

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И  
МЕТРОЛОГИИ (РОСТЕХРЕГУЛИРОВАНИЕ)

ФГУП “РОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЦЕНТР ИНФОРМАЦИИ ПО  
СТАНДАРТИЗАЦИИ, МЕТРОЛОГИИ И ОЦЕНКЕ СООТВЕТСТВИЯ” (ФГУП  
“СТАНДАРТИНФОРМ”)

Рег. № 3548

Группа МКС 83.080.01

**ПЛАСТМАССЫ. ПОЛИМЕРЫ/СМОЛЫ ЖИДКИЕ, ЭМУЛЬСИИ  
ИЛИ ДИСПЕРСИИ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЯЗКОСТИ РОТАЦИОННЫМ  
ВИСКОЗИМЕТРОМ ПРИ ОПРЕДЕЛЕННОЙ СКОРОСТИ СДВИГА**

*Plastics – Polymers/resins in the liquid state or as emulsion or dispersions – Determination of  
viscosity using a rotational viscometer with defined shear rate*

11 февраля 2005 г. создан ФГУП “Российский научно-технический центр  
информации по стандартизации, метрологии и оценке соответствия”  
(ФГУП “Стандартинформ”).

ФГУП “Стандартинформ” является правопреемником ФГУП “ВНИИКИ” по  
информации в области технического регулирования, метрологии и оценки  
соответствия и выполняет все его уставные функции.

Страна, № стандарта

**ISO 3219:1993**

Переводчик: Макаров Н.К.

Редактор: Лебедева Е.В.

Кол-во стр.: 11

Кол-во рис.: 2

Кол-во табл.: –

Перевод выполнен: 25.06.2008

Редактирование выполнено: 26.06.2008

**Перевод аутентичен  
оригиналу**

Москва  
2008г.

# МЕЖДУНАРОДНЫЙ СТАНДАРТ

**ISO**  
**3219**

Второе издание  
1993-10-01

---

## Пластмассы. Полимеры/смолы жидкие, эмульсии или дисперсии. Определение вязкости ротационным вискозиметром при определенной скорости сдвига

*Plastics – Polymers/resins in the liquid state or as emulsion or dispersions –  
Determination of viscosity using a rotational viscometer with defined shear rate*

### **ЗАРЕГИСТРИРОВАНО**

**Федеральное агентство  
по техническому регулированию  
и метрологии**

**ФГУП “СТАНДАРТИНФОРМ”**

Номер регистрации: **3548/ISO**

Дата регистрации: **31.07.2008**



Ссылочный номер  
ISO 3219:1993

## Предисловие

ISO (Международная организация по стандартизации) 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. ISO осуществляет тесное сотрудничество с международной электротехнической комиссией (IEC) по всем вопросам стандартизации в области электротехники.

Проекты международных стандартов, принятые техническими комитетами, рассылаются комитетам-членам на голосование. Для публикации в качестве международного стандарта требуется одобрение не менее 75% комитетов-членов, принявших участие в голосовании.

Международный стандарт ISO 3219 был разработан техническим комитетом ISO/TC 61 «Пластмассы», подкомитетом SC 5 «Физические и химические свойства».

Настоящее второе издание отменяет и заменяет первое издание (ISO 3219:1977), прошедшее технический пересмотр.

Стандарт был разработан совместно с ISO/TC 45, *Каучук и резиновые изделия* и ISO/TC 35, *Краски и лаки*.

Приложения А и В образуют неотъемлемую часть данного международного стандарта.

# Пластмассы. Полимеры/смолы жидкие, эмульсии или дисперсии. Определение вязкости ротационным вискозиметром при определенной скорости сдвига

## 1 Область применения

Данный международный стандарт устанавливает общие принципы метода определения вязкости полимеров и смол в виде жидкостей, эмульсий и дисперсий, включая дисперсии полимеров, при определенной скорости сдвига при помощи ротационных вискозиметров стандартной геометрии.

Определения вязкости, выполняемые в соответствии с данным стандартом, включают установление взаимосвязи между напряжением при сдвиге и скоростью сдвига. Результаты, полученные на различных приборах в соответствии с требованиями данного стандарта, сравнивают и применяют к приборам с контролируемым сдвигом и напряжением при сдвиге.

