
**Пластмассы. Определение
динамических механических свойств.**

**Часть 1.
Общие принципы**

*Plastics – Determination of dynamic mechanical properties –
Part 1: General principles*

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO 6721-1:2011

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/c9c47102-2f47-4777-acfe-7c22f659e301/iso-6721-1-2011>

Ответственность за подготовку русской версии несёт GOST R
(Российская Федерация) в соответствии со статьёй 18.1 Устава ISO



Ссылочный номер
ISO 6721-1:2011(R)

iTeh STANDARD PREVIEW (standards.iteh.ai)

ISO 6721-1:2011

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/c9c47102-2f47-4777-acfe-7c22f659e301/iso-6721-1-2011>



ДОКУМЕНТ ЗАЩИЩЕН АВТОРСКИМ ПРАВОМ

© ISO 2011

Все права сохраняются. Если не указано иное, никакую часть настоящей публикации нельзя копировать или использовать в какой-либо форме или каким-либо электронным или механическим способом, включая фотокопии и микрофильмы, без предварительного письменного согласия ISO по адресу ниже или членом ISO в стране регистрации пребывания.

ISO copyright office
Case postale 56 • CH-1211 Geneva 20
Tel. + 41 22 749 01 11
Fax + 41 22 749 09 47
E-mail copyright@iso.org
Web www.iso.org

Опубликовано в Швейцарии

Содержание

Страница

Предисловие	iv
Введение	vi
1 Область применения	1
2 Нормативные ссылки	1
3 Термины и определения	2
4 Принцип	8
5 Испытательная аппаратура	11
5.1 Тип	11
5.2 Механические, электронные и регистрирующие системы	11
5.3 Камера с регулируемой температурой	12
5.4 Подача газа	12
5.5 Устройство для измерения температуры	12
5.6 Устройства для измерения размеров исследуемых образцов материалов	12
6 Образцы для испытаний	12
6.1 Общие положения	12
6.2 Форма и размеры	13
6.3 Приготовление	13
7 Количество образцов для испытаний	13
8 Кондиционирование	13
9 Процедура	13
9.1 Испытательная атмосфера	13
9.2 Измерение поперечного сечения исследуемого образца	13
9.3 Установка исследуемых образцов материалов	14
9.4 Изменение температуры	14
9.5 Изменение частоты	14
9.6 Изменение амплитуды динамической деформации	14
10 Выражение результатов	15
11 Точность	15
12 Протокол испытания	15
Приложение А (информативное) Резонансные кривые	17
Приложение В (информативное) Отклонения от линейной характеристики	21
Библиография	22

Предисловие

Международная организация по стандартизации (ISO) является всемирной федерацией национальных организаций по стандартизации (комитетов-членов ISO). Разработка международных стандартов обычно осуществляется техническими комитетами ISO. Каждый комитет-член, заинтересованный в деятельности, для которой был создан технический комитет, имеет право быть представленным в этом комитете. Международные правительственные и неправительственные организации, имеющие связи с ISO, также принимают участие в работах. Что касается стандартизации в области электротехники, то ISO работает в тесном сотрудничестве с Международной электротехнической комиссией (IEC).

Проекты международных стандартов разрабатываются в соответствии с правилами Директив ISO/IEC, Часть 2.

Основной задачей технических комитетов является подготовка международных стандартов. Проекты международных стандартов, принятые техническими комитетами, рассылаются комитетам-членам на голосование. Их опубликование в качестве международных стандартов требует одобрения не менее 75 % комитетов-членов, принимающих участие в голосовании.

Следует иметь в виду, что некоторые элементы настоящего международного стандарта могут быть объектом патентных прав. Международная организация по стандартизации не может нести ответственность за идентификацию какого-либо одного или всех патентных прав.

ISO 6721 подготовил Технический комитет ISO/TC 61, *Пластмассы*, Подкомитет SC 2, *Механические свойства*.

