МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СОВЕТ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ, МЕТРОЛОГИИ И СЕРТИФИКАЦИИ
(МГС)
INTERSTATE COUNCIL FOR STANDARDIZATION, METROLOGY AND CERTIFICATION
(ISC)

МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ

ГОСТ ISO 9080—2023

ТРУБОПРОВОДЫ И ВОЗДУХОВОДЫ ИЗ ПЛАСТМАСС

Определение длительной гидростатической прочности термопластов на образцах в форме труб методом экстраполяции

(ISO 9080:2012, IDT)

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2024

Предисловие

Цели, основные принципы и общие правила проведения работ по межгосударственной стандартизации установлены ГОСТ 1.0 «Межгосударственная система стандартизации. Основные положения» и ГОСТ 1.2 «Межгосударственная система стандартизации. Стандарты межгосударственные, правила и рекомендации по межгосударственной стандартизации. Правила разработки, принятия, обновления и отмены»

Сведения о стандарте

1 ПОДГОТОВЛЕН Обществом с ограниченной ответственностью «Группа ПОЛИПЛАСТИК» (ООО «Группа ПОЛИПЛАСТИК») на основе собственного перевода на русский язык англоязычной версии стандарта, указанного в пункте 5

2 ВНЕСЕН Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии

3 ПРИНЯТ Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 27 декабря 2023 г. № 168–П)

За принятие проголосовали:

Краткое наименование страны по МК (ИСО 3166) 004—97	Код страны по МК (ИСО 3166) 004—97	Сокращенное наименование национального органа по стандартизации
Беларусь	BY	Госстандарт Республики Беларусь
Киргизия	KG	Кыргызстандарт
Россия	RU	Росстандарт
Узбекистан	UZ	Узстандарт

4 Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 28 декабря 2023 г. № 1716-ст межгосударственный стандарт ГОСТ ISO 9080—2023 введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации с 1 декабря 2024 г. с правом досрочного применения

5 Настоящий стандарт идентичен международному стандарту ISO 9080:2012 «Трубопроводы и воздуховоды из пластмасс. Определение длительной гидростатической прочности термопластов на образцах в форме труб методом экстраполяции» («Plastics piping and ducting systems — Determination of the long-term hydrostatic strength of thermoplastics materials in pipe form by extrapolation», IDT).

Международный стандарт разработан Техническим комитетом по стандартизации ISO/TC 138 «Пластмассовые трубы, фитинги и арматура для транспортирования жидких и газообразных сред», подкомитетом SC 5 «Общие свойства труб, фитингов и арматуры из пластмасс и их комплектующих. Методы испытаний и основные технические требования» Международной организации по стандартизации (ISO).

При применении настоящего стандарта рекомендуется использовать вместо ссылочных международных стандартов соответствующие им межгосударственные стандарты, сведения о которых приведены в дополнительном приложении ДА.

Дополнительные сноски в тексте стандарта, выделенные курсивом, приведены для пояснения текста оригинала

6 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Информация о введении в действие (прекращении действия) настоящего стандарта и изменений к нему на территории указанных выше государств публикуется в указателях национальных стандартов, издаваемых в этих государствах, а также в сети Интернет на сайтах соответствующих национальных органов по стандартизации.

В случае пересмотра, изменения или отмены настоящего стандарта соответствующая информация будет опубликована на официальном интернет-сайте Межгосударственного совета по стандартизации, метрологии и сертификации в каталоге «Межгосударственные стандарты»

© ISO, 2012
© Оформление. ФГБУ «Институт стандартизации», 2024

В Российской Федерации 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 Накопление статистических данных 3
5 Метод экстраполяции 3
6 Пример расчета кривых регрессии, подтверждение достоверности программного обеспечения 7
7 Протокол испытания 7
Приложение А (обязательное) Методы анализа 9
Приложение В (обязательное) Метод автоматического обнаружения излома 13
Приложение С (справочное) Применение SEM к результатам разрушений под напряжением для полукристаллических полимеров 14
Приложение D (справочное) Применение SEM к результатам определения длительной прочности полимеров на основе винилхлорида 21
Приложение Е (справочное) Программное обеспечение для расчета данных о разрушении под напряжением в соответствии с ISO 9080 26
Приложение ДА (справочное) Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов межгосударственным стандартам 27
Библиография 28

Введение

0.1 Общие положения

Данный стандартный экстраполяционный метод (SEM) предназначен для оценки длительной гидростатической прочности материала на образцах в виде труб. Конкретные требования к физико-механическим свойствам материала, используемого по предусмотренному назначению, приводят в стандартах на изделие. Данный метод не отменяет существующие методы расчета напряжений или допускаемых давлений для полимерных труб, опыт длительной эксплуатации которых является удовлетворительным.

Для проведения SEM-анализа были разработаны пакеты программного обеспечения, описанные в приложении А и приложении В. Коммерчески доступны программы для Windows (см. приложение Е). Рекомендуется использовать эти программные пакеты.

0.2 Принцип

Пригодность полимерных материалов для напорных труб определяется их длительной работоспособностью под воздействием гидростатического напряжения с учетом ожидаемых условий эксплуатации (например, температуры). При проектировании принято выражать данную характеристику как гидростатическое (кольцевое напряжение), которое труба из рассматриваемого материала может выдержать в течение 50 лет при температуре 20 °С, если в качестве внутренней испытательной среды применяется вода, при этом внешней испытательной средой может быть вода или воздух. Данный метод не предназначен для определения срока службы.

В определенных случаях гидростатическую прочность необходимо определять при меньшем сроке службы или повышенных температурах либо с учетом указанных условий одновременно. При этом метод, приведенный в настоящем стандарте, разработан для обоих видов оценок. Полученный результат будет характеризовать нижний прогнозируемый предел длительной прочности (LPL), являющийся нижним доверительным пределом прогнозируемого значения напряжения (предельное напряжение), которое может вызвать разрушение материала трубы в установленные сроки при заданных температурах.

В настоящем стандарте приведен метод экстраполяции результатов испытаний при различных температурах после многофакторного линейного регрессионного анализа. Полученные результаты дают возможность определять характерные для полимерного материала расчетные значения напряжения в соответствии с методами, приведенными в стандартах на изделия.

Анализ многофакторной линейной регрессии основан на скорости процессов, наиболее точно описываемых моделью отношения логарифма напряжения ($\log_{10}$ напряжения) к логарифму времени ($\log_{10}$ времени).

Для оценки прогнозируемого значения применяемой модели необходимо использовать ожидаемый 97,5 %-ный нижний прогнозируемый предел длительной прочности (LPL), эквивалентный нижнему доверительному пределу 97,5 %-ного доверительного интервала прогнозируемого значения. Данное соотношение применяют в математических расчетах с использованием статистических методов.

Метод, приведенный в настоящем стандарте, позволяет проводить экстраполяцию значений напряжения разрушения в условиях эксплуатации, отличающихся от обычных (при температуре 20 °С в течение 50 лет) (см. 5.1.5).

Термопластичные материалы в форме труб, такие как термопластичный полимер с минеральным наполнением, армированный волокном, пластифицированные термопластичные материалы, смеси и сплавы, потребуют дополнительного внимания в отношении прогнозирования длительной прочности, которое должно быть учтено в соответствующих стандартах на изделия.

Среда, используемая для создания давления в трубе, не должна оказывать отрицательного воздействия на трубу. В качестве такой среды обычно применяют воду.

Долго рассматривался вопрос о том, какая переменная должна быть взята в качестве независимой переменной для расчета длительной гидростатической прочности — время или напряжение.

Основной вопрос, на который должен ответить метод, может быть сформулирован двумя способами, приведенными ниже.

а) Какое максимальное напряжение (или давление) может выдержать данный материал в форме трубы при заданной температуре в течение определенного времени?

b) Каково прогнозируемое время до разрушения для материала в форме трубы при заданном напряжении и температуре?

Оба вопроса являются значимыми.

Если результаты испытаний для исследуемой трубы не показывают никакого разброса и если материал трубы может быть идеально описан выбранной эмпирической моделью, то регрессия с независимостью от времени или напряжения будет идентичной. На практике такая картина не осуществима, потому что условия испытаний никогда не бывают идеальными и материал не будет на 100 % однородным, поэтому в наблюдениях всегда будет наблюдаться разброс. Регрессии, рассчитанные с использованием двух дополнительных независимых переменных, не будут идентичными, и разница будет увеличиваться с ростом разброса.

Предполагается, что переменная, которая подвержена наибольшей изменчивости (разбросу), — это временная переменная, и она должна рассматриваться как зависимая переменная (случайная переменная), чтобы обеспечить правильную статистическую обработку набора данных в соответствии с этим методом. Однако по практическим причинам промышленность предпочитает представлять напряжение как функцию времени в качестве независимой переменной.

0.3 Применение методов

Цель экстраполяционного метода, приведенного в настоящем стандарте, позволяет:

a) оценить нижний прогнозируемый предел напряжения[1)] (при уровне вероятности 97,5 %), которое труба из рассматриваемого материала способна выдержать в течение 50 лет при температуре окружающей среды 20 °C, используя воду или воздух в качестве испытательной среды. В соответствии с ISO 12162 классифицируемое значение этого нижнего предела прогнозирования определяется как MRS и используется для классификации материала;

b) оценить значение нижнего прогнозируемого предела напряжения (при уровне вероятности 97,5 %) либо при различных расчетных временах, либо при различных температурах, а в некоторых случаях и при том, и при другом. В соответствии с ISO 12162 классифицируемое значение такого нижнего прогнозируемого предела определяется как $CRS_{\theta,t}$ и используется для целей проектирования.

