E-1)}{3G/E-1}$	$K-\frac{4G}{3}$		

[a] См. примечание 6 к определению 3.1.
[b] См. примечание 4 к определению 3.1.
[c] См. примечание 5 к определению 3.1.

3.2 **модуль упругости *M′*, Па** (storage modulus): Действительная часть комплексного модуля упругости *M** (см. рисунок 1, b).

Примечания

1 Модуль упругости пропорционален максимальной энергии, запасенной во время цикла нагружения, и является мерой жесткости вязкоупругого материала.

2 Существуют различные типы модуля упругости, соответствующие разным режимам деформации: E'_t — модуль упругости при растяжении *(модуль Юнга),* E'_f — модуль упругости при изгибе, G'_s — модуль упругости при сдвиге, G'_{to} — модуль упругости при кручении, K' — модуль объемной упругости, L'_C — модуль одноосной деформации и L'_w — модуль продольных волн.

3.3 **модуль потерь *M″*, Па** (loss modulus): Мнимая часть комплексного модуля *M** (см. рисунок 1, b).

Примечание — Модуль потерь пропорционален энергии, которая рассеивается (теряется) во время цикла нагружения. Подобно модулю упругости (см. 3.2), режим деформации обозначается в соответствии с таблицей 3, например, E''_t — модуль потерь при растяжении.

3.4 **абсолютное значение комплексного модуля $|M|$, Па** (magnitude of the complex modulus): Среднеквадратичное значение модуля упругости и модуля потерь, вычисляемое по формуле:

$$|M|^2 = (M')^2 + (M'')^2 = (\sigma_A / \varepsilon_A)^2. \quad (6)$$

Примечание — Взаимосвязь между модулем упругости *M′*, модулем потерь *M″*, фазовым углом δ и абсолютным значением комплексного модуля $|M|$ представлена на рисунке 1, b. Подобно модулю упругости (см. 3.3), режим деформации обозначается в соответствии с таблицей 3, например, $|E_t|$ — абсолютное значение комплексного модуля упругости при растяжении.

3.5 **фазовый угол δ, радианы** (phase angle): Разность фаз между динамическим напряжением и динамической деформацией в вязкоупругом материале, подвергнутом воздействию синусоидальных колебаний (см. рисунок 1).

Примечание — Подобно модулю упругости (см. 3.3), режим деформации обозначается в соответствии с таблицей 3, например, δ_t — фазовый угол при растяжении.

3.6 **тангенс угла механических потерь, коэффициент механических потерь tgδ** (loss factor): Отношение модуля потерь к модулю упругости, вычисляемое по формуле:

$$\text{tg}\delta = M'' / M'. \quad (7)$$

Примечания

1 Тангенс угла механических потерь является безразмерной величиной.

2 Коэффициент механических потерь tgδ широко используют в качестве меры демпфирования в вязкоупругой системе. Аналогично модулю упругости (см. 3.2), режим деформации обозначается в соответствии с таблицей 3, например, $\text{tg}\delta_t$ — тангенс угла механических потерь при растяжении.

3.7 **петля упругого гистерезиса** (stress-strain hysteresis loop): Отображение напряжения как функции деформации вязкоупругого материала под действием синусоидальных колебаний.

Примечание — При условии линейности вязкоупругих свойств график представляет собой эллипс (рисунок 2).

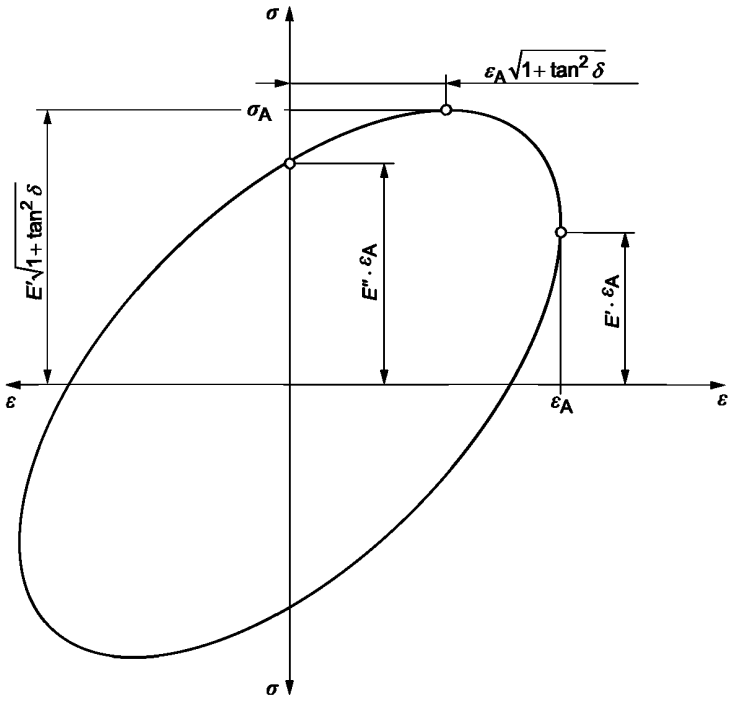


Рисунок 2 — Петля гистерезиса «напряжение — деформация» для вязкоупругого материала, подвергнутого синусоидальным колебаниям растяжения