Настоящее третье издание отменяет и замещает второе (ISO 6721-1:2001), которое было технически пересмотрено с внесением следующих изменений:

- новый подпункт (9.6), охватывающий случай, когда амплитуда динамической деформации изменяется, добавлен в раздел методики проведения испытаний;
- раздел выражения результатов (Раздел 10) и раздел протокола испытания (Раздел 12) были соответственно видоизменены [Раздел 10 путем добавления нового параграфа (третьего) и Раздел 12 путем добавления нового пункта, пункт n)].

ISO 6721 состоит из следующих частей под общим заголовком *Пластмассы. Определение динамических механических свойств*:

- *Часть 1. Общие принципы*
- *Часть 2. Крутильно-маятниковый метод*
- *Часть 3. Изгибное колебание. Метод кривой резонанса*
- *Часть 4. Растягивающее колебание. Нерезонансный метод*
- *Часть 5. Изгибное колебание. Нерезонансный метод*
- *Часть 6. Сдвиговое колебание. Нерезонансный метод*
- *Часть 7. Крутильное колебание. Нерезонансный метод*
- *Часть 8. Продольные и сдвиговые колебания. Метод распространения волны*
- *Часть 9. Растягивающее колебание. Метод распространения звукового импульса*

- *Часть 10. Комплексная сдвиговая вязкость, используя плоскопараллельный колебательный реометр*
- *Часть 11. Температура стеклования*
- *Часть 12. Компрессионное колебание. Нерезонансный метод*

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO 6721-1:2011

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/c9c47102-2f47-4777-acfe-7c22f659e301/iso-6721-1-2011>

Введение

Методы, заданные в первой части из девяти ISO 6721, могут быть использованы для определения модулей накопления (упругой части энергии) и потерь (рассеяния энергии в виде тепла) пластмасс в диапазоне температур или частот путем изменения температуры исследуемого образца или частоты колебания. Диаграммы модулей накопления или потерь, или того и другого, показывают вязкоупругие характеристики исследуемого образца пластмассы. Области быстрых изменений вязкоупругих свойств на конкретных температурах или частотах нормально называются как области перехода. Более того, из температурной и частотной зависимости модулей потерь можно оценивать затухание звука и колебание полимерных и металлополимерных систем.

Очевидные расхождения могут возникать в результатах, полученных в разных экспериментальных условиях. Данные наблюдений без изменения, полная информация (как изложено в разных частях ISO 6721) об условиях, в которых они были получены, позволят согласовать очевидные расхождения наблюдений в разных исследованиях.

Определения комплексных модулей точно применяются только к синусоидальным колебаниям с постоянной амплитудой и на постоянной частоте во время каждого измерения. С другой стороны, измерения небольших фазовых углов между напряжением и деформацией связаны с некоторыми трудностями в этих условиях. Так как эти трудности не вовлечены в некоторые методы на основе свободно затухающих колебаний вблизи резонанса, то они часто используются (см. ISO 6721-2 и ISO 6721-3). В этих случаях некоторые уравнения, определяющие вязкоупругие свойства, являются лишь приблизительно действительными.

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO 6721-1:2011

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/c9c47102-2f47-4777-acfe-7c22f659e301/iso-6721-1-2011>

Пластмассы. Определение динамических механических свойств

Часть 1. Общие принципы

1 Область применения

Разные части ISO 6721 задают методы определения динамических механических свойств жестких пластмасс в области линейной вязкоупругой характеристики. Настоящая часть ISO 6721 является вступительной, включающей определения всех аспектов, которые являются общими в отдельных методах испытаний, изложенных в последующих частях.

Разные типы деформации могут давать результаты, которые не являются непосредственно сопоставимыми. Например, растягивающее колебание имеет результатом напряжение, которое равномерно распределяется по всей толщине исследуемого образца, тогда как на измерения изгиба предпочтительное влияние оказывают свойства участков поверхности исследуемого образца.