Существует несколько моделей экстраполяции, которые имеют разное количество параметров. В данном SEM будут использоваться только модели с двумя, тремя или четырьмя параметрами.

Большее число параметров может увеличить аппроксимацию, но также увеличить и неопределенность прогнозов.

SEM описывает правила оценки нижнего прогнозируемого предела (с 97,5 %-ным уровнем вероятности) и наличие или отсутствие излома[2)], который указывает на переход между результатами типов A и B (см. приложение B).

Метод применяется для материалов, испытываемых на образцах в форме труб.

Окончательным результатом SEM для конкретного материала является нижний прогнозируемый предел гидростатической прочности (с 97,5 %-ным уровнем вероятности), выраженный через кольцевое напряжение при заданных времени и температуре.

Для многослойных труб определение длительной гидростатической прочности изделий проводят в соответствии с ISO 17456.

Для труб из композитных материалов и армированных термопластов руководство по использованию этого метода приведено в стандартах на изделие.

Руководство по определению длительной гидростатической прочности конкретного материала с использованием эталонных кривых приведено в соответствующем стандарте на изделие.

[1)] В различных документах ISO нижний предел прогнозирования (LPL) неправильно определен как нижний предел достоверности (LCL), где LCL представляет собой нижний предел достоверности 97,5 % для средней гидростатической прочности.

[2)] *Также применяют термин «колено».*

Поправка к ГОСТ ISO 9080—2023 Трубопроводы и воздуховоды из пластмасс. Определение длительной гидростатической прочности термопластов на образцах в форме труб методом экстраполяции

В каком месте	Напечатано	Должно быть		
Предисловие. Таблица согласования	—	Таджикистан	TJ	Таджикстандарт

(ИУС № 10 2024 г.)

Поправка к ГОСТ ISO 9080—2023 Трубопроводы и воздуховоды из пластмасс. Определение длительной гидростатической прочности термопластов на образцах в форме труб методом экстраполяции

В каком месте	Напечатано	Должно быть		
Предисловие. Таблица согласования	—	Армения	AM	ЗАО «Национальный орган по стандартизации и метрологии» Республики Армения

(ИУС № 12 2024 г.)

Поправка к ГОСТ ISO 9080—2023 Трубопроводы и воздуховоды из пластмасс. Определение длительной гидростатической прочности термопластов на образцах в форме труб методом экстраполяции

В каком месте	Напечатано	Должно быть		
Предисловие. Таблица согласования	—	Казахстан	KZ	Госстандарт Республики Казахстан

(ИУС № 10 2025 г.)

М Е Ж Г О С У Д А Р С Т В Е Н Н Ы Й С Т А Н Д А Р Т

ТРУБОПРОВОДЫ И ВОЗДУХОВОДЫ ИЗ ПЛАСТМАСС

Определение длительной гидростатической прочности термопластов на образцах в форме труб методом экстраполяции

Plastics piping and ducting systems. Determination of the long-term hydrostatic strength of thermoplastics materials in pipe form by extrapolation

Дата введения — 2024—12—01
с правом досрочного применения

1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на трубы из термопластов и устанавливает правила оценки длительной гидростатической прочности методом статистической экстраполяции.

Метод, приведенный в настоящем стандарте, применяют для всех видов термопластов, работающих при различных температурах. Метод разработан на основе статистической обработки результатов испытания труб.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты [для датированных ссылок применяют только указанное издание ссылочного стандарта, для недатированных — последнее издание (включая все изменения)]:

ISO 1167-1, Thermoplastics pipes, fittings and assemblies for the conveyance of fluids — Determination of the resistance to internal pressure — Part 1: General method (Трубы, соединительные детали и узлы соединений из термопластов для транспортирования жидких и газообразных сред. Определение стойкости к внутреннему давлению. Часть 1. Общий метод)

ISO 1167-2, Thermoplastics pipes, fittings and assemblies for the conveyance of fluids — Determination of the resistance to internal pressure — Part 2: Preparation of pipe test pieces (Трубы, соединительные детали и узлы соединений из термопластов для транспортирования жидких и газообразных сред. Определение стойкости к внутреннему давлению. Часть 2. Подготовка образцов труб)

ISO 2507-1:1995, Thermoplastics pipes and fittings — Vicat softening temperature — Part 1: General test method (Трубы и фитинги из термопластов. Температура размягчения по Вика. Часть 1. Общий метод испытания)

ISO 3126, Plastics piping systems — Plastics piping components — Measurement and determination of dimensions (Трубопроводы из пластмасс. Пластмассовые элементы трубопровода. Определение размеров)

ISO 11357-3, Plastics — Differential scanning calorimetry (DSC) — Part 3: Determination of temperature and enthalpy of melting and crystallization [Пластмассы. Дифференциальная сканирующая калориметрия (ДСК). Часть 3. Определение температуры и энтальпии плавления и кристаллизации]

ISO 12162, Thermoplastics materials for pipes and fittings for pressure applications — Classification, designation and design coefficient (Материалы термопластичные для напорных труб и соединительных деталей. Классификация, обозначение и коэффициент запаса прочности)

ISO 17456, Plastics piping systems — Multilayer pipes — Determination of long-term strength (Пластмассовые трубопроводы. Многослойные трубы. Определение длительной прочности)

Издание официальное

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 **внутреннее давление *p*, бар** (internal pressure): Сила, с которой внутренняя среда действует на стенку трубы, отнесенная к единице площади.

3.2 **напряжение σ, МПа** (stress): Сила, действующая на стенку трубы в кольцевом (радиальном) направлении и возникающая в результате воздействия внутреннего давления, отнесенная к единице площади.

Примечание — Напряжение, вызванное воздействием внутреннего давления, рассчитывают по упрощенной формуле

$$\sigma = \frac{p\left(d_{em} - e_{y,\min}\right)}{20 e_{y,\min}},$$

где p — внутреннее давление в трубе, бар;

d_{em} — средний наружный диаметр трубы, мм;

$e_{y,\min}$ — минимальная измеренная толщина стенки трубы, мм.

3.3 **температура испытания T_t, °C** (test temperature): Температура, при которой были получены данные о разрушении.

3.4 **максимальная температура испытания $T_{t,\max}$, °C** (maximum test temperature): Максимальная температура, при которой были получены данные о разрушении.

3.5 **рабочая температура T_s, °C** (service temperature): Температура, при которой предполагается эксплуатировать трубу.

3.6 **время до разрушения *t*, ч** (time to failure): Время до появления утечки (негерметичности) в трубе.

3.7 **максимальное время испытания $t_{\max}$, ч** (maximum test time): Время, полученное путем усреднения логарифмов пяти самых длительных времен разрушения.

3.8 **время экстраполяции t_e, ч** (extrapolation time): Ограничение времени, в пределах которого допускается экстраполяция результатов.

3.9 **длительная гидростатическая прочность σ_{LTHS}, МПа** (long-term hydrostatic strength): Величина с размерностью напряжения, характеризующая прогнозируемую среднюю прочность при температуре *T* и времени *t*.

3.10 **нижний доверительный предел прогнозируемой гидростатической прочности σ_{LPL}, МПа** (lower confidence limit of the predicted hydrostatic strength): Величина с размерностью напряжения, представляющая собой 97,5 %-ный нижний доверительный предел прогнозируемой гидростатической прочности при температуре *T* и времени *t*.

Примечание — Обозначается как:

$$\sigma_{LPL} = \sigma\,(T, t, 0{,}975).$$

3.11 **излом, тип данных А, тип данных В** (knee, data type A, data type B): Точка пересечения двух ветвей при одной температуре; точки данных, используемые для расчета первой ветви, обозначаются как тип А, точки данных, используемые для расчета второй ветви, обозначаются как тип В.

3.12 **ветвь** (branch): Линия постоянного наклона на графике зависимости $\log_{10}$ (напряжения) от $\log_{10}$ (времени), представляющая одинаковый тип разрушения.

3.13 **коэффициент экстраполяции по времени k_e** (extrapolation time factor): Коэффициент для расчета пределов экстраполяции длительной прочности по времени.

4 Накопление статистических данных

4.1 Условия испытаний

Данные о разрушении трубы под действием напряжения определяют в соответствии с ISO 1167-1 и ISO 1167-2. Образцы труб для проведения испытаний должны быть изготовлены из прямых отрезков труб.

Средний наружный диаметр и минимальную толщину стенки трубы каждого образца определяют в соответствии с ISO 3126.

Для проведения испытаний используют трубы одного диаметра, изготовленные из одной партии материала за один производственный запуск экструзионной линии.

Для материалов, прошедших исыпытания в соответствии с ISO/TR 9080:1992 или ISO 9080:2003, исходный набор результатов испытаний может быть расширен за счет дополнительных результатов, полученных от других партий, с целью соответствия требованиям 4.2. В этом случае дополнительные результаты испытаний должны распространяться на все температуры испытаний и быть указаны в протоколе испытания.

4.2 Распределение уровней внутреннего давления и интервалов времени

4.2.1 Для каждой выбранной температуры необходимо получить не менее 30 результатов, распределенных в течение времени испытания. Уровни внутреннего давления должны быть выбраны таким образом, чтобы не менее четырех результатов было получено при времени до разрушения образца свыше 7000 часов и не менее одного — при времени до разрушения образца более 9000 часов (см. также 5.1.5). В случае наличия излома следует собрать не менее 20 результатов для второй ветви, при этом на каждую температуру должно приходиться не менее пяти результатов.

4.2.2 Результатами с временем до разрушения менее 10 ч следует пренебречь для всех температур.

4.2.3 При температуре ≤ 40 °C результатами со временем разрушения до 1000 ч допускается пренебрегать при условии, что число остальных наблюдений соответствует 4.2.1. В этом случае все точки до выбранного времени при выбранной(ых) температуре(ах) должны быть исключены.