## 2 Нормативная ссылка

Следующий стандарт содержит положения, которые посредством ссылки в этом тексте составляют положения данного международного стандарта. К моменту публикации данного стандарта указанное издание были действительны. Все стандарты подлежат пересмотру, и участникам соглашений, основанных на данном международном стандарте, следует изыскать возможность применения самых последних изданий указанных ниже стандартов. Члены IEC и ISO имеют указатели действующих в настоящее время международных стандартов.

ISO 291:1977, *Пластмассы. Стандартные атмосферы для кондиционирования и испытаний.*

## 3 Сущность метода

Вязкость жидкой пробы определяют на ротационном вискозиметре, обладающем определенными характеристиками, который позволяет одновременно измерять используемую скорость сдвига и приложенное напряжение при сдвиге.

Вязкость  $\eta$  определяют по следующей формуле:

$$\eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}}$$

где

$\tau$  напряжение при сдвиге;

$\dot{\gamma}$  скорость сдвига.

По Международной системе единиц (СИ) единицей динамической вязкости является паскаль-секунда (Па·с):

$$1 \text{ Па}\cdot\text{с} = 1 \text{ Н}\cdot\text{с}/\text{м}^2$$

### ПРИМЕЧАНИЯ

1 Символы соответствуют ISO 31-3:1992, *Величины и единицы. Часть 3: Механика.*

2 Если вязкость зависит от скорости сдвига, при которой выполняется измерение, т.е.  $\eta = f(\dot{\gamma})$ , то говорят, что данная жидкость проявляет свойства неньютоновской жидкости. Жидкости, вязкость которых не зависит от скорости сдвига, называют ньютоновскими жидкостями.

## 4 Аппаратура

### 4.1 Ротационный вискозиметр

#### 4.1.1 Измерительная система

Измерительная система должна состоять из двух жестких симметричных коаксиальных поверхностей, между которыми помещают жидкость, вязкость которой необходимо измерить. Одна из этих поверхностей должна вращаться с постоянной угловой скоростью, а другая оставаться неподвижной. Измерительная система должна быть такой, чтобы скорость сдвига можно было определить для каждого измерения.

Устройство для измерения крутящего момента должно быть подсоединено к одной из поверхностей, позволяя, таким образом, выполнить определение крутящего момента, необходимого для преодоления вязкого сопротивления жидкости.

Подходящими измерительными системами являются, среди прочих, системы коаксиальных цилиндров и системы пластина/конус.

Размеры измерительной системы должны быть установлены таким образом, чтобы выполнялись условия, установленные приложением А и В, чтобы обеспечить геометрически подобное поле течения для всех типов измерения и всех традиционных типов базисного прибора.

#### 4.1.2 Базисный прибор

Базисный прибор должен быть сконструирован таким образом, чтобы позволить замену в нем ротора и статора, для создания диапазона определенных частот вращения (поэтапно или непрерывно меняющихся) и для измерения результирующего крутящего момента, *или наоборот* (т.е. для создания определенных крутящих моментов и измерения результирующей частоты вращения).

Прибор должен выполнять измерение крутящего момента с точностью в пределах 2 % от показания полной шкалы. Повторяемость (сходимость) измерений вязкости должно быть  $\pm 2$  %.

ПРИМЕЧАНИЕ 3 Используя различные измерительные системы и скорости вращения большинство имеющихся в продаже приборов охватывают диапазон вязкости от не менее  $10^{-2}$  Па·с -  $10^3$  Па·с.

Диапазон скоростей сдвига изменяется заметно в зависимости от различного оборудования. Выбор конкретного базисного прибора и соответствующей измерительной системы должен производиться с учетом диапазона измеряемых вязкостей и скоростей сдвига.

### 4.2 Устройство контроля температуры

Температура циркулирующей в бане жидкости или температура нагреваемых электричеством стенок должна поддерживаться постоянной в пределах  $\pm 0,2$  °С в диапазоне температур от 0 °С до 50 °С и в пределах  $\pm 0,5$  °С при температурах, выходящих за указанные пределы.

Для более точных измерений могут потребоваться более строгие допуски (например,  $\pm 0,1$  °С).

### 4.3 Термометр

Точность термометра должна быть  $\pm 0,05$  °С.