Значения, выведенные на основе данных испытания на изгиб, будут сопоставимыми с теми значениями, которые выведены на основе данных испытания на растяжение только на уровнях деформации, когда взаимоотношение напряжений-деформаций является линейным для образцов, имеющих гомогенную структуру.

ISO 6721-1:2011

2 Нормативные ссылки

Следующие ссылочные документы являются обязательными для применения настоящего документа. Для устаревших ссылок применяется только цитируемое издание. Для недатированных ссылок применяется самое последнее издание ссылочного документа (включая поправки).

ISO 291, *Пластмассы. Стандартные атмосферы для кондиционирования и проведения испытаний*

ISO 293, *Пластмассы. Прямое (компрессионное) формование образцов для испытаний из термопластичных материалов*

ISO 294 (все части), *Пластмассы. Литьевое формование образцов для испытаний из термопластичных материалов*

ISO 295, *Пластмассы. Прямое (компрессионное) формование образцов для испытаний из термореактивных материалов*

ISO 1268 (все части), *Пластмассы, армированные волокном. Методы изготовления плит для испытаний*

ISO 2818, *Пластмассы. Приготовление образцов для испытаний путем механической обработки*

ISO 4593, *Пластмассы. Пленка и полотно. Определение толщины механическим сканированием*

ISO 6721-2:2008, *Пластмассы. Определение динамических механических свойств. Часть 2. Крутильно-маятниковый метод*

ISO 6721-3, *Пластмассы. Определение динамических механических свойств. Часть 3. Изгибное колебание. Метод кривой резонанса*

3 Термины и определения

В настоящем документе применяются следующие термины и определения.

ПРИМЕЧАНИЕ Некоторые термины, определенные здесь, также определены в ISO 472^[7]. Определения в этом стандарте не совсем строго идентичны, но эквивалентны определениям в ISO 472.

3.1

комплексный модуль **complex modulus**

M^*

Отношение динамического напряжения, заданного равенством $\sigma(t) = \sigma_A \exp i 2\pi f t$, и динамической деформации, заданной как $\varepsilon(t) = \varepsilon_A \exp[i 2\pi f t - \delta]$, для вязкоупругого материала, подвергнутого синусоидальному колебанию в случае, когда σ_A и ε_A есть амплитуды циклов напряжения и деформации, f – частота, δ – фазовый угол между напряжением и деформацией (см. 3.5 и Рисунок 1) и t – время

ПРИМЕЧАНИЕ 1 Комплексный модуль выражается в паскалях (Па).

ПРИМЕЧАНИЕ 2 В зависимости от типа деформации комплексный модуль может быть одним из нескольких типов: E^* , G^* , K^* или L^* (см. Таблицу 3).

$$M^* = M' + iM'' \quad (\text{см. 3.2 и 3.3}) \quad (1)$$

где

$$i = -1^{1/2} = \sqrt{-1}$$

Взаимоотношения между разными типами комплексного модуля смотрите в Таблице 1.

ПРИМЕЧАНИЕ 3 Для изотропных вязкоупругих материалов только два параметра упругости G^* , E^* , K^* , L^* и μ^* являются независимыми (μ^* есть комплексный коэффициент Пуассона, заданный как $\mu^* = \mu' + i\mu''$).

ПРИМЕЧАНИЕ 4 Наиболее критическим элементом, содержащим пуассоновский коэффициент μ , является “элемент объема” $1 - 2\mu$, который имеет значения между 0 и 0,4 для μ между 0,5 и 0,3. Взаимоотношения в Таблице 1, содержащие “элемент объема” $1 - 2\mu$, могут быть использованы только в случае, когда этот элемент известен с достаточной точностью.

Из Таблицы 1 можно видеть, что “элемент объема” $1 - 2\mu$ оценивается только с какой-либо доверительностью из знания модуля объемной упругости K или модуля одноосной деформации L и либо E , либо G . Это потому, что измерения K и L вовлекают деформации, когда компонент объемной деформации является относительно большим.