4.2.4 Испытуемые образцы, которые не разрушились при времени испытания более 1000 часов, могут быть использованы в многофакторном линейном регрессионном расчете и для определения наличия излома. В противном случае их следует не учитывать при условии, что количество оставшихся наблюдений соответствует 4.2.1.

5 Метод экстраполяции

5.1 Сбор и анализ результатов испытаний

5.1.1 Общие положения

Метод экстраполяции основан на многофакторной линейной регрессии, правила расчета которой приведены в приложении А. Метод требует проведения испытаний при двух или более температурах и длительностью 9000 часов или более и применим независимо от того, обнаружены ли признаки наличия излома или нет.

5.1.2 Условия получения результатов испытаний

Результаты испытаний должны быть получены с учетом требований, приведенных в разделе 4, а также следующих условий с использованием двух или более температур из ряда T_1, T_2, …, T_n:

a) каждая пара соседних температур должна отличаться не менее чем на 10 °C и не более чем на 50 °C;

b) одна из температур испытания должна быть 20 °C или 23 °C;

c) максимальная температура испытания $T_{t,max}$ не должна превышать температуру размягчения по Вика VST_{B50}, определенную в соответствии с ISO 2507-1:1995, минус 15 °C для аморфных полимеров, или температуру плавления, определенную в соответствии с ISO 11357-3, минус 15 °C для полукристаллических полимеров;

d) число результатов испытаний и их распределение по уровням внутреннего давления при каждой температуре должны соответствовать 4.2;

е) для получения оптимальной оценки σ_{LPL} диапазон температур испытания должен быть выбран так, чтобы он включал в себя температуру эксплуатации или диапазон температур эксплуатации труб.

Результаты испытаний, полученные вследствие разрушения образца из-за присутствия в материале посторонних включений, не учитываются, при этом количество оставшихся наблюдений должно соответствовать 4.2.1.

Все достоверные результаты испытаний необходимо использовать при расчете.

Для большинства материалов условия и температуры испытаний указаны в соответствующих стандартах на изделие.

5.1.3 Определение излома и подтверждение достоверности результатов испытаний и модели

Для определения наличия излома применяют метод, приведенный в приложении В.

При наличии излома при любой определенной температуре результаты испытаний разделяют на две группы: принадлежащие к первой ветви (тип данных А) и ко второй ветви (тип данных В) графика зависимости логарифма напряжения от логарифма времени.

Рассчитывают многофакторную линейную регрессию в соответствии с приложением А отдельно, используя все данные первой ветви (тип данных А) для всех температур и все данные второй ветви (тип данных В) для всех температур испытания.

При анализе результатов, связанных с возникновением излома, следует обратить внимание на разрушения вследствие деструкции полимера. Такие результаты (обычно характеризуемые линией, для которой практически отсутствует зависимость времени разрушения от напряжения, и визуально легко идентифицируемые) не учитывают при расчете ветвей разрушения, но используют для определения пределов экстраполяции по времени (см. 5.1.5).

Если автоматическое определение излома явно не соответствует визуальной оценке графика, то точки данных типа А и типа В в области прогнозируемого излома могут быть реклассифицированы вручную для лучшего выравнивания положения точки излома с данными. В этом случае все точки данных при более высоких напряжениях, чем уровень напряжения при реклассифицированном изломе от точек типа А к точкам типа В, должны быть определены как тип А, а все точки данных при более низких напряжениях — как тип В. После этого проводят повторный расчет без автоматического определения излома. В данном случае рекомендуется получить больше данных за пределами времени излома.

Обоснование повторного расчета без автоматического определения излома и информация об изменениях, внесенных в проведенный анализ, должны быть описаны и включены в протокол испытаний, см. раздел 7.

5.1.4 Визуальная оценка

Для визуальной оценки регрессионной модели строят график в координатах $\log_{10}\sigma/\log_{10}$ (время) и наносят полученные данные по испытаниям и линии регрессии σ_{LTHS} и кривые σ_{LPL}.

5.1.5 Пределы экстраполяции по времени и коэффициент экстраполяции по времени

Пределы экстраполяции по времени t_e определяют следующим образом.

Пределы экстраполяции по времени, для которых допускается экстраполяция, зависят от температуры. Коэффициент экстраполяции по времени k_e как функция ΔT основан на формуле

$$\Delta T = T_t - T,$$

где T_t — температура испытания, при которой использование коэффициента экстраполяции по времени k_e допустимо, $T_t \leq T_{t,\max}$, °C;

$T_{t,\max}$ — максимальная температура испытания, °C;

T — температура, для которой рассчитывается предел экстраполяции по времени, $T_s \leq T$, °C;

T_s — температура эксплуатации, °C.

Предел экстраполяции по времени t_e расчитывают по формуле

$$t_e = k_e\, t_{\max}.$$

Максимальное время испытания $t_{\max}$ в часах определяют как среднее логарифмическое значение из пяти самых продолжительных времен до разрушения образца, не обязательно принадлежащих одинаковому уровню напряжения, но полученных при одной температуре. Результаты испытаний не разрушившихся по истечении времени образцов могут быть использованы для расчета при условии, что такие результаты пренадлежат одной совокупности, для которой проводят расчеты.

Если данные при максимальной температуре испытания не применяют для определения регрессионной модели, то такие данные используются только для определения максимального времени испытания t_{max} и, соответственно, предела экстраполяции t_e. Выбор такого расчета должен быть обоснован и указан в протоколе. Проводить экстраполяцию выше температурного диапазона регрессионной модели не допускается.

Полученные данные могут быть использованы для прогнозирования прочности на 20 °С ниже самой низкой температуры испытания при условии, что при такой температуре не происходит изменения состояния материала, например стеклования.

Примечание — Для определения эксплуатационных характеристик рекомендуется получать результаты испытаний при самой низкой прогнозируемой температуре эксплуатации.

Примеры применения коэффициента экстраполяции по времени представлены на рисунках 1—3. На рисунке 2 показан пример, когда излом был обнаружен только при максимальной температуре испытаний. На рисунке 3 показан пример, когда излом был обнаружен при повышенных температурах испытания. Значения коэффициента экстраполяции по времени k_e приведены в 5.2 и 5.3.

Примечание — В случае, изображенном на рисунке 2, t_{max} располагается в точке излома.

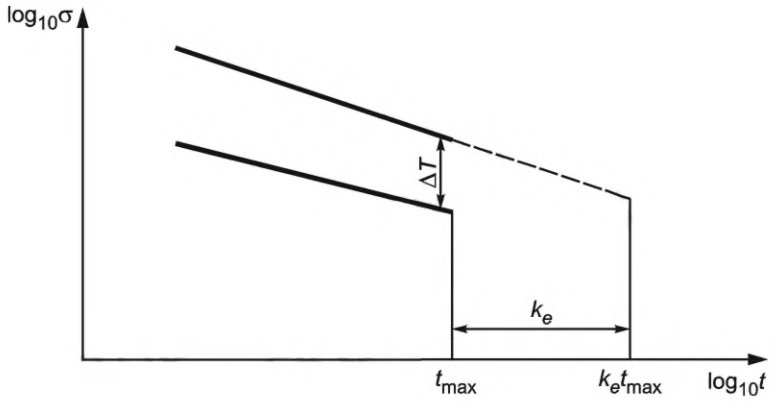


Рисунок 1 — Пределы экстраполяции по времени при отсутствии излома при максимальной температуре испытания

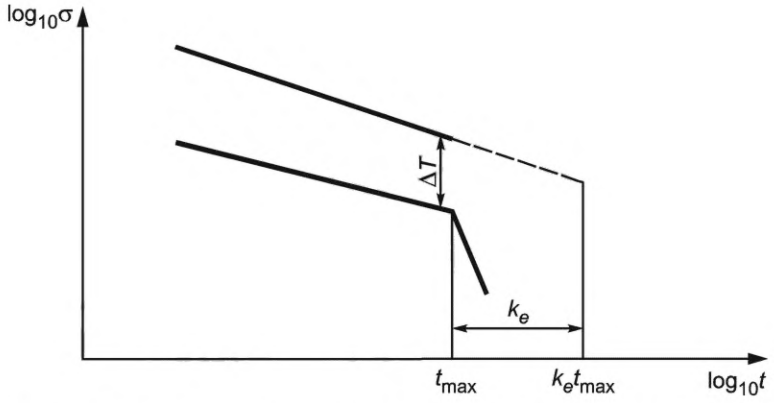


Рисунок 2 — Пределы экстраполяции по времени при наличии излома только при максимальной температуре испытания

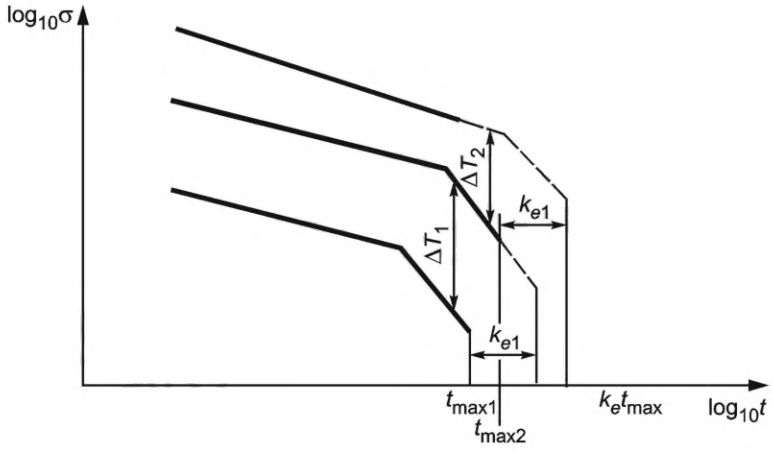


Рисунок 3 — Пределы экстраполяции по времени при наличии изломов при повышенных температурах испытания

5.2 Коэффициенты экстраполяции по времени для полиолефинов (полукристаллические полимеры)

Пределы экстраполяции по времени результатов разрушения образцов полиолефинов устанавливают с учетом экспериментально определенного времени разрушения при максимальной температуре испытания и уравнения температурной зависимости Аррениуса, используя кажущуюся энергию активации третьей ветви кривой (характеризующую деструкцию) для стабилизированных полиолефинов, принятой равной 110 кДж/моль и являющейся консервативным значением энергии активации для третьей ветви. Коэффициенты экстраполяции по времени экстраполяции k_e приведены в таблице 1.