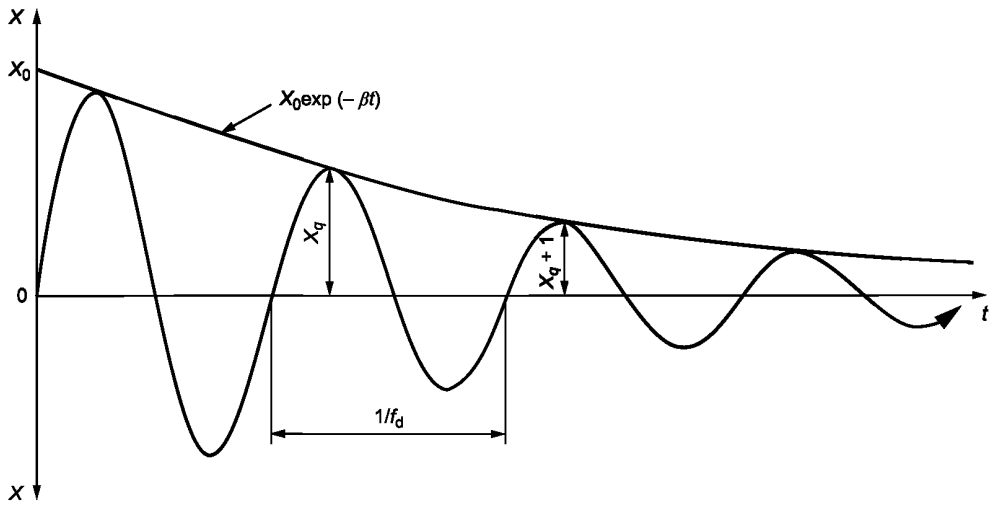
3.8 **кривая затухающих колебаний** (damped vibration *curve*): Зависимость деформации или скорости деформации X вязкоупругой системы, подвергнутой свободно затухающим колебаниям (рисунок 3), от времени t вычисляют по формуле:

$$X(t) = X_0\exp(-\beta t)\cdot\sin 2\pi f_d t, \quad (8)$$

где X_0 — значение огибающей амплитуду цикла в нулевое время;

β — постоянная времени затухания, $с^{-1}$ (см. 3.9);

f_d — частота затухающей системы, Гц.



X — деформация или скорость деформации; t — время; X_q — амплитуда q цикла;
X_0 и β — параметры, определяющие форму огибающей экспоненциального затухания амплитуд цикла по формуле (8)

Рисунок 3 — Кривая затухающих колебаний вязкоупругой системы

3.9 **постоянная времени затухания β, $с^{-1}$** (decay constant): Коэффициент, определяющий уменьшение амплитуды свободно затухающих колебаний со временем, т. е. зависимость от времени амплитуды деформации или скорости деформации X_q [рисунок 3 и формула (8)].

3.10 **логарифмический декремент Λ** (logarithmic decrement): Натуральный логарифм отношения двух последовательных амплитуд в одном направлении свободных затухающих колебаний вязкоупругой системы (рисунок 3), вычисляют по формуле:

$$\Lambda = \ln(X_q/X_{q+1}), \quad (9)$$

где X_q и X_{q+1} — две последовательные амплитуды деформации или скорости деформации в одном направлении.

Примечания

1 Логарифмический декремент является безразмерной величиной.

2 Логарифмический декремент используют в качестве меры затухания в вязкоупругой системе.

3 Выраженный через постоянную времени затухания β, $с^{-1}$, и частоту f_d, Гц, логарифмический декремент Λ вычисляют по формуле:

$$\Lambda = \beta/f_d. \quad (10)$$

4 Тангенс угла механических потерь tgδ связан с логарифмическим декрементом через приближенное выражение:

$$\mathrm{tg}\delta \approx \Lambda/\pi. \quad (11)$$

5 Свободные затухающие колебания особенно подходят для анализа типа затухания в испытуемом материале (т. е. являются ли вязкоупругие свойства линейными или нелинейными) и трения между движущимися и неподвижными частями прибора (см. приложение В).

3.11 **резонансная кривая** (resonance curve): Кривая, представляющая частотную зависимость амплитуды деформации D_A или амплитуды скорости деформации R_A инертной вязкоупругой системы под воздействием вынужденных колебаний с постоянной амплитудой нагружения L_A, при резонансной и близких к ней частотах (см. рисунок 4 и приложение А).

3.12 **резонансные частоты f_{ri}, Гц** (resonance frequencies): Частоты пиков амплитуды на резонансной кривой.

Примечания

1 Подстрочный индекс *i* указывает на порядок резонансного колебания.

2 Резонансные частоты для вязкоупругих материалов, полученные из измерений амплитуды деформации, будут немного отличаться от частот, полученных из измерений скорости деформации, эта разница будет тем больше, чем больше потери в материале (см. приложение А). Модули упругости и потерь могут быть строго вычислены с использованием простых выражений из резонансных частот, полученных из кривых скоростей деформации. Использование резонансных частот, полученных на основе измерений деформации, приводит к небольшой ошибке, которая является значимой только при больших потерях в образце. В этих условиях резонансные методы испытаний неприменимы.

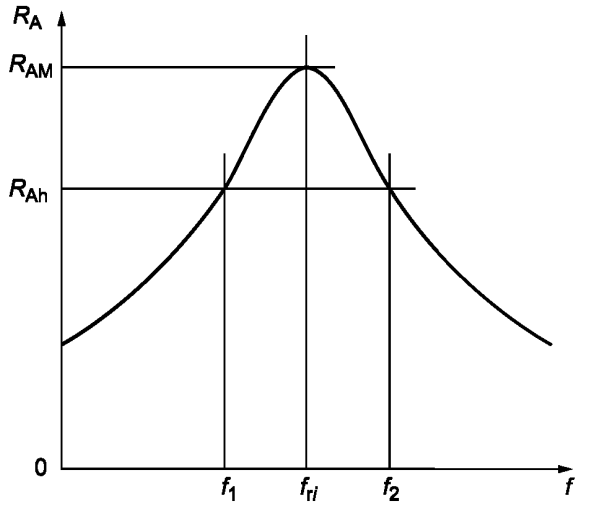


Рисунок 4 — Резонансная кривая для вязкоупругой системы под воздействием вынужденных колебаний (зависимость амплитуды скорости деформации R_A от частоты *f* при постоянной амплитуде нагружения; логарифмическая шкала частот)

3.13 **ширина резонансного пика Δf_1, Гц** (width of a resonance peak): Разница между частотами f_1 и f_2 пика *i* порядка, где высота R_{Ah} резонансной кривой при частотах f_1 и f_2 связана с высотой пика R_{AMi} *i* моды соотношением (рисунок 4).

$$R_{Ah} = 2^{-1/2} R_{AM} = 0{,}707 R_{AM}. \quad (12)$$

Примечания

1 Ширина резонансного пика связана с тангенсом угла механических потерь tgδ выражением^

$$\mathrm{tg}\delta = \Delta f_1 / \Delta f_{ri}. \quad (13)$$

Если тангенс угла механических потерь заметно не меняется в диапазоне частот, определяемом Δf_1, формула (13) верна при построении резонансной кривой на основе значений амплитуды скорости деформации (см. приложение А).