ПРИМЕЧАНИЕ 5 До настоящего времени в литературе описано измерение модуля динамической механической объемной упругости K и небольшое число результатов, имеющих отношение к измерению $K(t)$ во время экспериментов релаксации.

ПРИМЕЧАНИЕ 6 Модуль одноосной деформации L имеет в основе нагрузку с компонентом высокого гидростатического напряжения. Поэтому значения L корректируют недостаток значений K , а “элемент объема” $1 - 2\mu$ можно оценивать с достаточной точностью на основе пар модулей (G, L) и (E, L) . Пара (G, L) является предпочтительной, так как G базируется на нагрузках без гидростатического компонента.

ПРИМЕЧАНИЕ 7 Взаимоотношения, данные в Таблице 1, являются действительными для комплексных модулей, а также их величин (см. 3.4).

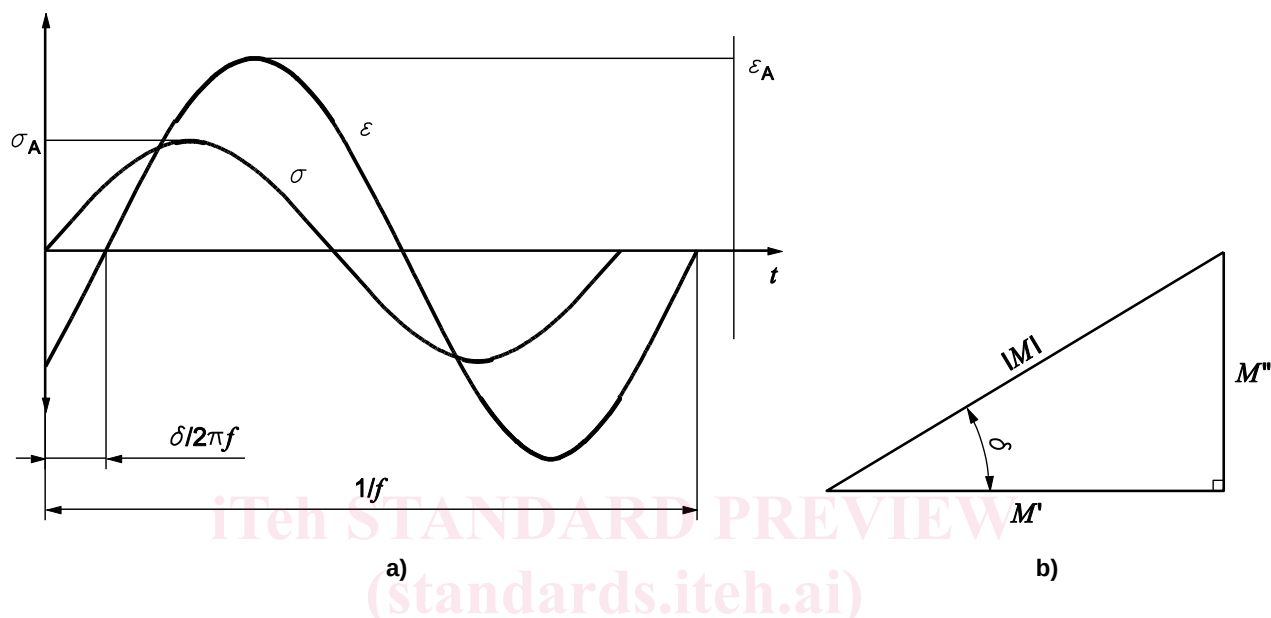
ПРИМЕЧАНИЕ 8 Большинство взаимоотношений для вычисления модулей, данных в других частях этого международного стандарта, являются до некоторой степени аппроксимацией. Они не учитывают, например, “краевой эффект”, вызванный зажимом исследуемых образцов, и включают другие упрощения. Поэтому для использования взаимоотношений, данных в Таблице 1, надо часто делать дополнительные корректировки. Эти вопросы изложены в литературе (смотрите, например, ссылки [1] и [2] в Библиографии).