Таблица 1 — Взаимосвязь между ΔT (= $T_t - T$) и k_e для полиолефинов

ΔT, °C	k_e
≥ 10, но < 15	2,5
≥ 15, но < 20	2
≥ 20, но < 25	6
≥ 25, но < 30	12
≥ 30, но < 35	18
≥ 35, но < 40	30
≥ 40, но < 50	50
≥ 50	100

5.3 Коэффициенты экстраполяции по времени для стеклообразных и аморфных полимеров на основе винилхлорида

Пределы экстраполяции по времени результатов разрушения образцов стеклообразных и аморфных полимеров на основе винилхлорида устанавливают с учетом экспериментально определенного времени до разрушения при максимальной температуре испытания, которая должна быть на 15 °C ниже температуры размягчения по Вика, и уравнения температурной зависимости Аррениуса при рас-

четной энергии активации для предполагаемой третьей ветви кривой для полимеров на основе винилхлорида, равной 178 кДж/моль. Коэффициенты экстраполяции по времени экстраполяции k_e приведены в таблице 2.

Таблица 2 — Взаимосвязь между ΔT (= $T_t - T$) и k_e для полимеров на основе винилхлорида

ΔT, °C	k_e
≥ 5, но < 10	2,5
≥ 10, но < 15	5
≥ 15, но < 20	10
≥ 20, но < 25	25
≥ 25, но < 30	50
≥ 30	100

Для модифицированных поливинилхлоридных (ПВХ) материалов коэффициенты экстраполяции по времени, приведенные в таблице 2, используют в случае, если базовым полимером модифицированного ПВХ является винилхлорид.

5.4 Коэффициенты экстраполяции по времени k_e для полимеров, не указанных в 5.2 и 5.3

Для полимеров, не указанных в настоящем стандарте, могут быть использованы коэффициенты экстраполяции по времени k_e, приведенные в таблице 1.

Если экспериментально доказано, что для конкретного полимера обоснованы более высокие коэффициенты экстраполяции, то такие коэффициенты могут быть использованы вместо приведенных в таблице 1.

6 Пример расчета кривых регрессии, подтверждение достоверности программного обеспечения

Пример расчета кривых регрессии полукристаллического полимера и пример обнаружения излома методами, описанными в разделе 5, приведены в приложении C.

Пример расчета кривых регрессии для полимера на основе винилхлорида методами, описанными в разделе 5, приведен в приложении D.

Набор данных результатов испытаний, указанный в C.1 и D.1, приведен для проверки компьютерной программы. Если используется компьютерная программа, отличающаяся от указанной в приложении E, то результаты вычисления по этой программе должны совпадать с результатами, полученными в соответствии с приложениями C и D, с точностью до третьего десятичного знака, как указано в приложениях C и D.

7 Протокол испытания

Протокол испытания должен включать:

a) ссылку на настоящий стандарт;

b) полную идентификацию материала и образцов труб, в том числе наименование изготовителя, вид полимерного материала, марку, номер партии, источник поступления образов и другие данные, если требуется;

c) размеры испытуемых образцов труб;

d) среду испытаний снаружи и внутри трубы, используемую для создания давления в образце трубы;

e) таблицу наблюдений, включающую в себя для каждого наблюдения температуру испытания (в градусах Цельсия), давление и напряжение (в мегапаскалях), время до разрушения (в часах), результат визуальной оценки типа разрушения (пластический, хрупкий или неизвестный), тип данных (A или B), дату проведения испытания и другие результаты наблюдений, которые могут быть значимыми;

f) число исключенных результатов испытаний, полученных в течение 1000 ч при соответствующих температурах, время до разрушения и тип разрушения;

g) реклассифицированные результаты испытаний и обоснование реклассификации при наличии таких результатов;

h) модель, используемую для оценки σ_{LTHS} и σ_{LPL};

i) рассчитанные коэффициенты c_i и их стандартные отклонения s_i, для каждой ветви отдельно;

j) графическое изображение результатов испытаний, линий линейных регрессий σ_{LTHS} и кривых σ_{LPL};

k) сведения о программе, используемой для расчетов;

l) любые факторы, не установленные в настоящем стандарте, которые могут повлиять на результаты.

Приложение А
(обязательное)

Методы анализа

А.1 Общая модель

Общая модель с четырьмя параметрами, используемая в настоящем стандарте для расчетов, описывается уравнением

$$\log_{10} t = c_1 + \frac{c_2}{T} + c_3 \log_{10} \sigma + \frac{c_4 \left(\log_{10} \sigma\right)}{T} + e, \tag{A.1}$$

где t — время до разрушения образца, ч;

T — температура, К (°С + 273,15);

σ — кольцевое напряжение в образце трубы, МПа;

c_1 — c_4 — коэффициенты, используемые в модели;

e — ошибка переменной, имеющая распределение Лапласа-Гаусса с нулевым средним значением и постоянной дисперсией (ошибки считаются независимыми).

Примечание — При расчетах в приложении А температура T выражается в кельвинах.

Модель с четырьмя параметрами должна быть преобразована в модель с тремя параметрами, если уровень вероятности коэффициента c_3 превышает 0,05. В этом случае $c_3 = 0$, т. е.

$$\log_{10} t = c_1 + \frac{c_2}{T} + c_4 \frac{\log_{10} \sigma}{T} + e. \tag{A.2}$$

Модель с двумя параметрами выбирают, если все результаты испытаний получены при одной температуре.

$$\log_{10} t = c_1 + c_3 \log_{10} \sigma + e. \tag{A.3}$$

Расчеты для модели с четырьмя параметрами приведены ниже. Расчеты для других моделей могут быть получены путем исключения соответствующих величин. При проведении расчетов матриц все арифметические вычисления должны быть выполнены с двойной точностью (до 14 значащих цифр). Преобразование матриц проводят, применяя классический подход Гаусса-Джордана (см. [1]).

Применяют следующие матричные записи:

$$\boldsymbol{X} = \begin{bmatrix} 1 & 1/T_1 & \log_{10} \sigma_1 & \left(\log_{10} \sigma_1\right)/T_1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & 1/T_N & \log_{10} \sigma_N & \left(\log_{10} \sigma_N\right)/T_N \end{bmatrix};$$

$$y = \begin{bmatrix} \log_{10} t_1 \\ \vdots \\ \log_{10} t_N \end{bmatrix}; \quad e = \begin{bmatrix} e_1 \\ \vdots \\ e_N \end{bmatrix},$$

где N — общее число наблюдений.

При $c = (c_1, c_2, c_3, c_4)^T$, где T является оператором перестановки, модель, описываемая уравнением (А.1), может быть записана в следующем виде:

$$y = Xc + e.$$

Расчет параметра $\hat{\boldsymbol{c}}$ проводят методом наименьших квадратов по формуле

$$\hat{c} = \left(X^T X\right) - 1 X^T y.$$

Оценку остаточной дисперсии проводят по формуле

$$s^2 = \frac{\left(y - X\hat{c}\right)^T \left(y - X\hat{c}\right)}{N - q},$$

где q — число параметров в модели.

Значение прогнозируемого напряжения по отношению к полученному времени до разрушения t и температуре T определяют по формуле

$$\log_{10} \sigma = \frac{\log_{10} t - c_1 - \frac{c_2}{T}}{c_3 + \frac{c_4}{T}}.$$

Для расчета нижнего доверительного предела прогнозируемой гидростатической прочности соответствующего времени до разрушения t и температуре T проводят преобразование по формуле

$$\log_{10} t = c_1 + \frac{c_2}{T} + c_3 \log_{10} \sigma + \frac{c_4 \left(\log_{10} \sigma\right)}{T} - t_{St} s \left[1 + x\left(X^T X\right) - 1 x^T\right]^{\frac{1}{2}},$$

где t_{St} — t-значение критерия Стьюдента, соответствующее уровню вероятности 0,975 и числу степеней свободы $N - 4$;

x — вектор $[1, 1/T, \log_{10}\sigma, (\log_{10}\sigma)/T]$.

Результатом преобразования является уравнение

$$\log_{10} \sigma_{LPL} = \frac{-\beta - \sqrt{\beta^2 - 4\alpha\gamma}}{2\alpha},$$

где $\alpha = (c_3 + c_4/T)^2 - t_{St}^2 s^2(K_{33} + 2K_{43}/T + K_{44}/T^2)$;

$\beta = 2(c_1 + c_2/T - \log_{10} t)(c_3 + c_4/T) - 2\, t_{St}^2 s^2[K_{31} + (K_{41} + K_{32})/T + K_{42}/T^2]$;

$\gamma = (c_1 + c_2/T - \log_{10} t)^2 - t_{St}^2 s^2(K_{11} + 2K_{21}/T + K_{22}/T^2 + 1)$.

K_{ij} — элемент матрицы $(X^T X)^{-1}$, соответствующий параметрам c и c_j (см. А.1).