4 Сущность метода

Образец известной формы подвергают воздействию механических колебаний, характеризуемых двумя параметрами: режимом колебаний и видом деформации.

Возможны четыре режима колебаний I—IV, в зависимости от того, является ли режим колебаний нерезонансным, резонансным или околорезонансным (режимы приведены таблице 2).

Таблица 2 — Режимы колебаний

Режим колебаний	I	II	III	IV[a)]
	Вынужденные колебания			Свободно затухающие колебания
	Постоянная частота	Резонансная частота	Резонансная кривая	
Частота	Нерезонансная	Резонансная	Переменная, околорезонансная	Приближенно резонансная
Амплитуда нагружения	Один параметр постоянный, другой измеряется	Постоянная[b)]	Постоянная	Возбуждающий импульс
Амплитуда деформации		Измеряется	Измеряется	
Инерциальная масса	Отсутствует	Масса образца и/или дополнительные массы в зависимости от диапазона частот		

[a)] Необходимо указать тип используемого крутильного маятника посредством добавления соответствующей буквы, A или B, см. ГОСТ Р 56745 (рисунки 1 и 2).

[b)] Нагрузка должна совпадать по фазе со скоростью деформации.

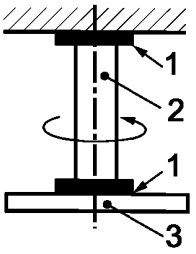
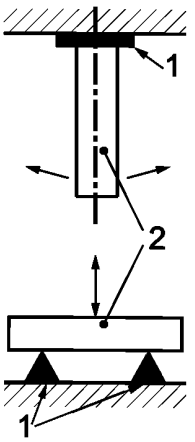
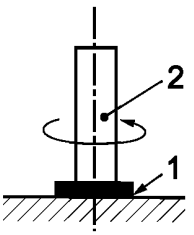
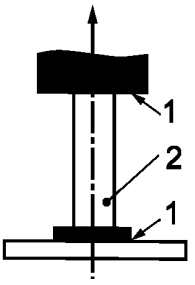
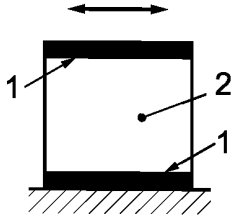
Конкретный тип модуля зависит от вида деформации (см. таблицу 3).

Таблица 3 — Тип модуля (вид деформации)

Обозначение	Тип модуля
E_t	Растяжение
E_f	Изгиб
G_s	Сдвиг
G_{to}	Кручение
K	Объемное сжатие
L_c	Одноосное сжатие (тонких листов)
L_w	Продольная объемная волна

В таблице 4 указаны способы, наиболее часто используемые для измерения модулей различного типа. В таблице 5 представлено краткое описание методов, описанных в различных частях настоящего стандарта.

Таблица 4 — Наиболее распространенные приспособления для испытания

Приспособление для испытания*	Тип модуля и режим колебаний		Соответствующая часть настоящего стандарта	Инерционная масса	Типичная частота, Гц
	G_{to}	IV	Часть 2	Инерционный элемент	От 0,1 до 10
	E_f	III	Часть 3	Образец	От 10 до 1000
	E_f	I	Часть 5	Отсутствует	От 10^{-3} до 100
	G_{to}	I	Часть 7		
	E_t	I	Часть 4		
	G_s	I	Часть 6		

Окончание таблицы 4

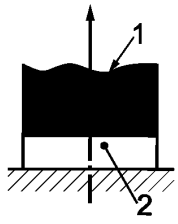
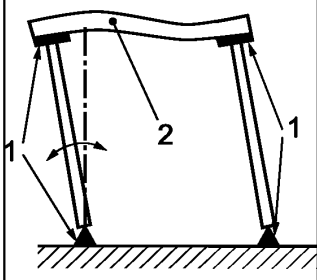
Приспособление для испытания*	Тип модуля и режим колебаний		Соответствующая часть настоящего стандарта	Инерционная масса	Типичная частота, Гц
	L_c	I	—	Отсутствует	От 10^{-3} до 100
	E_f	I	—		От 10^{-3} до 10
	E_f	II	—	Образец и рычаги	От 3 до 60
* Условные обозначения: 1 — зажимы, опоры или держатели; 2 — образец; 3 — инерционный элемент.					

Таблица 5 — Методы, представленные в различных частях настоящего стандарта

Режим колебаний (см. таблицу 2)	Тип модуля (см. таблицу 3)						
	E_t	E_f	G_s	G_{to}	K	L_c	L_w
I	Часть 4	Часть 5	Часть 6	Часть 7			Часть 8
II							
III		Часть 3					
IV				Часть 2			

5 Оборудование и материалы

5.1 Оборудование

Подробное описание используемого прибора содержится в соответствующих частях настоящего стандарта (см. раздел 4).

5.2 Механическая, электронная и регистрационная системы

Механическая, электронная и регистрационная системы описаны в соответствующих частях настоящего стандарта.