## 5 Отбор проб

Метод отбора проб, включая все специальные методы подготовки проб и ввода пробы в вискозиметр, должен соответствовать установленному методу в стандарте на испытания для рассматриваемой продукции.

Пробы не должны содержать видимого загрязнения или воздушных пузырьков.

Если пробы гигроскопичны или содержат летучие ингредиенты, контейнеры для проб необходимо плотно закупоривать, чтобы свести к минимуму любые воздействия на вязкость.

## 6 Условия испытания

### 6.1 Калибровка

Вискозиметры необходимо периодически калибровать, например, путем измерения рабочих характеристик или с помощью стандартных (контрольных) жидкостей с известной вязкостью (ньютоновских жидкостей). Если прямая наилучшего соответствия, проведенная через точки, измеренные для стандартной жидкости, не проходит через начало координат, в пределах точности данного метода, то необходимо более тщательно проверить методику и аппаратуру в соответствии с инструкциями изготовителя.

Вязкость стандартных жидкостей, используемых для калибровки, должна находиться в том же диапазоне, что и вязкость испытуемых проб.

### 6.2 Температура испытания

Обычно ввиду зависимости вязкости от температуры измерения для сравнительных целей должны выполняться при одинаковой температуре. Если измерения требуется проводить при окружающей температуре, предпочтительно использовать температуру  $23,0\text{ °C} \pm 0,2\text{ °C}$ .

Дополнительные детали должны соответствовать стандарту на испытания рассматриваемой продукции.

**ПРИМЕЧАНИЕ 4** Во время измерения происходит выделение теплоты в пробе. В случае ньютоновских жидкостей в адиабатических условиях испытания скорость выделения теплоты задается формулой  $\eta \cdot \dot{\gamma}^2$  (единица: Вт/м<sup>3</sup>) и может привести к увеличению температуры пробы.

### 6.3 Выбор скорости сдвига

Скорость сдвига должна быть указана в стандарте на испытания рассматриваемой продукции.

В случае ньютоновских жидкостей и, особенно, в случае неньютоновских жидкостей рекомендуется выполнять измерения при возможно большем числе значений скорости сдвига (не менее четырех значений), в зависимости от установочных параметров или программы для частот вращения (или крутящего момента в случае приборов с фиксированным напряжением при сдвиге), предусмотренных для базового прибора и в максимально широком диапазоне, так чтобы построить подробный график зависимости вязкости от скорости сдвига.

Для сравнения вязкостей, измеренных на различных приборах, рекомендуется, чтобы скорость сдвига выбиралась из серии следующих значений:

$1,00\text{ с}^{-1}$ ,  $2,50\text{ с}^{-1}$ ,  $6,30\text{ с}^{-1}$ ,  $16,0\text{ с}^{-1}$ ,  $40,0\text{ с}^{-1}$ ,  $100\text{ с}^{-1}$ ,  $250\text{ с}^{-1}$ ;

или

$1,00\text{ с}^{-1}$ ,  $2,50\text{ с}^{-1}$ ,  $5,00\text{ с}^{-1}$ ,  $10,0\text{ с}^{-1}$ ,  $25,0\text{ с}^{-1}$ ,  $50,0\text{ с}^{-1}$ ,  $100\text{ с}^{-1}$ ;

и эти значения, умноженные или деленные на 100.

Если данный базовый прибор не позволяет выбрать указанные значения, значения скоростей сдвига должны выбираться по кривой вязкости.

В случае неньютоновских жидкостей измерения должны начинаться при возрастании скоростей сдвига, т.е. скорость увеличивают до максимального значения и затем уменьшают, продолжая измерения при уменьшении скорости сдвига.

**ПРИМЕЧАНИЕ 5** Таким образом, можно оценить тиксотропные свойства (разжижение после сдвига) и реопексные (загущение после сдвига) свойства жидкостей, правда, только качественно.

В случае тиксотропных и реопексных жидкостей условия испытания должны соответствовать указанным в нормативно-технических документах на испытания конкретной продукции.

Перед измерением проба должна находиться в вискозиметре достаточное время, чтобы восстановить тиксотропную структуру. Это время будет зависеть от природы конкретной пробы.

Если показания при одних и тех же скоростях сдвига в режиме возрастания и в режиме убывания демонстрируют только случайные расхождения, то два показания можно усреднить. Если наблюдается устойчивое расхождение, как в случае тиксотропных систем, должны быть зарегистрированы оба значения.