Значение σ_{LPL} может быть рассчитано по формуле

$$\sigma_{LPL} = 10^{\log_{10} \sigma_{LPL}}.$$

А.2 Упрощенные модели

В качестве упрощенных моделей могут быть использованы модели с тремя параметрами (т. е. $c_3 = 0$), третий столбец X удаляется, и вместо K_{ij} используют $(X^T X)^{-1}$, соответствующий параметрам c_i и c_j, рассчитанным с помощью новой матрицы X:

$$\log_{10} \sigma = \left(\log_{10} t - c_1 - c_2/T\right) \frac{T}{c_4}$$

и

$$\alpha = (c_4/T)^2 - t_{St}^2 s^2 K_{44}/T^2;$$

$$\beta = 2\left(c_1 + \frac{c_2}{T} - \log_{10} t\right) c_4/T - 2 t_{St}^2 s^2 \left(K_{41}/T + K_{42}/T^2\right);$$

$$\gamma = (c_1 + c_2/T - \log_{10} t)^2 - t_{St}^2 s^2(K_{11} + 2K_{21}/T + K_{22}/T^2 + 1).$$

t_{st} соответствует N — 3 степеням свободы.

В случае двухпараметрической модели (т. е. $c_2 = 0$, $c_4 = 0$), второй и последний столбцы X удаляются, и вместо K_{ij} используют $(X^TX)^{-1}$, соответствующий параметрам c_i и c_j, рассчитанным с помощью новой матрицы X:

$$\log_{10}\sigma = \frac{\log_{10} t - c_1}{c_3}$$

и

$$\alpha = c_3^2 - t_{St}^2 s^2 K_{33};$$

$$\beta = 2(c_1 - \log_{10} t)c_3 - 2\, t_{St}^2 s^2 K_{31};$$

$$\gamma = (c_1 - \log_{10} t)^2 - t_{St}^2 s^2 (K_{11} + 1).$$

t_{St} соответствует N — 2 степеням свободы.

А.3 Расчет σ_{LTHS} и σ_{LPL} с учетом излома

В соответствии с приложением В предполагается, что два механизма разрушений могут обнаруживаться каждый в своем диапазоне температур и времени до разрушения. Два набора результатов испытаний, соответствующих каждому типу данных, должны быть представительны независимо от модели. Для проведения расчетов экспериментальные данные делят на две группы, в каждой из которых действующим считают один из типов разрушения.

Значения σ_{LTHS} и σ_{LPL} в каждой группе могут быть рассчитаны по общей методике, приведенной в настоящем приложении, при условии достаточности полученных данных и их удовлетворительного распределения в температурном диапазоне (см. 4.2 и 5.1.2).

Для обнаружения излома при каждой температуре применяют метод, приведенный в приложении В, в соответствии с которым результаты испытаний разделяют на две группы и оценивают соответствие примененной модели полученным результатам по общей методике, представленной в настоящем приложении.

А.4 Оценка соответствия

Для оценки соответствия принятой модели экспериментальным данным применяют следующий статистический метод:

$$F = \frac{(SS_H - SS_e)/(v_H - v_e)}{SS_e / v_e},$$

где F — критерий Фишера;

SS_e — сумма квадратов разности между каждым отдельным экспериментальным результатом и их соответствующим средним значением для повторяющихся экспериментальных условий, при которых были получены результаты (метод расчета не зависит от примененной модели);

SS_H — сумма квадратов разности между каждым отдельным экспериментальным результатом и значением, прогнозируемым с помощью использованной модели для экспериментальных условий, при которых получены результаты;

v_e — число степеней свободы для SS_e (число результатов испытаний минус число различных экспериментальных условий);

v_H — число степеней свободы для SS_H (число результатов испытаний минус число параметров в использованной модели).

Если согласно гипотезе использованная модель соответствия является корректной, то статистический критерий F подчиняется F-распределению с $v_H - v_e$ степенями свободы для числителя и степенями свободы v_e для знаменателя.

Используя F-распределение, доступное в виде таблиц и компьютерных программ, можно определить вероятность того, что значение статистического критерия F будет превышать значение v_e, рассчитанное по формуле. Данную вероятность сравнивают со значимым пределом 0,05. Если указанный предел превышен, то гипотезу о том, что модель является корректной, принимают. Если предел не превышен, гипотезу отклоняют.

Примечание 1 — Приведенную оценку принятой модели принимают как указание на то, что соответствие модели наблюдениям имеет место.

Примечание 2 — Приведенный ниже пример расчета критерия соответствия результатов испытаний при температуре 20 °С по таблице С.1 предполагает использование модели с двумя параметрами.

Значение критерия F (13;15) равно 0,478. Вероятность Pr того, что F-распределение с конкретным числом степеней свободы превышает указанное значение:

$$Pr\,[F\,(13;15) > 0{,}478] = 0{,}906.$$

При значимом пределе, установленном на уровне 0,05, модель принимают, так как вероятность превышает установленный уровень.

Приложение В
(обязательное)

Метод автоматического обнаружения излома

В.1 Принцип

Метод, приведенный в настоящем приложении, позволяет обнаруживать любой излом посредством вычислений, выполненных для каждой отдельной температуры испытания.

Предполагается, что для приведенных температуры и типа данных, между логарифмом $\log_{10}$ гидростатического напряжения, которому подвергнут образец трубы, и логарифмом $\log_{10}$ времени до разрушения образцов трубы существует линейная зависимость и измерения времени до разрушения подвержены случайной погрешности.

При этом тип данных зависит от значения гидростатического напряжения: точки данных типа В — при напряжениях ниже значения излома, типа А — при напряжениях выше этого значения.

В.2 Процедура обнаружения излома

Модель, отражающая сущность метода и принимающая во внимание типы разрушения, имеет следующий вид:

$$\log_{10} t = \begin{cases} c_1 + c_{31}\left(\log_{10}\sigma - \log_{10}\sigma_k\right) + e_i, \text{если тип А } (\sigma > \sigma_k) \\ c_1 + c_{32}\left(\log_{10}\sigma - \log_{10}\sigma_k\right) + e_i, \text{если тип В } (\sigma > \sigma_k) \end{cases},$$

где σ_k — напряжение, при котором проявляется излом;

c_1 — log(время) при напряжении излома;

c_{31} и c_{32} — наклоны двух ветвей;

e_i — ошибка переменной.

Примечание — Ошибки, предположительно, должны быть независимы и нормально распределены с постоянной дисперсией.

Для практической проверки соответствия выбранной модели полученным результатам анализируют напряжение σ_k выше экспериментального диапазона результатов испытаний и рассчитывают остаточную сумму квадратов соответствующего линейного приближения, выбирают минимальное значение σ_k. Для данного линейного приближения программное обеспечение выдаст N 3 степеней свободы, хотя на самом деле они должны быть $N - 4$, поскольку σ_k была уже выбрана. Правильное значение s_k^2 получается путем деления остаточной суммы квадратов на $N - 4$.

Для сравнения остаточной дисперсии s_k^2, соответствующей модели с изломом, с остаточной дисперсией s^2, соответствующей модели без излома, определяют статистический критерий Фишера F по формуле

$$F_{2,N-4} = \frac{\left\{(N-2)s^2 - (N-4)s_k^2\right\}}{2s_k^2}.$$

Статистический критерий Фишера F, согласно гипотезе о модели без излома, имеет F-распределение с двумя степенями свободы для числителя и $N - 4$ степени свободы для знаменателя, где N — число измерений.

Гипотеза о том, что излом отсутствует, принята с уровнем вероятности 5 %, если вероятность, связанная с расчетным значением F, превышает значимый уровень, равный 0,05. В противном случае гипотеза отклоняется, а наличие излома считают принятым.

Приложение С
(справочное)

Применение SEM к результатам разрушений под напряжением для полукристаллических полимеров

С.1 Результаты испытаний

Результаты испытаний образцов труб из полукристаллического полимера при температурах 20 °С, 40 °С и 60 °С приведены в таблицах С.1—С.3.

Таблица С.1 — Результаты испытаний при 20 °С

Температура, °С	Напряжение, МПа	Время, ч	Температура, °С	Напряжение, МПа	Время, ч
20	15,0	10	20	13,5	411
20	15,0	14	20	13,5	412
20	14,5	32	20	13,5	3 368
20	14,5	24	20	13,5	865
20	14,3	46	20	13,5	946
20	14,1	111	20	13,4	1220
20	14,0	201	20	13,3	1112
20	14,0	260	20	13,3	2108
20	14,0	201	20	13,2	4524
20	13,9	250	20	13,0	5137
20	13,7	392	20	13,0	7651
20	13,7	440	20	12,8	7760
20	13,7	512	20	12,8	8240
20	13,7	464	20	12,7	10 837
20	13,7	536			
20	13,6	680			

Таблица С.2 — Результаты испытаний при 40 °С

Температура, °С	Напряжение, МПа	Время, ч	Температура, °С	Напряжение, МПа	Время, ч
40	11,1	10	40	10,0	2076
40	11,2	11	40	10,0	1698
40	11,5	20	40	9,5	1238
40	11,5	32	40	9,5	1790
40	11,5	35	40	9,5	2165
40	11,5	83	40	9,5	7823
40	11,2	240	40	9,0	4128
40	11,2	282	40	9,0	4448
40	11,0	1912	40	8,5	7357
40	11,0	1856	40	8,5	5448
40	11,0	1688	40	8,0	7233
40	11,0	1114	40	8,0	5959
40	10,8	54	40	8,0	12 081
40	10,5	5686	40	7,5	16 920
40	10,5	921	40	7,5	12 888
40	10,5	1145	40	7,5	10 578
40	10,5	2445	40	6,5	12 921
40	10,0	5448	40	6,0	11 606
40	10,0	3488			
40	10,0	1488			