5.3 Камера с регулируемой температурой

Образец для испытания вместе с зажимами или опорами должен находиться в камере с регулируемой температурой, содержащей воздух или подходящий инертный газ.

Камера должна быть спроектирована таким образом, чтобы температура в ней могла меняться в диапазоне, достаточном для исследуемого материала (например, от минус 100 до плюс 300 °С). Рекомендуется использование камеры с функцией программирования температуры.

Температура в камере должна быть одинаковой в пределах ± 1 °С по всей длине образца. При использовании изотермического метода (см. 9.5) температура во время испытания должна поддерживаться постоянной с точностью ± 1 °С. При использовании постоянной скорости нагревания или охлаждения (см. 9.4) скорость не должна превышать 120 °С $ч^{-1}$, а температура не должна изменяться со временем более чем на ± 0,5 °С в течение единичного измерения (например, серия свободных колебаний после начального импульса или резонансная кривая).

5.4 Источник газа

Источник воздуха или подходящего инертного газа для продувки.

5.5 Устройство для измерения температуры

Устройство для измерения температуры воздуха вблизи образца должно измерять температуру с погрешностью не менее ± 0,5 °С. Рекомендуется использовать термометр с малоинерционным датчиком.

5.6 Устройства для измерения размеров образца для испытания

Размеры образца для испытания, используемые при расчете модулей, измеряют только при комнатной температуре. Поэтому при измерениях зависимость модуля от температуры влияния теплового расширения не учитывается.

Устройства, используемые для измерения длины, ширины и толщины образца (см. также *ГОСТ 17035*), должны иметь возможность определять эти величины с погрешностью ± 0,5 %.

6 Образцы для испытания

6.1 Общие положения

Характеристики, измеряемые с применением настоящих методов, чувствительны к неоднородности размеров образцов и различиям в их физическом состоянии (например, степень кристалличности, ориентация или внутреннее напряжение). Эти факторы необходимо принимать во внимание при выборе размеров и допусков, методов подготовки и кондиционирования образцов из определенных материалов.

Образцы (однородные образцы, слоистые пластины или полосы) должны иметь пренебрежимо малую усадку или коробление в пределах температурного диапазона измерений.

6.2 Подготовка

Подготовку образцов для испытания следует выполнять в соответствии с *нормативными документами или технической документацией на испытуемый материал*. Образцы могут быть изготовлены механической обработкой (*см. ГОСТ 26277*) из прессованных плит (*см. ГОСТ 12019, ГОСТ 12015, ГОСТ 33345 — ГОСТ 33351, ГОСТ 33367.8, ГОСТ 33371, ГОСТ 33372*) или из готовых изделий. Изготовление образцов допускается методом литья под давлением *(см. ГОСТ 12019)*.

7 Количество образцов

Используют не менее трех образцов для одиночных измерений, т. е. измерений при одной температуре и частоте. Если температура и/или частота изменяется в достаточно широком интервале, для целей контроля качества достаточно одного образца. Во всех остальных случаях следует испытывать не менее двух образцов.

8 Кондиционирование образцов

Кондиционирование образцов для испытания проводят в соответствии с *нормативными документами или технической документацией* на испытуемый материал. При отсутствии такой информации должны быть выбраны подходящие условия по *ГОСТ 12423*, если иное не согласовано с заинтересованными сторонами.

9 Проведение испытания

9.1 Атмосфера испытания

Температура (или температурная программа) испытания, продувочный газ (воздух или инертный газ) и относительная влажность должны быть выбраны в соответствии с конкретным видом и целью испытания.

9.2 Измерение поперечного сечения образца

Перед испытанием измеряют ширину и толщину каждого образца с точностью ± 0,5 % в пяти точках по его длине. Образцы с видимыми дефектами, например утяжинами или отличиями в толщине и/или ширине, превышающими 3 % от среднего значения, отбраковывают. Для образцов с неравномерной толщиной, например готовых деталей, может быть определен только тангенс угла механических потерь.

Методика измерения размеров образцов других форм должна быть согласована заинтересованными сторонами.

9.3 Установка образца для испытания

Установка образца описана в соответствующих частях настоящего стандарта.

9.4 Изменение температуры

Если независимой переменной является температура, образец нагревают в исследуемом диапазоне температур с одновременным измерением вязкоупругих свойств. Частота колебаний может быть постоянной (режим колебаний I), естественным образом снижаться с повышением температуры (режимы колебаний II и IV) или переменной (режим колебания III) (см. таблицу 2).

Испытания, проводимые в исследуемом диапазоне температур, должны выполняться при ступенчатом увеличении температуры или при скорости изменения температуры, достаточно низкой для достижения температурного равновесия во всем объеме образца. Время достижения равновесия зависит от массы конкретного образца и характеристик прибора. Подходящими являются значения скорости нагревания от 1 до 2 °С $мин^{-1}$ или шаг изменения температуры от 2 до 5 °С с выдержкой не менее 3 мин. Для режима колебаний III рекомендуется выдержка в течение 10 мин.

На значения динамических модулей упругости полимеров оказывает влияние состояние образца на момент измерения вследствие его физического старения. Это состояние зависит от тепловой предыстории образца и изменений, протекающих со временем при температурах ниже температуры θ_α, соответствующей середине области α-релаксации. α-релаксация является наиболее высокотемпературным видом механической релаксации и в аморфных полимерах соответствует переходу из стеклообразного в высокоэластичное состояние. Изменения физического состояния влияют на подвижность молекул, а значит, на отклик полимера на переменную нагрузку или деформацию.

При выполнении измерений с увеличением температуры изменения в состоянии начнут происходить во время выполнения испытания при приближении температуры к θ_α. При последующем охлаждении установится другое физическое состояние образца, и дальнейшие измерения динамических свойств не будут приводить к воспроизведению предыдущих значений. Для повышения точности измерений при повышенных температурах требуется учет тепловой предыстории образца и скорости нагревания.