ПРИМЕЧАНИЕ 9 Для линейной вязкоупругой характеристики комплексное соответствие C^* является обратной величиной комплексного модуля M^* , т.е.

$$M^* = (C^*)^{-1} \quad (2)$$

Следовательно,

$$M' + iM'' = \frac{C' - iC''}{C'^2 + C''^2} \quad (3)$$



Сдвиг фазы $\delta/2\pi f$ между напряжением σ и деформацией ε в вязкоупругом материале, подвергнутом синусоидальному колебанию (σ_A и ε_A являются соответственными амплитудами, f — частота). Взаимоотношение между модулем накопления M' , модулем потерь M'' , фазовым углом δ и величиной $|M|$ комплексного модуля M^* .

Рисунок 1 — Угол сдвига фаз и комплексный модуль

Таблица 1 — Взаимоотношения между модулями для однородно изотропных материалов

	G и μ	E и μ	K и μ	G и E	G и K	E и K	G и L^a
Коеф. 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, $G =$		$\frac{E}{2(1 + \mu)}$	$\frac{3K(1 - 2\mu)}{2(1 + \mu)}$			$\frac{E}{3 - E/3K}$	
Модуль растяжения, $E =$	$2G(1 + \mu)$		$3K(1 - 2\mu)$		$\frac{3G}{1 + G/3K}$		$\frac{3G(1 - 4G/3L)}{1 - G/L}$
Модуль объемной упругости, $K =^c$	$\frac{2G(1 + \mu)}{3(1 - 2\mu)}$	$\frac{E}{3(1 - 2\mu)}$		$\frac{G}{3(3G/E - 1)}$			$L - \frac{4G}{3}$
Одноосный модуль деформации или продольной волны, $L =$	$\frac{2G(1 - \mu)}{1 - 2\mu}$	$\frac{E(1 - \mu)}{1 + \mu}$	$\frac{3K(1 - \mu)}{1 + \mu}$	$\frac{G(4G/E - 1)}{3G/E - 1}$	$K + \frac{4G}{3}$	$\frac{K(1 + E/3K)}{1 - E/9K}$	

^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 накопления storage modulus

M'

действительная часть комплексного модуля M^* [см. Рисунок 1b)]

ПРИЛОЖЕНИЕ 1 Модуль накопления выражается в паскалях (Па).

ПРИЛОЖЕНИЕ 2 Он является пропорциональным максимальной энергии, накопленной в течение цикла нагрузки, и представляет жесткость вязкоупругого материала.

ПРИМЕЧАНИЕ 3 Разные типы модуля накопления, соответствующие разным типам деформации, следующие: E'_t модуль накопления энергии при растяжении, E'_f модуль накопления энергии изгиба, G'_s модуль накопления энергии сдвига, G'_{to} модуль накопления крутильной энергии, K' модуль накопления объемной упругости, L'_c модуль накопления одноосной деформации и L'_w модуль накопления энергии продольной волны.

3.3

модуль потерь loss modulus

M''

воображаемая часть комплексного модуля [см. Рисунок 1b)]

ПРИМЕЧАНИЕ 1 Модуль потерь выражается в паскалях (Па).

ПРИМЕЧАНИЕ 2 Он является пропорциональным энергии, рассеянной (потерянной) во время цикла нагрузки. Как и с модулем накопления (см. 3.2), тип деформации обозначается согласно Таблице 3, например, E''_t есть модуль потерь при растяжении.

3.4

величина $|M|$ комплексного модуля magnitude $|M|$ of the complex modulus

среднеквадратическое значение модулей хранения и потерь, как дано нижеследующим уравнением:

$$|M|^2 = M'^2 + M''^2 = \sigma_A / \varepsilon_A \quad (4)$$

где σ_A и ε_A есть амплитуды циклов напряжения и деформации соответственно

ПРИМЕЧАНИЕ 1 Комплексный модуль выражается в паскалях (Па).