## 6.4 Проведение испытания

Если нет иных указаний в нормативно-технической документации на рассматриваемую продукцию, выполняют три определения в соответствии с приложением А или В, по обстоятельствам, измеряя каждый раз новую порцию пробы.

Для оценки измерений вязкости см. приложения А и В.

Если требуется измерить вязкость конкретной продукции при различных температурах, строят кривую вязкости, измеряя одну и ту же испытуемую порцию при каждом значении температуры, при условии что измерительная система выбранного размера остается пригодной (тот факт, что вязкость изменяется в зависимости от температуры, означает, что может потребоваться сменить измерительную систему).

Для каждого повторного определения используют новую пробу, если возможно, и определяют вязкость начиная в режиме повышения температуры, а затем в режиме понижения температуры.

Перед измерением проба в вискозиметре должна выдерживаться достаточное время, чтобы ее температура достигла требуемого значения.

## 7 Обработка результатов

Рассчитывают вязкость в паскаль-секундах, используя взаимозависимость, приведенную в инструкциях или таблицах и номограммах, прилагаемых к прибору. Рассчитывают среднее арифметическое от трех определений.

При обозначении вязкости в скобках указывают температуру и скорость сдвига, при которой измерялась вязкость, например:

$$\eta (23 \text{ }^{\circ}\text{C}, 1600 \text{ c}^{-1}) = 4.25 \text{ Па}\cdot\text{с}$$

Там где измерения вязкости выполнялись при разных температурах и скоростях сдвига, строят графики для демонстрации взаимозависимости.

## 8 Протокол испытания

Протокол испытания должен включать следующую информацию:

- a) номер и год публикации данного международного стандарта;

- b) всю информацию, необходимую для полной идентификации испытуемого материала;
- c) дату отбора проб;
- d) температуру испытания в градусах Цельсия;
- e) описание процедуры подготовки пробы;
- f) описание использованной измерительной системы вискозиметра;
- g) полученную кривую вязкости, построенную по всем соответствующим значениям напряжения при сдвиге,  $\tau$ , в паскалях, и скорости сдвига,  $\dot{\gamma}$ , в обратных секундах;
- h) в случае измерения вязкости в одной точке, включая температуру и скорость сдвига, при которых выполнялось измерения (см. раздел 7);
- i) в случае тиксотропных и реопексных жидкостей использованные условия, например, время линейного нарастания и общий сдвиг;
- j) время измерения (т.е. периоды времени, истекшие после достижения требуемой скорости сдвига до снятия четного показания);
- k) отдельные результаты определений вязкости, в паскаль-секундах или миллипаскаль-секундах, и среднее арифметическое этих результатов;
- l) все условия испытания, согласованные, но отклоняющиеся от данного международного стандарта, например, применение измерительных систем различных размеров;
- m) дату проведения испытания.



## Приложение А (нормативное)

### Вискозиметры с соосными цилиндрами

#### А.1 Характеристики системы

Измерительная система включает резервуар (т.е. наружный цилиндр с закрытым основанием) с подвешенным в нем сосудом (т.е. внутренним цилиндром со стержнем, как показано на Рисунке А.1). Подвешенный цилиндр может действовать как ротор, а резервуар как статор или наоборот.

#### А.2 Методы расчета

Напряжение при сдвиге  $\tau$  и скорость сдвига  $\dot{\gamma}$  не являются постоянными по кольцевому сечению ротационных вискозиметров с соосными цилиндрами, а уменьшаются от внутренней стороны к наружной (тип Searle) или наоборот (тип Conette). Более того, изменение  $\dot{\gamma}$  также зависит от реологических свойств испытуемого материала.

Удобно рассчитывать  $\tau$  и  $\dot{\gamma}$  как «репрезентативные» значения<sup>1)</sup>, которые встречаются не на поверхности самой измерительной системы (т.е. на наружном радиусе  $r_e$  или внутреннем радиусе  $r_i$ ), а внутри кольцевого пространства на определенном расстоянии. Показано (теорией и практикой), что репрезентативные значения  $\tau_{rep}$  и  $\dot{\gamma}_{rep}$ , рассчитанные из уравнений (А.2) и (А.3), описывают, с хорошим приближением, поведение потока жидкостей с локальным индексом степенного закона в диапазоне от 0,3 до 2.