9.5 Изменение частоты

Если независимой переменной является частота колебаний, температуру испытания фиксируют на требуемом уровне. Во время измерения вязкоупругих свойств изменяют частоту колебаний образца.

9.6 Изменение амплитуды деформации

Если метод испытания позволяет выполнять измерения в диапазоне амплитуд деформации, рекомендуется представить зависимость модуля упругости от амплитуды динамической деформации $\varepsilon_Д$, чтобы показать предел деформаций для линейных вязкоупругих свойств. Измерения должны выполняться от наименьшего значения деформации, для которого возможно точное измерение, к большим значениям. Измерения следует выполнять при низкой частоте, рекомендуется — 1 Гц.

Примечание — При динамической нагрузке температура вязкоупругих материалов может значительно увеличиваться вследствие рассеивания механической энергии в образце в виде тепла. При значительном увеличении температуры свойства под нагрузкой будут зависеть от времени. Рост температуры увеличивает величину модуля потерь материала, амплитуду динамической деформации и частоту. Если цифровые устройства обработки данных позволяют анализировать результаты в течение первых нескольких циклов, влияние такого роста температуры может быть сведено к минимуму. *Результаты* последовательных измерений будут меняться с течением времени, поскольку продолжается рост температуры образца, и подобные наблюдения будут свидетельствовать о необходимости проявления большей осторожности при обработке и интерпретации результатов.

10 Обработка результатов

Подготавливают таблицу результатов, используя обозначения модулей из таблицы 3 для соответствующего типа деформации, с указанием типа колебания из таблицы 2, например, E_f'' (III) — модуль потерь при изгибе, измеренный с использованием резонансных кривых.

Средние значения и, если это необходимо и возможно, стандартные отклонения для модулей упругости и потерь должны быть представлены с точностью до двух значащих цифр.

Если метод испытания позволяет выполнять измерения в диапазоне амплитуд деформаций, представляют результаты в виде графика зависимости модуля упругости от амплитуды деформации.

Также строят графики зависимости значений модуля упругости и потерь от температуры при разных частотах или графики зависимости значений модуля упругости и потерь от частоты при разных температурах в логарифмическом масштабе для осей, модулей и частот.

11 Прецизионность

Прецизионность описана в соответствующих частях настоящего стандарта.

12 Протокол испытаний

Протокол испытаний должен содержать следующую информацию:

- ссылку на соответствующую часть настоящего стандарта;
- все данные, необходимые для полной идентификации испытуемого вещества (включая тип, источник, код завода-изготовителя, форму поставки и предысторию, если они известны);
- для листовых материалов — толщину листа и, если применимо, направление основных осей образцов относительно листа;
- дату проведения испытания;
- форму и габаритные размеры образцов;
- способ подготовки образцов;
- данные о кондиционировании образцов;
- количество испытуемых образцов;
- данные об атмосфере испытания, если используется газ, отличный от воздуха;
- описание оборудования, используемого для испытания;
- температурную программу испытания, включая начальное и конечное значения температуры, скорость линейного изменения температуры или величину и продолжительность температурных ступеней;
- графики зависимости модулей упругости и потерь от температуры или частоты;
- если возможно, график зависимости модуля упругости от амплитуды динамической деформации при одном значении частоты.

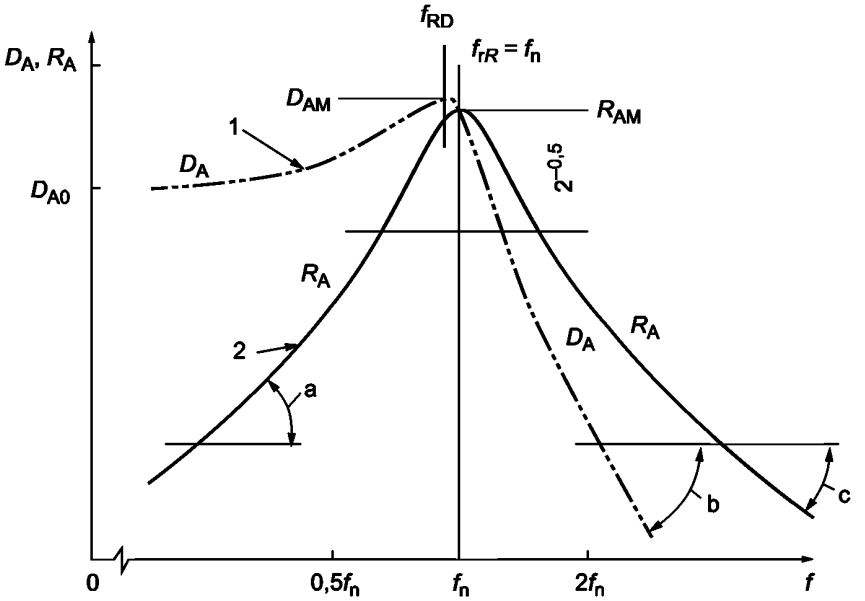
Приложение А
(обязательное)

Резонансные кривые

А.1 При воздействии на механически инертную вязкоупругую систему колебательной нагрузки с изменяющейся частотой и постоянной амплитудой система демонстрирует свойства однократного резонанса или последовательно-параллельного (многократного) резонанса. Это может быть описано с использованием амплитуды деформации D_A или амплитуды скорости деформации R_A системы.

А.2 В испытаниях на колебания резонансные свойства обычно представляются в виде графиков зависимости амплитуды деформации D_A системы от частоты f. Характеристики данного типа резонанса $D_A(f)$ представлены в А.2.1—А.2.4.

А.2.1 Для колебаний первого порядка при низких частотах D_A стремится к ограниченному «статическому» значению амплитуды D_{A0} ($f = 0$), а при высоких частотах — к постоянному наклону –2 (–40 дБ/разряд) при построении графиков с применением одинаковой логарифмической шкалы вдоль обеих осей (рисунок А.1).