ПРИМЕЧАНИЕ 2 Взаимоотношение между модулем накопления M' , модулем потерь M'' , фазовым углом δ и величиной $|M|$ комплексного модуля показано на Рисунке 1b). Как и с модулем накопления (см. 3.2), тип деформации обозначается согласно Таблице 3, например, $|E_t|$ есть величина комплексного модуля растяжения.

3.5

фазовый угол phase angle

δ

разность фаз между динамическим напряжением и динамической деформацией в вязкоупругом материале, который подвергается синусоидальному колебанию (см. Рисунок 1)

ПРИМЕЧАНИЕ 1 Фазовый угол выражается в радианах (rad).

ПРИМЕЧАНИЕ 2 Как и с модулем накопления (см. 3.2), тип деформации обозначается согласно Таблице 3, например, δ_t есть угол сдвига фаз при растяжении.

3.6

**фактор потерь
loss factor**тангенс δ

отношение между модулем потерь и модулем накопления, заданное уравнением:

$$\text{тангенс } \tan \delta = M'' / M' \quad (5)$$

где δ - угол сдвига фаз (см. 3.5) между напряжением и деформацией

ПРИМЕЧАНИЕ 1 Фактор потерь выражается безразмерным числом.

ПРИМЕЧАНИЕ 2 Фактор потерь $\tan \delta$ является общепринятой мерой затухания в вязкоупругой системе. Как и с модулем накопления (см. 3.2), тип деформации обозначается согласно Таблице 3, например $\tan \delta_t$ есть фактор потерь при растяжении.

3.7

**петля гистерезиса напряжений-деформаций
stress-strain hysteresis loop**

напряжение, выраженное как функция деформации в вязкоупругом материале, который подвергается синусоидальным колебаниям

ПРИМЕЧАНИЕ При условии, что вязкая упругость является линейной по характеру, эта кривая является эллипсом (см. Рисунок 2).

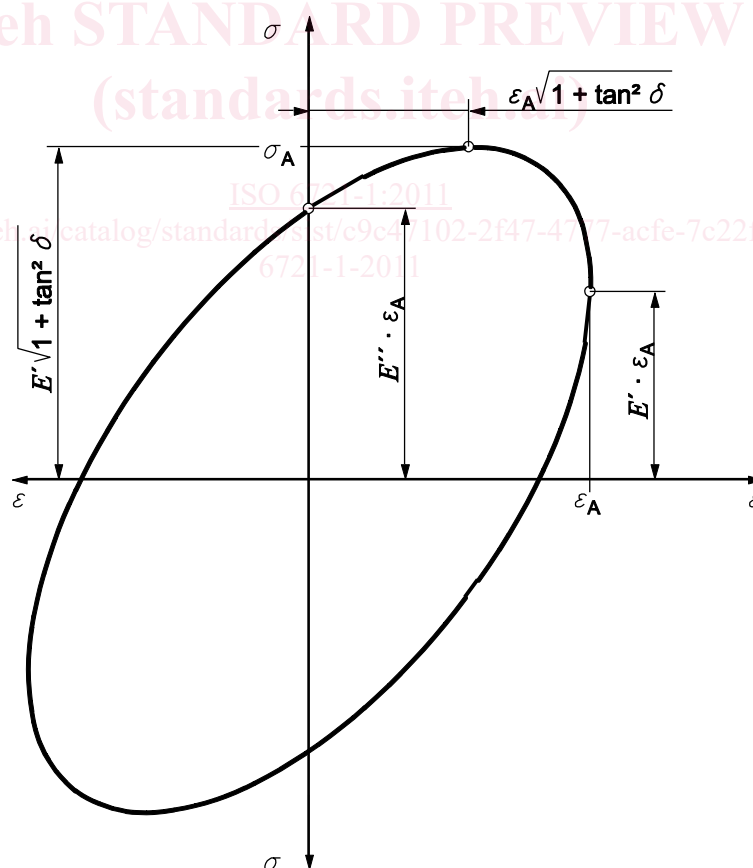


Рисунок 2— Петля гистерезиса динамических напряжений-деформаций для линейного вязкоупругого материала, подвергнутого синусоидальным колебаниям растяжения