Таблица С.3 — Результаты испытаний при 60 °С

Температура, °С	Напряжение, МПа	Время, ч	Температура, °С	Напряжение, МПа	Время, ч
60	9,6	10	60	7,5	351
60	9,5	13	60	7,0	734
60	9,5	32	60	7,0	901
60	9,5	34	60	7,0	1071
60	9,5	114	60	7,0	1513
60	9,5	195	60	6,5	1042
60	9,2	151	60	6,5	538
60	9,0	242	60	6,0	4090
60	9,0	476	60	6,0	839
60	9,0	205	60	6,0	800
60	9,0	153	60	5,5	339
60	9,0	288	60	5,5	2146
60	8,9	191	60	5,5	2048
60	8,5	331	60	5,5	2856
60	8,5	296	60	5,0	1997
60	8,5	249	60	5,0	1647
60	8,5	321	60	5,0	1527
60	8,5	344	60	5,0	2305
60	8,5	423	60	5,0	2866
60	8,5	686	60	4,0	6345
60	8,5	513	60	3,5	15911
60	8,5	585	60	3,4	7841
60	8,5	719	60	3,4	8232
60	7,5	423	60	2,9	15 090
60	7,5	590			
60	7,5	439			
60	7,5	510			

С.2 Автоматическое обнаружение излома

Для автоматического обнаружения излома в качестве примера использованы результаты испытаний при температуре 40 °С, приведенные в таблице С.2.

Предполагается, что излом отсутствует и результаты испытаний описываются прямой линией, проходящей через все точки. Результирующая дисперсия равна 0,409115 с 36 степенями свободы.

Затем предполагают, что излом имеет место, и определяют его положение, анализируя 50 значений напряжения, равномерно распределенных в экспериментальном диапазоне логарифма напряжения. Значение, соответствующее наименьшей остаточной сумме квадратов приближения (принятая модель использует две прямые линии), проявляется при напряжении 10,57 МПа (log-напряжения 1,024) и прогнозируемом времени разрушения в

1985 ч (log времени 3,298) и составляет 7,94190. В таком случае остаточная дисперсия равна s_k^2 = 7,94190/34 = = 0,2336 с 34 степенями свободы.

Статистика Фишера, используемая для проверки наличия излома, равна 14,528. Вероятность того, что статистика Фишера с двумя и 34 степенями свободы больше 14,528, равна 0,0000275. Поскольку 0,0000275 < 0,05, принимают, что излом присутствует.

Классификация типов разрушения приведена в таблице С.4.

Таблица С.4 — Классификация типов разрушения

Температура, °С	Напряжение, МПа	Время, ч	Тип данных	Температура, °С	Напряжение, МПа	Время, ч	Тип данных
40	11,1	10	А	40	10,5	2445	В
40	11,2	11	А	40	10,0	5448	В
40	11,5	20	А	40	10,0	3488	В
40	11,5	32	А	40	10,0	2076	В
40	11,5	35	А	40	9,5	1790	В
40	10,8	54	А	40	9,5	2165	В
40	11,5	83	А	40	9,5	7823	В
40	11,2	240	А	40	9,0	4128	В
40	11,2	282	А	40	9,0	4448	В
40	11,0	1688	А	40	8,5	7357	В
40	11,0	1114	А	40	8,5	5448	В
40	11,0	1912	А	40	8,0	7233	В
40	11,0	1856	А	40	8,0	5959	В
40	10,5	921	В	40	8,0	12 081	В
40	10,0	1488	В	40	7,5	16 920	В
40	10,0	1698	В	40	7,5	12 888	В
40	9,5	1238	В	40	7,5	10 578	В
40	10,5	1145	В	40	6,5	12 912	В
40	10,5	5686	В	40	6,0	11 606	В

Примечание — Приведенный пример автоматического обнаружения излома иллюстрирует используемый метод. Для получения данного результата могут быть использованы различные программы расчета.

С.3 Пример расчета уравнения линейной регрессии длительной прочности

С.3.1 Графическая оценка результатов испытания (см. рисунок С.1)

С.3.1.1 Используемая модель

Поскольку уровень вероятности параметра c_3 при применении четырехпараметрической модели больше 0,05, модель сводится к трехпараметрической модели.

$$\log_{10} t = c_1 + \frac{c_2}{T} + \frac{c_4 \left(\log_{10} \sigma\right)}{T} + e.$$

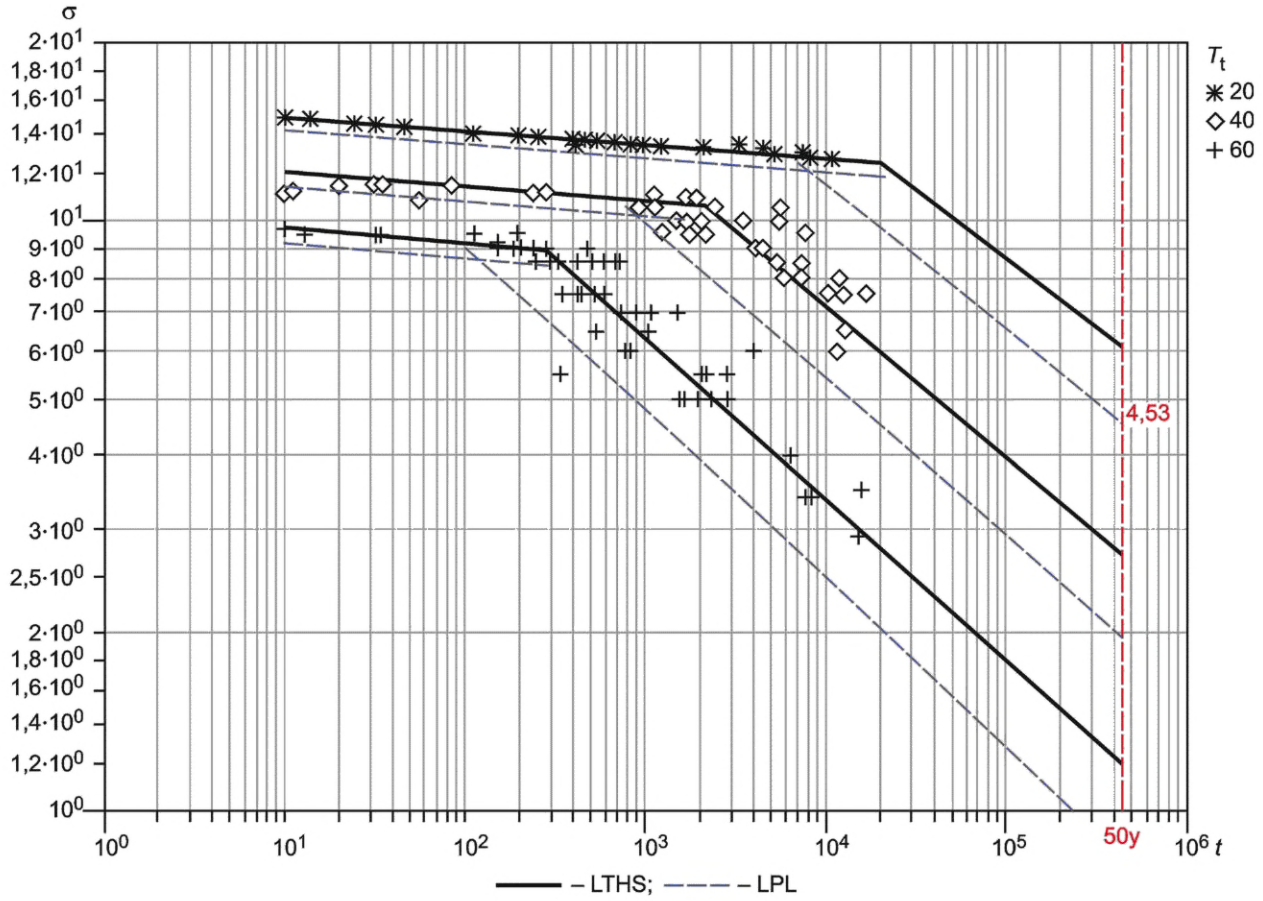
С.3.1.2 Тип данных А

Остаточная дисперсия. 0,205 909

Количество точек. 49

Количество параметров. 3

Количество степеней свободы. 46



t — время до разрушения, ч; σ — напряжение, МПа; T_t — температура испытания, °C

Рисунок С.1 — Графическое представление результатов анализа SEM для полукристаллического полимера

Подробная информация о параметрах и статистике для разрушений типа А приведена в таблице С.5 (более подробная статистика приведена в [2]).

Таблица С.5 — Оценка параметров для разрушения типа А

Параметр	Значение	Стандартная ошибка	t-критерий	$Pr(>\|t\|)$
c_1	−57,751	5,297	−10,902	0,000
c_2	32 021,416	2950,432	10,853	0,000
c_4	−12 596,346	1255,311	−10,034	0,000

Оценка пригодности модели: $Pr\,[F(19;27) > 3{,}020] = 0{,}004$.

С.3.1.3 Данные типа В

Остаточная дисперсия. 0,048 195

Количество точек. 70

Количество параметров. 3

Число степеней свободы. 67

Оценка параметров для разрушения типа В приведена в таблице С.6.

Таблица С.6 — Оценка параметров для разрушения типа В

Параметр	Значение	Стандартная ошибка	*t*-критерий	*Pr*(>|*t*|)
c_1	–15,794	1,008	−15,673	0,000
c_2	7239,786	365,424	19,812	0,000
c_4	−1219,841	76,695	−15,905	0,000

Оценка пригодности модели: $Pr\ [F(20;\ 47) > 0{,}741] = 0{,}764$.