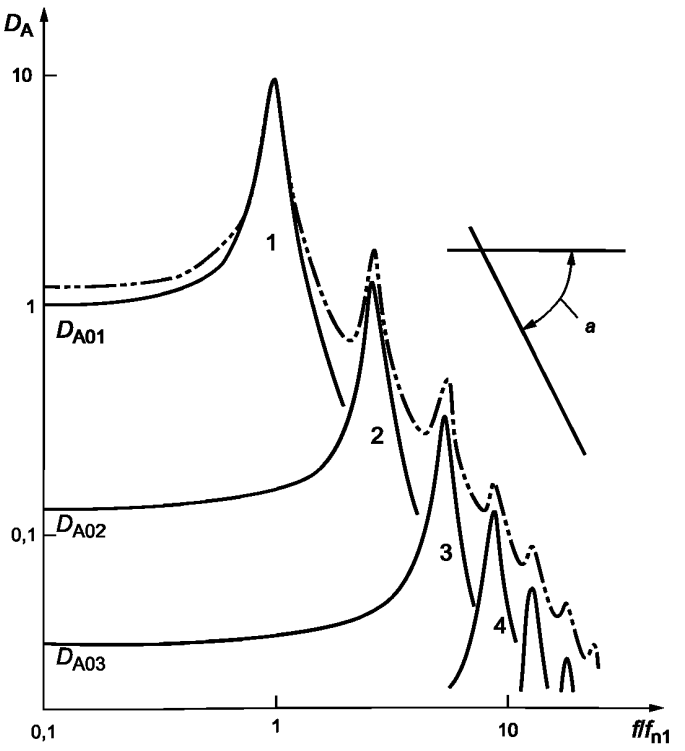


Кривые, построенные как функции 1 — амплитуды деформации D_A от частоты f и 2 — амплитуды скорости деформации R_A от частоты для колебаний первого порядка. Графики построены с логарифмическим масштабом по обеим осям с учетом коэффициента потерь $\text{tg}\delta = 0{,}6$. D_{AM} и R_{AM} — резонансные амплитуды, f_{RD} и f_{rR} — частоты соответствующих пиков и f_n — собственная частота (частота пика без затухания, при $\text{tg}\delta = 0$); a — наклон +1, b — наклон –2, c — наклон –1

Рисунок А.1 — Резонансные кривые

А.2.2 Резонансная частота f_{RD} при амплитуде пика D_{AM} отличается от собственной частоты f_n (этой же системы, но без затухания). Последний параметр определяет значение составляющей упругости M' комплексного модуля. Следовательно, M' может быть определен из кривых $D_A(f)$ только приблизительно.

А.2.3 Для ряда порядков колебаний i резонансные амплитуды D_{AMi} значительно снижаются, приблизительно пропорционально $(f_{Ri})^{-2}$ (рисунок А.2).



Сплошная линия — отдельные порядки i = 1, 2, 3, ...; пунктирная линия — сумма отдельных порядков (кривая многократного резонанса); f_{n1} — собственная частота для колебаний первого порядка; a — наклон –2

Рисунок А.2 — Резонансные кривые, построенные как функции от значений амплитуды деформации D_A порядка колебаний i = 1, 2, 3 для колеблющегося на изгиб образца с обоими свободными концами и для $\mathrm{tg}\delta$ = 0,1

А.2.4 Существует сложное выражение, связывающее ширину резонансного пика Δf и $D_A(f)$, из которого может быть приблизительно найден тангенс угла механических потерь $\mathrm{tg}\delta$ (см. таблицу А.1).

А.3 Резонансные кривые могут также быть представлены в виде графиков амплитуды скорости деформации $R_A(f)$. В сравнении с графиком $D_A(f)$, описанным выше, этот вариант имеет множество преимуществ; см. А.3.1—А.3.4.

А.3.1 Для колебаний первого порядка при построении графика с использованием одинаковых логарифмических шкал вдоль обеих осей резонансная кривая $R_A(f)$ является симметричной по форме и стремится к значениям наклона плюс 1 и минус 1 (± 20 дБ/дек) при низких и высоких частотах.

А.3.2 Резонансная частота f_{rR} при амплитуде пика R_{AM} совпадает с собственной частотой f_n. Это дает точную формулу для упругой составляющей M' комплексного модуля (см. примечание 3 к определению 3.12).

А.3.3 Для ряда порядков колебаний резонансная амплитуда R_{AMi} уменьшается пропорционально только $(f_{ni})^{-1}$. Это дает значительно более широкий диапазон порядков колебаний (рисунок А.3) и лучшее разрешение для высших порядков (I > 1) для высокодемпфирующих материалов (рисунок А.4).

А.3.4 Простая зависимость между шириной резонансного пика Δf и коэффициентом механических потерь является точной (см. таблицу А.1 и 3.13).

Таблица А.1 — Уравнения, включающие резонанс деформации $D_A(f)$ и резонанс скорости деформации $R_A(f)$ (первый порядок колебаний)

Уравнения	Амплитуда деформации D_A	Амплитуда скорости деформации R_A
Уравнение резонансной кривой, где $\chi = f/f_n$	$\left(\frac{D_{AM}}{D_A}\right)^2 = \frac{\left(1-x^2\right)^2 \Big/ \mathrm{tg}^2\delta + x^2}{1-\frac{1}{4}\mathrm{tg}^2\delta}$	$\left(\frac{R_{AM}}{R_A}\right) = 1+\frac{\left(x+x^{-1}\right)^2}{\mathrm{tg}^2\delta}$
Собственная частота, где $M' \infty f_n^2$	$f_n = f_{RD}\left(1-\frac{1}{2}\mathrm{tg}^2\delta\right)^{-1/2}$	$f_n = f_{rR}$

Окончание таблицы А.1

Уравнения	Амплитуда деформации D_A	Амплитуда скорости деформации R_A
Ширина Δf и Δf^2, где α — относительное снижение амплитуды (затухание)	$\frac{\Delta f^2}{2(f_{RD})^2} = \mathrm{tg}\delta \cdot \left(\alpha^2 - 1\right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left(1 + \frac{1}{4}\mathrm{tg}^2\delta\right)^{1/2} \cdot \left(1 - \frac{1}{2}\mathrm{tg}^2\delta\right)^{1/2}$	$\frac{\Delta f}{f_n} = \mathrm{tg}^2 \cdot \left(\alpha^2 - 1\right)^{1/2}$
Рекомендуемое значение $\alpha = \sqrt{2}$ (≈ 3 дБ), т. е. $(\alpha 2 - 1)1/2 = 1$. В этом случае Δf часто называют полушириной.		