3.8

затухающее колебание
damped vibration

зависимая от времени деформация или скорость деформации $X(t)$ вязкоупругой системы, испытывающей свободно затухающие колебания (см. Рисунок 3), дается уравнением

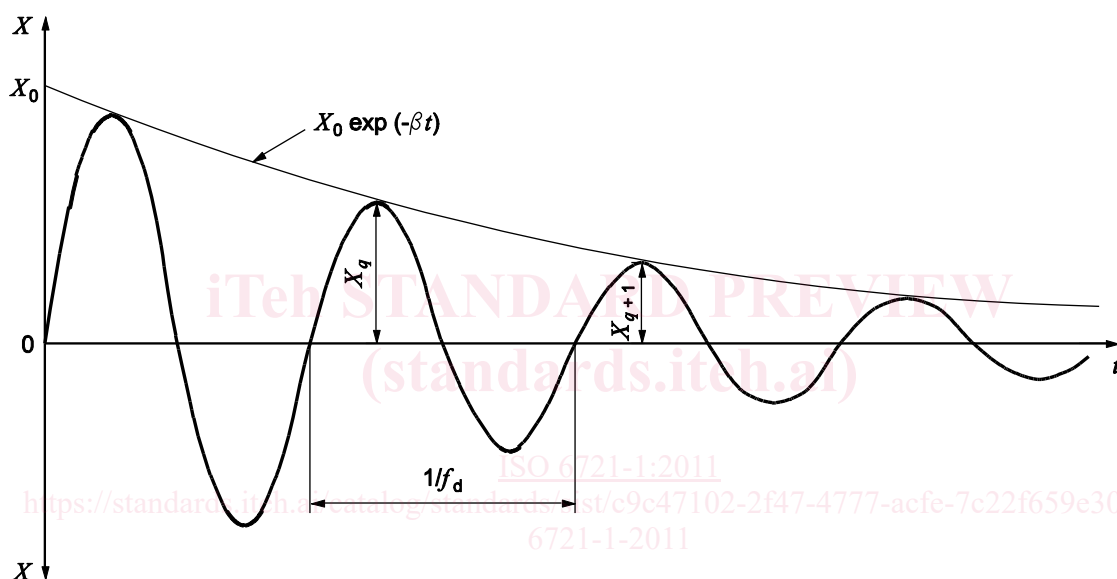
$$X(t) = X_0 \exp(-\beta t) \times \sin 2\pi f_d t \quad (6)$$

где

X_0 величина в нулевой момент времени огибающей амплитуд цикла;

f_d частота затухающей системы;

β коэффициент затухания (см. 3.9)



[X есть зависимая от времени деформация или скорость деформации, X_q — амплитуда q -го цикла и X_0 и β определяют огибающую экспоненциального затухания амплитуд цикла — смотрите уравнение (6).]

Рисунок 3 — Кривая затухающего колебания для вязкоупругой системы, испытывающей свободно затухающие колебания

3.9

коэффициент затухания
decay constant

β

коэффициент, который устанавливает зависимое от времени ослабление затухающих свободных колебаний, т.е. временную зависимость амплитуды X_q деформации и скорости деформации [см. Рисунок 3 и Уравнение (6)]

ПРИМЕЧАНИЕ Коэффициент затухания выражается в обратных секундах (с^{-1}).

3.10

логарифмический декремент
logarithmic decrement

Λ

натуральный логарифм отношения двух последовательных амплитуд, в одном и том же направлении, затухающих свободных колебаний вязкоупругой системы (см. Рисунок 3), заданный уравнением