С.3.2 Прогноз

С.3.2.1 Общие положения

Прогнозируемые значения длительной прочности приведены в таблицах С.7—С.10. Пределы экстраполяции по времени приведены в таблицах С.11 и С.12.

С.3.2.2 Данные типа А

Таблица С.7 — Прогнозируемые значения длительной прочности для разрушений типа А

Температура, °С	Время, ч					
	1	10	100	1000	10 000	100 000
	σ_{LTHS}, МПа					
20	15,780	14,956	14,176	13,436	12,735	В
40	12,776	12,065	11,394	10,760	В	В
60	10,344	9,733	9,158	В	В	В
	σ_{LPL} доверительный уровень (односторонний) = 0,975, МПа					
20	14,964	14,221	13,488	12,762	12,046	В
40	12,095	11,441	10,796	10,161	В	В
60	9,752	9,178	8,616	В	В	В

Таблица С.8 — Прогнозируемые значения длительной прочности для данных типа А

Температура, °С	Время, ч			
	0,5	1	10	50
	σ_{LTHS}, МПа			
20	12,982	12,774	В	В
40	В	В	В	В
60	В	В	В	В
σ_{LPL} доверительный уровень (односторонний) = 0,975, МПа				
20	12,302	12,087	В	В
40	В	В	В	В
60	В	В	В	В

С.3.2.3 Разрушения типа В

Таблица С.9 — Прогнозируемые значения длительной прочности для разрушений типа В

Температура, °С	Время, ч					
	1	10	100	1000	10 000	100 000
	σ_{LTHS}, МПа					
20	А	А	А	А	А	8,668
40	А	А	А	А	7,140	3,954
60	А	А	А	6,343	3,382	1,803
σ_{LPL} доверительный уровень (односторонний) = 0,975, МПа						
20	А	А	А	А	А	6,569
40	А	А	А	А	5,444	2,934
60	А	А	А	4,787	2,495	1,275

Таблица С.10 — Прогнозируемые значения длительной прочности для разрушений типа В

Температура, °С	Время, ч			
	0,5	1	10	50
	σ_{LTHS}, МПа			
20	А	А	8,948	6,078
40	8,825	7,387	4,090	2,706
60	4,237	3,506	1,870	1,205
σ_{LPL} доверительный уровень (односторонний) = 0,975, МПа				
20	А	А	6,789	4,533
40	6,762	5,638	3,041	1,955
60	3,160	2,592	1,326	0,822

С.3.2.4 Пределы экстраполяции

Таблица С.11 — Пределы экстраполяции по времени для T_t = 40 °С, t_{max} = 13 160,5 ч

T, °С	ΔT, °С	k_e	t_e, ч	t_e, лет
20	20	6	78 963	9,01

Таблица С.12 — Пределы экстраполяции по времени для T_t = 60 °С, t_{max} = 9966,4 ч

T, °С	ΔT, °С	k_e	t_e, ч	t_e, лет
20	20	50	498 321	56,89
40	20	6	59 799	6,83

С.3.3 Положение излома

Параметры положения изломов приведены в таблице С.13.

Таблица С.13 — Параметры точек излома

Температура, °С	Напряжение, МПа	Время, ч
20	12,51	21 745
40	10,55	2183
60	8,90	289

Приложение D
(справочное)

Применение SEM к результатам определения длительной прочности полимеров на основе винилхлорида

D.1 Результаты испытаний

Результаты испытаний образцов труб из полимера на основе винилхлорида при температурах 20 °С, 65 °С, 82 °С и 95 °С приведены в таблицах D.1, D.2, D.3 и D.4.

Таблица D.1 — Результаты испытаний при температуре 20 °С

Температура,°С	Напряжение, МПа	Время, ч	Температура,°С	Напряжение,МПа	Время, ч
20	42,08	191	20	35,54	2059
20	42,08	250	20	35,54	3949
20	40,96	124	20	35,32	21 025
20	40,96	484	20	35,32	3306
20	39,62	123	20	35,08	10 512
20	39,62	1409	20	35,08	25 919
20	38,52	2486	20	34,86	16 864
20	38,52	2761	20	34,86	6383
20	37,48	938	20	34,55	15 078
20	37,48	4402	20	34,55	24 671
20	37,00	5294	20	33,99	27 177
20	37,00	953	20	33,99	30 229
20	36,33	907	20	33,49	8947
20	36,33	8035	20	33,49	36 166
20	35,80	7710			
20	35,80	12 042			

Таблица D.2 — Результаты испытаний при температуре 65 °С

Температура, °С	Напряжение, МПа	Время, ч	Температура, °С	Напряжение, МПа	Время, ч
65	20,48	370	65	17,84	3876
65	20,48	429	65	17,10	2377
65	19,93	457	65	17,10	3383
65	19,93	677	65	16,68	4417
65	19,58	577	65	16,68	3893
65	19,58	503	65	16,48	6543
65	19,14	745	65	16,00	6373
65	19,14	865	65	16,00	7862
65	18,93	1010	65	15,78	9592
65	18,93	1542	65	15,78	8533
65	18,66	1854	65	15,61	9095
65	18,36	2850	65	15,61	10 429

Таблица D.3 — Результаты испытаний при температуре 82 °С

Температура, °С	Напряжение, МПа	Время, ч	Температура, °С	Напряжение, МПа	Время, ч
82	14,85	41	82	9,96	3955
82	14,85	72	82	9,96	7752
82	14,16	141	82	9,90	5474
82	14,16	78	82	9,90	8325
82	13,54	70	82	9,82	3784
82	13,54	313	82	9,82	5638
82	13,04	337	82	9,69	7434
82	13,04	576	82	9,69	12 778
82	12,43	342	82	9,59	5557
82	12,43	995	82	9,59	11 945
82	11,72	529	82	9,52	8622
82	11,72	1730	82	9,52	8701
82	10,99	1313	82	9,42	14 782
82	10,99	2561	82	9,42	11 789
82	10,72	988	82	9,36	12 258
82	10,72	4308	82	9,36	13 422
82	10,52	1077	82	8,94	12 363
82	10,52	2373	82	8,94	14 230
82	10,37	3325	82	8,67	17 614
82	10,37	7750	82	8,58	16 867
82	10,22	5650	82	8,58	18 442
82	10,22	7205			
82	10,04	5436			
82	10,04	6154			

Таблица D.4 — Результаты испытаний при температуре 95 °С

Температура, °С	Напряжение, МПа	Время, ч	Температура, °С	Напряжение, МПа	Время, ч
95	9,57	42	95	5,47	2681
95	9,57	32	95	5,47	2572
95	8,53	66	95	5,28	3495
95	8,53	276	95	5,28	8741
95	7,48	424	95	5,15	9567
95	7,48	522	95	5,15	6384
95	6,80	756	95	5,03	8091
95	6,80	645	95	5,03	10 073
95	6,29	674	65	4,70	9306
95	6,29	734	65	4,70	9935
95	5,96	1179	65	4,60	12 334
95	5,96	1713	65	4,60	10 802
95	5,73	1701			
95	5,73	2596			
95	5,59	2708			
95	5,59	3129			

D.2 Регрессионные расчеты, выполненные на основе данных о разрыве под напряжением

D.2.1 Графическая оценка результатов испытания (см. рисунок D.1)

D.2.1.1 Используемая модель

Поскольку уровень вероятности параметра c_3 при применении четырехпараметрической модели ниже 0,05, выбирается четырехпараметрическая модель.

$$\log_{10} t = c_1 + \frac{c_2}{T} + c_3 \log_{10} \sigma + \frac{c_4 \left(\log_{10} \sigma\right)}{T} + e.$$