А.4 Для большинства типов измерительного оборудования регистрируются амплитуды скорости деформации, поскольку в них установлены вибродатчики индукционного типа. (Амплитуды деформации измеряются с применением систем с несущей частотой.)

А.5 Как видно из уравнений, приведенных в таблице А.1, отличиями в зависимостях для деформационных резонансных кривых и резонансных кривых скорости деформации можно пренебречь при коэффициенте потерь ≤ 0,1.

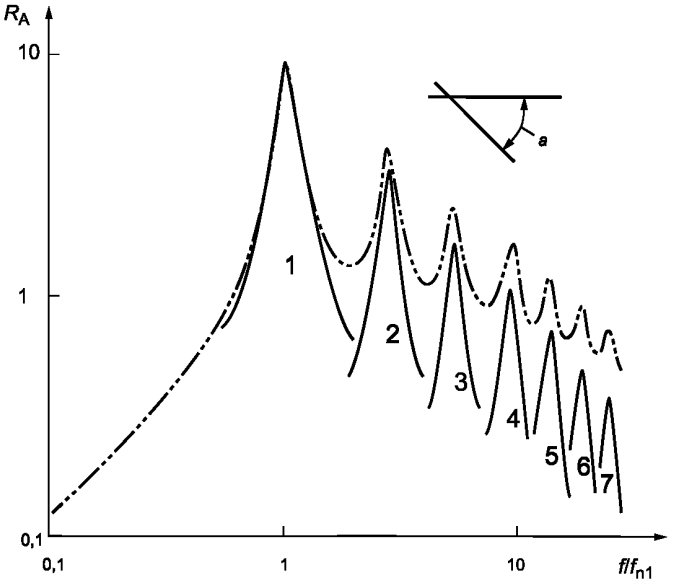


Рисунок А.3 — Резонансные кривые, аналогично рисунку А.2, но построенные как функция амплитуды скорости деформации R_A (a — наклон –1)

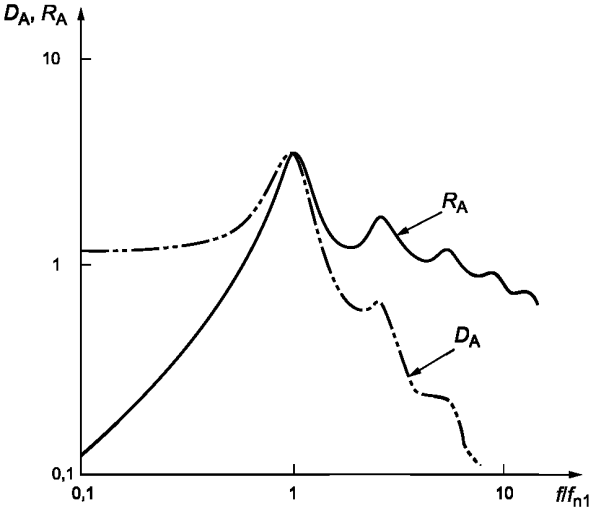
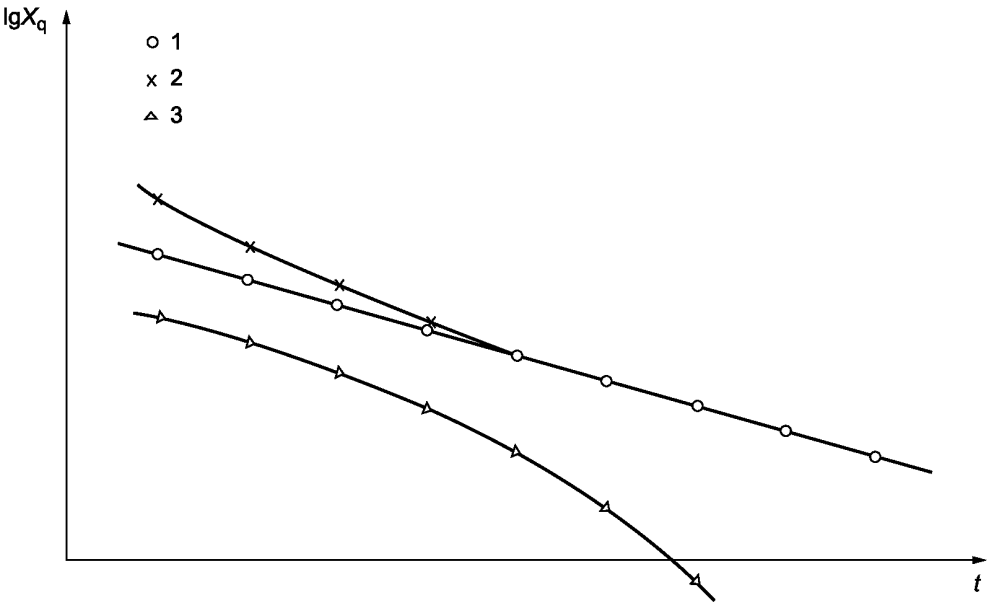