Напряжение при сдвиге, выраженное в паскалях, рассчитывают, используя уравнения (А.1) и (А.2) из крутящего момента  $M$ , измеренного во внутреннем цилиндре (т.е. при радиусе  $r_i$ ) или наружном цилиндре (т.е. при радиусе  $r_e$ ), выражая радиусы в метрах.

$$\tau_i = \frac{M}{2\pi L r_i^2 C_L}; \quad \tau_e = \frac{M}{2\pi L r_e^2 C_L} \quad (\text{А.1})$$

$$\tau_{rep} = \frac{\tau_i + \tau_e}{2} = \frac{1 + \delta^2}{2\delta^2} \times \tau_i = \frac{1 + \delta^2}{2} \times \tau_e = \frac{1 + \delta^2}{2\delta^2} \times \frac{M}{2\pi L r_i^2 C_L} \quad \dots(\text{А.2})$$

где

$M$  крутящий момент, выраженный в ньютонметрах;

$\delta$  отношение радиуса наружного цилиндра к радиусу внутреннего цилиндра;

$L$  длина, в метрах, внутреннего цилиндра;

$C_L$  поправочный коэффициент на проявление краевых эффектов, который учитывает крутящий момент, действующий на торцевых поверхностях измерительной системы (этот поправочный коэффициент зависит от геометрии измерительной системы и от реологических свойств жидкости и должен определяться экспериментальным путем для каждого типа геометрии измерительной системы).

Репрезентативную скорость сдвига, выраженная в радианах в секунду, получают из уравнения:

<sup>1)</sup> См. Giesekus H, and Langer G.: Determination of the true flow curves of non-Newtonian liquids and plastics using the representative viscosity method, *Rheologica Acta*, **16**, 1977, No.1, pp.1-22

$$\dot{\gamma}_{rep} = \omega \times \frac{1 + \delta^2}{\delta^2 - 1} \quad \dots(A.3)$$

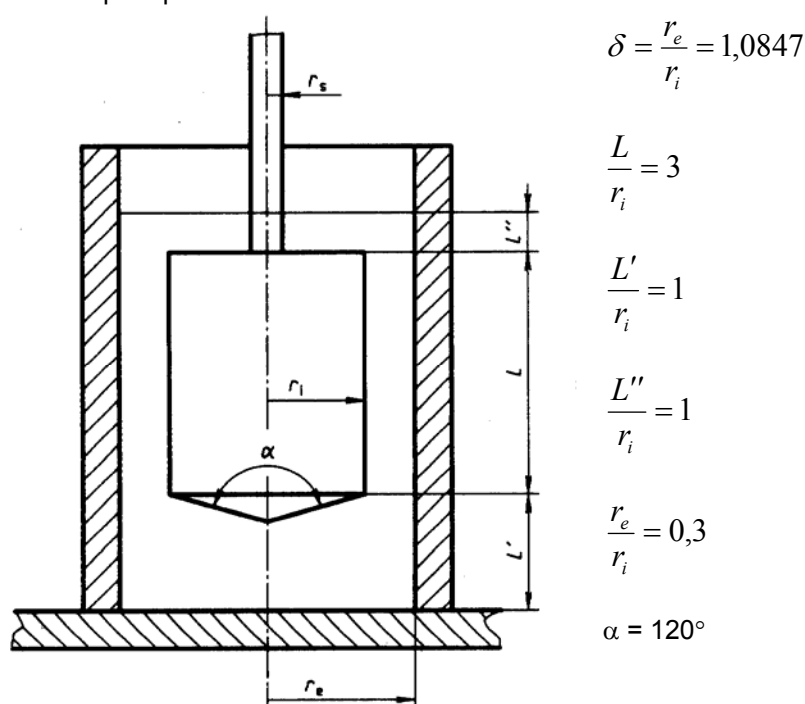
где  $\omega$  является скоростью вращения ротора, в радианах в секунду.

Если частота вращения  $n$  выражается в оборотах в минуту, то

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} = 0,1047 n$$

### A.3 Стандартная геометрия (см. Рисунок А.1)

Размеры такого типа измерительной системы, соответствующей данному вискозиметру, основаны на следующих соотношениях, обеспечивающих геометрически подобное поле течения для всех задач и базовых приборов:



- $\delta$  отношение радиуса наружного цилиндра к радиусу внутреннего цилиндра;  
 $L$  длина внутреннего цилиндра;  
 $L'$  расстояние между нижним краем внутреннего цилиндра и дном наружного цилиндра;  
 $L''$  длина погруженной части стержня;  
 $r_i$  радиус внутреннего цилиндра;  
 $r_e$  радиус наружного цилиндра;  
 $r_s$  радиус стержня;  
 $\alpha$  угол при вершине конуса в нижней части внутреннего цилиндра.

#### ПРИМЕЧАНИЯ

- 1 Конус в нижней части внутреннего цилиндра облегчает введение цилиндра в резервуар, заполненный испытуемой жидкостью, не вызывая образования пузырьков воздуха.
- 2 Системы соосных цилиндров требуют точного совмещения осей внутреннего и наружного цилиндров.

**Рисунок А.1 – Система соосных цилиндров стандартной геометрии**

Объем пробы зависит только от  $r_i$  и задается уравнением:

$$V = 8,17 r_i^3 \quad \dots(A.4)$$

Для измерительных систем со стандартной геометрией поправочный коэффициент проявления краевых эффектов  $C_L$  не зависит от радиуса  $r_i$ . Для ньютоновских жидкостей

$$C_L = 1,10$$

считается эмпирическим значением. Для неньютоновских жидкостей  $C_L$  не является постоянным, а зависит от скорости сдвига  $\dot{\gamma}$  и от реологических свойств жидкости.

**ПРИМЕЧАНИЕ 6** Для разжижающихся после сдвига жидкостей,  $C_L$  может достигать значений до 1,2 при определенной скорости сдвига. Для вязкопластичных жидкостей, показывающих динамическое сопротивление сдвигу, значения  $C_L$  при низких скоростях сдвига наблюдаются до 1,28.

Используя  $C_L = 1,10$  (ньютоновские жидкости),  $\delta^2 = 1,17657$  и  $\tau_{\text{геп}} = 0,925\tau_i = 1,088\tau_e$  следующие числовые соотношения получают, если репрезентативное напряжение при сдвиге выразить в паскалях, крутящий момент  $M$  в ньютонметрах, репрезентативную скорость сдвига  $\dot{\gamma}_{\text{геп}}$  и скорость вращения ротора  $\omega$  в радианах в секунду, внутренний радиус  $r_i$  в метрах и частоту вращения ротора  $n$  в обратных минутах:

$$\tau_{\text{геп}} = 0,0446 \times \frac{M}{r_i^3} \quad \dots(A.5)$$

$$\dot{\gamma}_{\text{геп}} = 12,33 \omega = 1,291n \quad \dots(A.6)$$

#### A.4 Другая геометрия

Если по какой-либо причине невозможно использовать стандартную геометрию, можно выбрать измерительную систему других размеров. Чтобы использовать методы расчетов, приведенные в А.2, необходимо выполнение следующих требований:

$$\delta = \frac{r_e}{r_i} \leq 1,2$$

$$\frac{L}{r_i} \geq 3$$

$$\frac{L'}{r_i} \geq 1$$

$$90^\circ \leq \alpha \leq 150^\circ$$

Поправка  $C_L$  на краевые эффекты имеет другие (обычно выше) значения, чем значения для стандартной геометрии.

**ПРИМЕЧАНИЕ 7** Выбор узкого кольцевого зазора, например при  $\delta \leq 1,2$ , обеспечивает хорошую аппроксимацию репрезентативной вязкости, просто и легко подсчитываемой. Можно показать, что репрезентативная вязкость при соответствующей скорости сдвига только незначительно отличается от истинного значения (на  $\leq 3,5\%$ ). Для стандартной геометрии погрешность, в общем, гораздо ниже.

#### A.5 Обработка результатов

Используя прямоугольную систему координат с линейной шкалой строят график зависимости показаний прибора для крутящего момента от соответствующих значений частоты вращения  $n$ . Вычерчивают гладкую кривую по точкам. Считывают пары значений крутящего момента и частоты вращения по этой кривой и преобразуют их в соответствующие значения напряжения при сдвиге и скорости сдвига, используя следующие уравнения:

уравнение (A.2) или (A.5) для напряжения при сдвиге,  $\tau$ ;

уравнение (A.3) или (A.6) для скорости сдвига  $\dot{\gamma}$ .

Если возможно, выбирают те значения  $\tau$  или  $\dot{\gamma}$ , которые образуют геометрическую прогрессию. График таких пар величин является кривой  $\tau = f(\dot{\gamma})$ .

Если график течения является прямой, проходящей через начало координат, то вязкость можно выразить как отдельное значение, задаваемое наклоном, т.е. отношением  $\tau/\dot{\gamma}$  для любой пары значений ( $\tau$ ,  $\dot{\gamma}$ ).

Если кривая не линейна, соответствующие значения  $\tau$  и  $\dot{\gamma}$  можно считать, и отношение  $\tau/\dot{\gamma}$  построить в зависимости от  $\tau$  или от  $\dot{\gamma}$  как график зависимости вязкости от напряжения при сдвиге или скорости сдвига [вязкость как функция  $\eta(\tau)$  или  $\eta(\dot{\gamma})$ ].

Округляют измеренные и рассчитанные значения до трех значащих цифр, например:

$$\dot{\gamma} = 42,8 \text{ с}^{-1}; \eta = 0,318 \text{ Па}\cdot\text{с}$$

$$\tau = 13,6 \text{ Па}; \theta = 23,0 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

## Приложение В (нормативное)

### Система конуса и пластины

#### В.1 Характеристики системы

Измерительная система состоит из вращающегося конуса и стержня и неподвижной пластины (см. Рисунок В.1).

Угол между образующей конуса и пластиной должен быть по возможности небольшим, предпочтительно не больше  $1^\circ$  и ни в коем случае не больше  $4^\circ$ . Когда угол больше  $1^\circ$ , это необходимо указать в протоколе испытания. Преимущество системы конус-пластина заключается в том, что при таких малых углах скорость сдвига по коническому зазору можно считать постоянной.

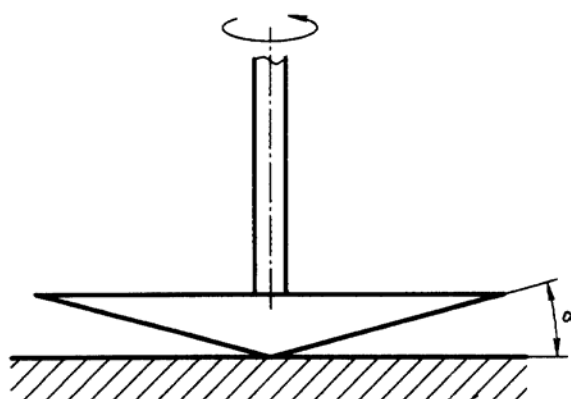


Рисунок В.1 – Геометрия системы конус-пластина

#### В.2 Метод расчета

Если  $\alpha \leq 0,05$  рад (т.е.  $\alpha \leq 3^\circ$ ), следующие уравнения применимы к расчету напряжения при сдвиге  $\tau$  и скорости сдвига  $\dot{\gamma}$ :

$$\tau = \frac{3M}{2\pi r^3} \quad \dots(B.1)$$

$$\dot{\gamma} = \frac{\omega}{\alpha} \quad \dots(B.2)$$

где

$M$  крутящий момент, в ньютонметрах;

$r$  радиус, в метрах, конуса;

$\alpha$  угол, в радианах, между образующей конуса и пластиной ( $1 \text{ рад} = 180^\circ/\pi$ );

$\omega$  угловая скорость, в радианах в секунду.

Чтобы избежать трения при контакте между конусом и пластиной, можно использовать усеченные конусы. Такую конфигурацию также можно использовать, если испытуемая жидкость содержит твердые частицы.

Системы конус/пластина требуют точного выравнивания оси конуса перпендикулярно пластине, а также точной установки точки контакта между вершиной конуса и пластиной (точной установки зазора в случае усеченных конусов).

Точное заполнение зазора между конусом и пластиной также важно (нельзя переполнять или недоливать).

**ПРИМЕЧАНИЕ 8** Тот факт, что ширина зазора изменяется в зависимости от температуры, также необходимо принимать в расчет.

---

---

**УДК 678.6/.7:532.13**

**Дескрипторы:** пластмассы, полимеры, смолы, испытания, определение, вязкость

---

---