D.2.1.2 Разрушение типа А

Остаточная дисперсия. 0,055 529

Количество точек. 127

Количество параметров. 4

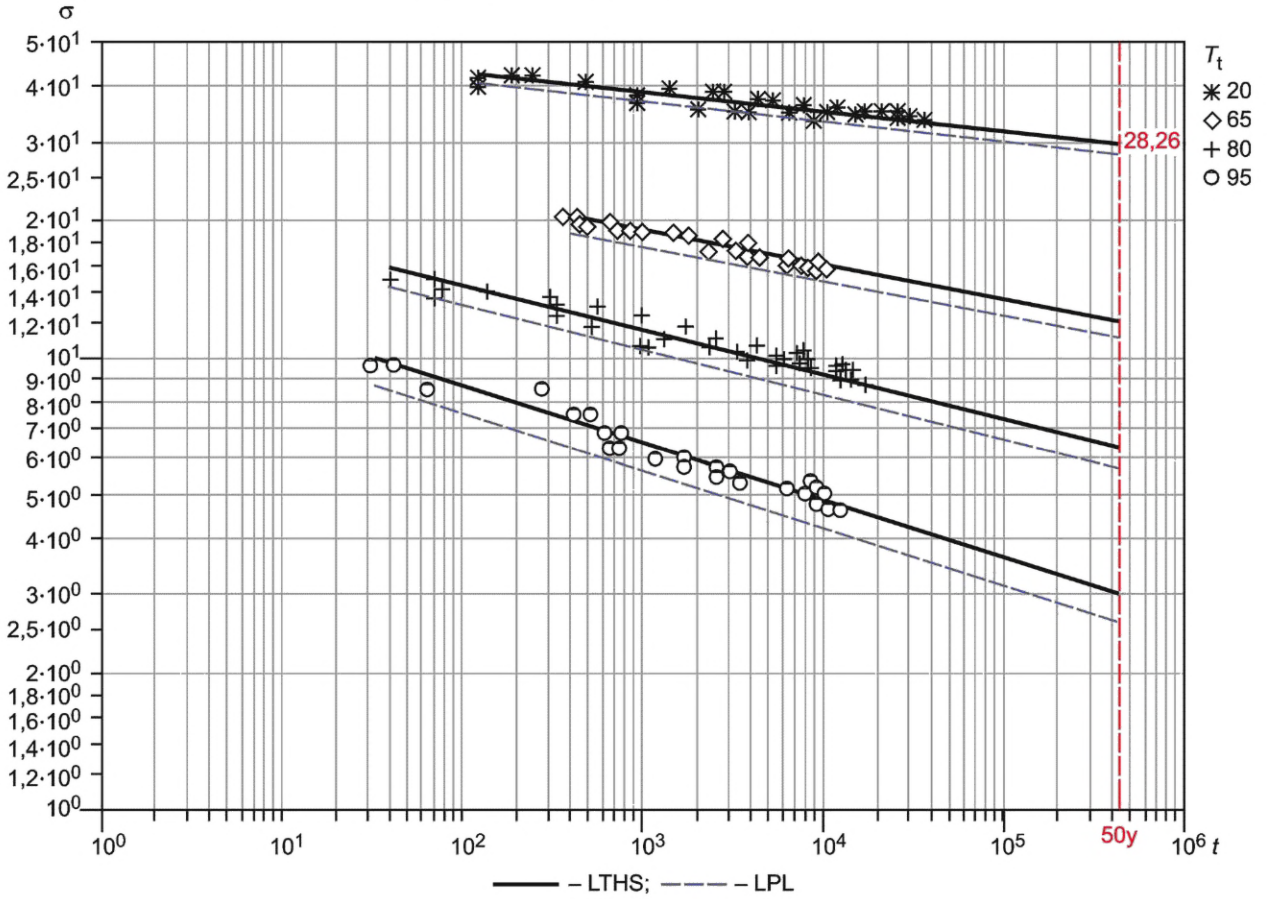
Число степеней свободы. 123

Подробная информация о параметрах и статистике для разрушений типа А приведена в таблице D.5 (более подробная статистика приведена в [2]).

Таблица D.5 — Оценка параметров разрушения типа А

Параметр	Значение	Стандартная ошибка	*t*-критерий	*Pr*(>|*t*|)
c_1	–107,824	4,023	–26,801	0,000
c_2	43 174,002	1528,801	28,240	0,000
c_3	50,680	2,122	23,881	0,000
c_4	–21 585,753	837,454	–25,775	0,000

Оценка пригодности модели: $Pr\,[F\,(62;61) > 0{,}724] = 0{,}897$



t — время до разрушения, ч; σ — напряжение, МПа; T_t — температура испытания, °C

Рисунок D.1 — Графическое представление результатов SEM-анализа для полимера на основе винилхлорида

D.2.2 Прогноз

D.2.2.1 Общие положения

Прогнозируемые значения длительной прочности приведены в таблицах D.6 и D.7.

Пределы экстраполяции приведены в таблицах D.8, D.9 и D.10.

D.2.2.2 Данные типа А

Таблица D.6 — Прогнозируемые значения длительной прочности для разрушений типа А

Температура °C	Время, ч					
	1	10	100	1 000	10 000	100 000
	σ_{LTHS}, МПа					
20	52,333	47,338	42,820	38,733	35,036	31,692
65	32,300	27,113	22,759	19,105	16,037	13,462
82	22,944	18,266	14,542	11,577	9,217	7,338
95	15,420	11,544	8,642	6,469	4,843	3,626
σ_{LPL} уровень надежности (односторонний) = 0,975 МПа						
20	49,681	45,042	40,805	36,933	33,398	30,173
65	29,570	24,902	20,944	17,590	14,751	12,352
82	20,456	16,356	13,056	10,402	8,272	6,565
95	13,334	10,034	7,532	5,639	4,211	3,136

Таблица D.7 — Прогнозируемые значения длительной прочности для разрушений типа А

Температура °C	Время, ч			
	0,5	1	10	50
	σ_{LTHS}, МПа			
20	36,319	35,238	31,875	29,716
65	17,076	16,199	13,598	12,032
82	10,002	9,338	7,435	6,339
95	5,373	4,924	3,686	3,011
σ_{LPL} уровень надежности (односторонний) = 0,975, МПа				
20	34,629	33,593	30,350	28,257
65	15,715	14,902	12,479	11,015
82	8,982	8,382	6,653	5,655
95	4,677	4,283	3,190	2,593

D.2.2.3 Экстраполяции по времени

Таблица D.8 — Пределы экстраполяции по времени для T_t = 65 °C, t_{max} = 9059,8 ч

T, °C	ΔT, °C	k_e	t_e, ч	t_e, лет
20	45	100	876 000	100,00

Таблица D.9 — Пределы экстраполяции по времени для T_t = 82 °C, t_{max} = 16 305,3 ч

T, °C	ΔT, °C	k_e	t_e, ч	t_e, лет
20	62	100	876 000	100,00
65	17	10	163 053	18,61

Таблица D.10 — Пределы экстраполяции по времени для T_t = 82 °C, t_{max} = 10 498,9 ч

T, °C	ΔT, °C	k_e	t_e, ч	t_e, лет
20	75	100	876 000	100,00
65	30	100	876 000	100,00
82 135	13	5	47 245	5,39

D.2.3 Точка излома

Излом не обнаружен.

Приложение Е
(справочное)

Программное обеспечение для расчета данных о разрушении под напряжением в соответствии с ISO 9080

Программное обеспечение для расчета длительной прочности, соответствующее настоящему стандарту, было разработано компаниями Becetel® (BECETEL vzw, Gontrode Heirweg 130, B — 9090 Melle, Belgium, e-mail info@becetel.be) и Pipeson® (PIPESON AB, Herkulesgatan 12, SE — 111 52 Stockholm, Sweden, e-mail info@pipeson.se). Это программное обеспечение соответствует требованиям настоящего стандарта и было апробировано и одобрено рабочей группой 10 ISO/TC 138/SC 5.

Данная информация приведена для удобства пользователей данного стандарта и не является требованием для применения именно данного программного пакета со стороны ISO. Могут быть использованы эквивалентные программные пакеты при условии, что такие программы расчета позволяют получать аналогичные результаты с параметрами точности, указанными в разделе 6.

Приложение ДА
(справочное)

Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов межгосударственным стандартам

Таблица ДА.1

Обозначение ссылочного международного стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование соответствующего межгосударственного стандарта
ISO 1167-1	IDT	ГОСТ ISO 1167-1—2013 «Трубы, соединительные детали и узлы соединений из термопластов для транспортирования жидких и газообразных сред. Определение стойкости к внутреннему давлению. Часть 1. Общий метод»
ISO 1167-2	IDT	ГОСТ ISO 1167-2—2013 «Трубы, соединительные детали и узлы соединений из термопластов для транспортирования жидких и газообразных сред. Определение стойкости к внутреннему давлению. Часть 2. Подготовка образцов труб»
ISO 2507-1:1995	—	*
ISO 3126	—	ГОСТ ISO 3126—2023 «Трубопроводы из пластмасс. Пластмассовые элементы трубопровода. Определение размеров»
ISO 11357-3	—	*
ISO 12162	IDT	ГОСТ ISO 12162—2017 «Материалы термопластичные для напорных труб и соединительных деталей. Классификация, обозначение и коэффициент запаса прочности»
ISO 17456	—	*

* Соответствующий межгосударственный стандарт отсутствует. До его принятия рекомендуется использовать перевод на русский язык данного международного стандарта.

Примечание — В настоящей таблице использовано следующее условное обозначение степени соответствия стандартов:
- IDT — идентичный стандарт.

Библиография

[1] Ralston A., Wilf H.S. *Mathematical Methods for Digital Computers*. John Wiley & Sons, Vol. 1, 1967

[2] Scheff H. *The Analysis of Variance*. John Wiley & Sons, New York, 1959

УДК 678.5:006.354 МКС 23.040.20 IDT

Ключевые слова: трубопроводы, воздуховоды, пластмассы, длительная гидростатическая прочность, термопласты, метод экстраполяции

Редактор *М.В. Митрофанова*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *И.А. Королева*
Компьютерная верстка *А.Н. Золотаревой*

Сдано в набор 10.01.2024. Подписано в печать 01.02.2024. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 4,18. Уч.-изд. л. 3,35.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении в ФГБУ «Институт стандартизации» для комплектования Федерального информационного фонда стандартов, 117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.
www.gostinfo.ru info@gostinfo.ru

Поправка к ГОСТ ISO 9080—2023 Трубопроводы и воздуховоды из пластмасс. Определение длительной гидростатической прочности термопластов на образцах в форме труб методом экстраполяции

В каком месте	Напечатано	Должно быть		
Предисловие. Таблица согласования	—	Таджикистан	TJ	Таджикстандарт

(ИУС № 10 2024 г.)

Поправка к ГОСТ ISO 9080—2023 Трубопроводы и воздуховоды из пластмасс. Определение длительной гидростатической прочности термопластов на образцах в форме труб методом экстраполяции

В каком месте	Напечатано	Должно быть		
Предисловие. Таблица согласования	—	Армения	AM	ЗАО «Национальный орган по стандартизации и метрологии» Республики Армения

(ИУС № 12 2024 г.)

Поправка к ГОСТ ISO 9080—2023 Трубопроводы и воздуховоды из пластмасс. Определение длительной гидростатической прочности термопластов на образцах в форме труб методом экстраполяции

В каком месте	Напечатано	Должно быть		
Предисловие. Таблица согласования	—	Казахстан	KZ	Госстандарт Республики Казахстан

(ИУС № 10 2025 г.)