Рисунок А.4 — Кривые многократного резонанса, аналогично рисункам А.2 и А.3, при $\mathrm{tg}\delta = 0{,}6$

Приложение В
(справочное)

Отклонения от линейной динамики

На рисунке В.1 показаны полулогарифмические графики зависимости амплитуды свободно затухающих колебаний X_q от времени t. Такие графики обеспечивают хорошую проверку линейности демпфирующих свойств. Начальные амплитуды за пределами диапазона линейного поведения испытуемого материала демонстрируют сверхэкспоненциальное затухание (график на рисунке В.1 обозначен крестиками). Подобное поведение наблюдается, если демпфирование образца является крайне низким и влияние на затухание колебательной системы окружающего воздуха становится значимым. Точки, обозначенные треугольниками, дают кривую с противоположным изгибом, которая стремится к линейной зависимости амплитуды от времени вместо экспоненциальной. График такого типа указывает на трение между движущимися и неподвижными частями устройства. Оба типа отклонений от линейного вязкоупругого поведения могут быть обнаружены только при измерениях свободно затухающих колебаний. При вынужденных колебаниях генерируются лишь крайне слабые ангармонические деформации.



1 — линейное вязкоупругое поведение с экспоненциальным затуханием;
2 — нелинейное вязкоупругое поведение (начальное сверхэкспоненциальное затухание);
3 — трение между движущимися и неподвижными частями (линейное затухание)

Рисунок В.1 — Логарифм амплитуды свободно затухающих колебаний X_q в зависимости от времени t

Приложение ДА
(справочное)

Сведения о соответствии ссылочных национальных и межгосударственных стандартов международным стандартам, использованным в качестве ссылочных в примененном международном стандарте

Таблица ДА.1

Обозначение ссылочного национального, межгосударственного стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование ссылочного международного стандарта
ГОСТ Р 000001—2015	MOD	ИСО 6721-2:2008 «Пластмассы. Определение механических свойств при динамическом нагружении. Часть 2. Метод крутильного маятника»
ГОСТ 33345—2015	MOD	ИСО 1268-1:2001 «Волокниты. Методы приготовления плит для испытаний. Часть 1. Общие условия»
ГОСТ 33346—2015	MOD	ИСО 1268-2:2001 «Волокниты. Методы приготовления плит для испытаний. Часть 2. Контактное формование и формообразование напылением»
ГОСТ 33347—2015	MOD	ИСО 1268-3:2000 «Волокниты. Методы приготовления плит для испытаний. Часть 3. Прямое прессование мокрым методом»
ГОСТ 33348—2015	MOD	ИСО 1268-4:2005 «Волокниты. Методы приготовления плит для испытаний. Часть 4. Формование препрегов»
ГОСТ 33349—2015	MOD	ИСО 1268-5:2001 «Волокниты. Методы приготовления плит для испытаний. Часть 5. Намотка нити»
ГОСТ 33371—2015	MOD	ИСО 1268-6:2002 «Волокниты. Методы приготовления плит для испытаний. Часть 6. Получение одноосноориентированного волокнистого пластика путем прессования»
ГОСТ 33350-2015	MOD	ИСО 1268-7:2001 «Волокниты. Методы приготовления плит для испытаний. Часть 7. Литьевое прессование смол»
ГОСТ 33367.8—2015	MOD	ИСО 1268-8:2004 «Волокниты. Методы приготовления плит для испытаний. Часть 8. Прямое прессование листового формовочного материала (SMC) и стеклонаполненной композиции (BMC)»
ГОСТ 33372—2015	MOD	ИСО 1268-9:2003 «Волокниты. Методы приготовления плит для испытаний. Часть 9. Прямое прессование GMT/STC»
ГОСТ 33351—2015	MOD	ИСО 1268-10:2005 «Волокниты. Методы приготовления плит для испытаний. Часть 10. Литьевое формование стеклонаполненной композиции для прессования (BMC) и других длинноволокнистых пресс-композиций. Общие принципы и формование универсальных испытательных образцов»
ГОСТ 12015-66	NEQ	ИСО 295–74 «Пластмассы. Изготовление образцов из термореактивных материалов методом прямого прессования»
ГОСТ 12019-66	NEQ	ИСО 293:1986 «Пластмассы. Образцы для испытаний из термопластичных материалов, изготовленные методом прямого прессования», ИСО 294-3:2002 «Пластмассы. Литье под давлением образцов для испытаний термопластичных материалов. Часть 3. Пластины небольших размеров»
ГОСТ 12423—2013	MOD	ИСО 291:2008 «Пластмассы. Стандартные атмосферы для кондиционирования и испытания»
ГОСТ 17035-86	NEQ	ИСО 4593–79 «Пластмассы. Пленка и листы. Определение толщины механическим сканированием»

Окончание таблицы ДА.1

Обозначение ссылочного национального, межгосударственного стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование ссылочного международного стандарта
ГОСТ 26277-84	NEQ	ИСО 2818:1994 «Пластмассы. Приготовление образцов для испытаний с помощью механической обработки»

Примечание — В настоящей таблице использовано следующее условное обозначение степени соответствия стандартов:

MOD — модифицированные стандарты;

NEQ — неэквивалентные стандарты.

УДК 678.017:006.354 ОКС 83.080.01 MOD

Ключевые слова: пластмассы, динамическое нагружение, принципы, композитные материалы

Редактор *В.М. Костылева*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *Е.Р. Ароян*
Компьютерная верстка *Ю.В. Поповой*

Подписано в печать 25.02.2016. Формат 60 × 84 1/8. Гарнитура Ариал. Усл. печ. л. 2,79.

ИД «Юриспруденция», 115419, Москва, ул. Орджоникидзе, 11
gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru (495) 979-7028, 926-7525

Издано и отпечатано во ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 123995 Москва, Гранатный пер., 4.
gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru