

СИСТЕМА СТАНДАРТОВ

ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ПОДТВЕРЖДЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НАПОРНЫХ ПЛАСТМАССОВЫХ ТРУБ

Игорь Гвоздев, Марк Айзенштейн, Наталья Галиуллина

Сложившаяся к настоящему времени система российских (ГОСТ Р), международных (ISO) и европейских (EN) стандартов обеспечивает с высокой степенью надежности нахождение основных эксплуатационных характеристик пластмассовых напорных труб, в первую очередь, температурно-временную зависимость прочности.

Основополагающим в этой группе нормативных документов является стандарт ISO 9080 "Plastics piping and ducting systems – Determination of the long-term hydrostatic strength of thermoplastics materials in pipe form by extrapolation" (с 02.01.2013 г. вводится в действие ГОСТ Р 54866-2011 (ISO 9080) «Трубы из термопластичных материалов. Определение длительной гидростатической прочности на образцах труб методом экстраполяции» – прим. автора).

Рассматриваемый стандарт устанавливает правила проведения испытаний трубных образцов из исследуемого полимера на стойкость к внутреннему гидростатическому давлению. Стандартом предписывается количество значений температур, при которых проводятся испытания (две или более, отличающиеся друг от друга минимум на 10°C), количество результатов испытаний, т. е. разрушений (как минимум 30 для каждой температуры), распределение интервалов времен разрушения (при этом как минимум 4 разрушения должно быть получено при времени более 7000 часов и одно – свыше 9000 часов).

Стандарт предписывает правила математической обработки результатов испытаний. В результате проведенных испытаний и расчета линейной регрессии с последующей экстраполяцией на срок службы (обычно 50 лет) получают уравнение зависимости времени до разрушения от напряжения и температуры испытания вида

$$\lg t = C_1 + \frac{C_2}{T} + C_3 \lg \sigma + C_4 \frac{\lg \sigma}{T} + e \quad (1)$$

где

C_{1-4} – коэффициенты уравнения;

t – время до разрушения, час;

T – температура, К;

σ – напряжение в стенке трубы, МПа;

e – характеристика разброса данных.

На основе характеристик разброса данных для указанного уравнения определяется с вероятностью 97,5% граница возможных отклонений, которая является нижним доверительным пределом предсказанной гидростатической прочности $LPL = (T, t, 0,975)$.

Пример результатов такого комплекса испытаний, проведенного для определения температурно-временной зависимости прочности и подтверждения соответствия классу ПЭ 100, приведен на рис. 1.

Следует отметить, что ни одна фирма, начинающая выпуск полимера трубных марок, не может выйти на рынок, не имея со стороны независимого органа подтверждения классификации трубной марки, т. е. получения результатов испытаний по ISO 9080.

Часто при разработке международных и европейских стандартов на определенный вид трубы приводят уравнения, обобщенные по результатам испытаний нескольких марок одного класса. Для наглядности часто в стандартах на трубы, помимо уравнений с конкретными значениями коэффициентов C_1 – C_4 , приводят графическое изображение зависимости нижнего предела допускаемого напряжения от времени его воздействия для различных температур, пример которого приведен на рис. 2.

Кроме того, стандартом предписаны коэффициенты, определяющие допустимые пределы экстраполяции во времени полученных результатов длительной прочности. Коэффициенты зависят от разницы температуры экстраполяции и максимальной температуры испытаний. Значения коэффициентов для кристаллических и полукристаллических полимеров приведены в табл. 1.

Табл. 1. Значения коэффициентов экстраполяции для кристаллических и полукристаллических полимеров

$\Delta T, ^\circ\text{C}$	Коэффициент экстраполяции во времени ke
$\geq 10 < 15$	2,5
$\geq 15 < 20$	4
$\geq 20 < 25$	6
$\geq 25 < 30$	12
$\geq 30 < 35$	18
$\geq 35 < 40$	30
$\geq 40 < 50$	50
≥ 50	100

Возможность использования данных таблицы 1 ограничена двумя условиями:

– уравнение (1) должно распространяться на используемый для расчета диапазон температур, определяемый стандартом на трубы. Так, для труб из основных термостойких полимеров значения уравнения действительны для диапазона температур от 10 до 95°C. При этом максимальная температура испытаний не должна превышать величину, равную температуре плавления полимера минус 15°C.

– максимальное время при максимальной температуре, используемое для расчета экстраполяции, не должно превышать время, установленное стандартом на данный вид полимера (в большинстве стандартов на трубы повышенной теплостойкости это время составляет 8760 часов). Увеличение коэффициента экстраполяции, т. е. расширение диапазона экстраполяции возможно только при наличии надежно подтвержденных данных испытаний свыше 8760 часов при температуре 110°C.

Результаты, полученные при определении температурно-временной зависимости прочности, используются, главным образом, в двух случаях применения напорных труб.

В варианте работы трубопровода при постоянной температуре в качестве показателя прочности используется значение минимальной длительной прочности (MRS). Величина этого значения и правила выбора установлены стандартом ГОСТ ИСО 12162 «Материалы термопластичные для напорных труб и соединительных деталей. Классификация и обозначение. Коэффициенты запаса прочности» (ISO 121162:1995). В табл. 2 в качестве примера приведен принцип определения MRS для трех видов материала на основе полученных по стандарту ISO 9080 значений LCL. В качестве примера взяты три основных вида трубного полиэтилена – ПЭ 63, ПЭ 80 и ПЭ 100.

Стандартами на трубы, работающими при постоянной температуре, предписана следующая формула для определения максимального рабочего давления (MOP) с использованием значения MRS:

$$MOP = \frac{2MRS}{C(SDR - 1)} \quad (2)$$

где
 C – коэффициент запаса прочности, зависящий от типа и условий эксплуатации трубопровода;
 SDR – стандартное размерное отношение.
 Для расчета труб, работающих в процессе эксплуатации при переменных температурах, необходимо использовать данные уравнения (1), применяя для расчета прочности предписанные рабочие температуры.

Методика такого расчета предписана стандартом ISO 13760 “Plastics pipes for conveyance of fluids under

Табл. 2

Интервал нижнего доверительного предела LCL, МПа	Минимальная длительная прочность MRS, МПа	Классификационный номер
6,3 ≤ LCL ≤ 7,99	6,3	63
8 ≤ LCL ≤ 9,99	8	80
10 ≤ LCL ≤ 11,19	10	100

pressure – Miner’s rule – Calculation method for cumulative damage” (Пластиковые трубы для транспортировки жидкостей под давлением – Правило Майнера – Метод расчета накопленных повреждений). В стандарте рассчитывается время до разрушения трубы с использованием уравнения (1) при различных температурах и давлениях эксплуатации. Используя сумму отношения доли работы при постоянных условиях к времени до разрушения при этих условиях, рассчитывается время работы, т. е. накопление 100%-го повреждения. При необходимости напряжение в уравнении (1) берется с предписанным коэффициентом запаса прочности.

Для расчёта температурно-временной зависимости прочности многослойных труб используются отдельные стандарты, как например стандарт ISO 17456:2006 “Multilayer plastics pipes. Determination of the long-term

Рис. 1. Заключение о результатах классификационных испытаний трубной марки полиэтилена



strength” (02.01.2013 г. вводится в действие ГОСТ Р 54867-2011 (ISO 17456) «Трубы полимерные многослойные. Определение длительной прочности на образцах труб» – прим. автора).

Указанный стандарт распространяется на два типа труб: первый тип – трубы, состоящие только из полимерных слоев, и второй – трубы, включающие металлические слои. ГОСТ устанавливает следующие методы определения длительной гидростатической прочности: расчетный, применяемый для многослойных труб типа *P* (все слои полимерные), и экспериментальный (испытание на длительную прочность), применяемый для многослойных труб типов *P* и *M* (с полимерными и металлическими слоями).

Для многослойных труб типа *P* длительную прочность определяют расчетом, применяя уравнение, включающее размеры и среднее значение гидростатической прочности *LTHS* материала каждого слоя, определенное по ГОСТ Р 54866 (ISO 9080) или по эталонным зависимостям длительной прочности, приведенным в стандарте на трубы конкретного вида.

Гидравлическое давление в трубе *p*, МПа, рассчитывают, используя уравнение

$$p_{T,t} = 20 \sum_{n=1}^N \frac{\sigma_n \cdot e_n}{d_n - e_n}$$

где $p_{T,t}$ – расчетное давление для многослойных труб, МПа, при температуре *T*, °С, за время *t*, ч;

n – число слоев, несущих нагрузку;

σ – напряжение в стенке слоя трубы, МПа, определяемое в соответствии со стандартом на трубу конкретного типа при температуре *T*, °С, за время *t*, ч;

e_n – толщина стенки слоя, несущего нагрузку, мм;

d_n – наружный диаметр слоя, несущего нагрузку, мм.

Для многослойных труб типов *M* и *P* длительную прочность определяют путем анализа результатов серии испытаний на стойкость к внутреннему давлению, проведенных для конкретных конструкций многослойных труб.

В стандартах на конкретные виды труб, например, для транспортировки воды, горючих газов, горячей воды и теплоснабжения, в качестве технических требований предусмотрены испытания на стойкость к внутреннему давлению. Контрольные параметры таких испытаний включают: температуру испытаний, начальное напряжение в стенке трубы и время до разрушения. При этом даже в стандартах на трубы, работающие при постоянной нормальной температуре – ГОСТ 18599 «Трубы напорные из полиэтилена» и ГОСТ Р 50838 «Трубы полиэтиленовые для газопроводов», – предусмотрены испытания при температуре 80°C. Задача этого вида испытания – подтвердить неизменность характера прочностной зависимости труб, т. е. соответствие уравнению (1), и возможность проведения экстраполяции на требуемый срок службы.

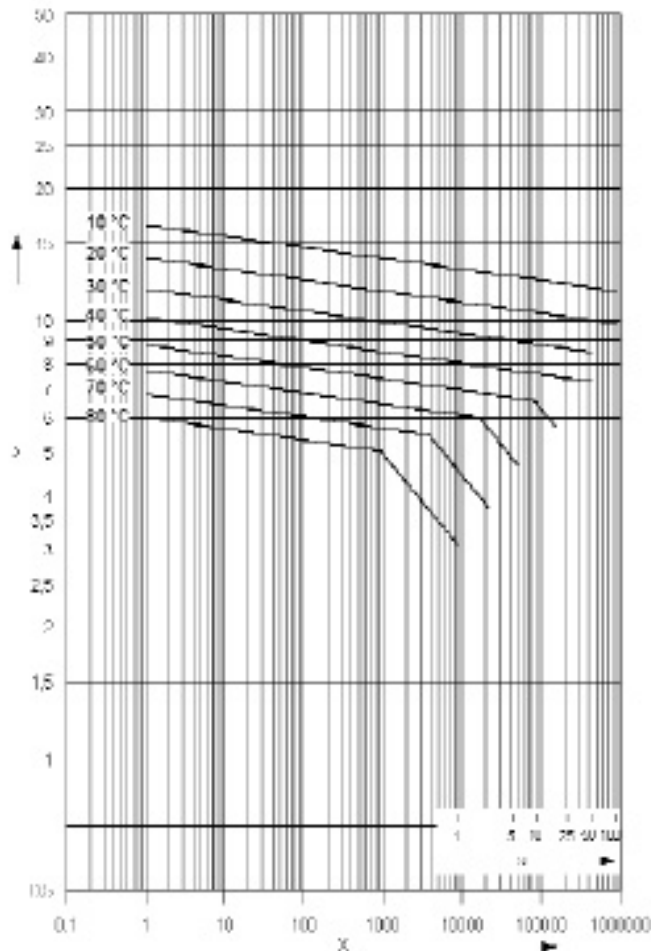


Рис. 2. Пример нормированной температурно-временной зависимости прочности полимерного материала

В трубах, работающих при повышенных температурах, например, в горячем водоснабжении, теплоснабжении, кроме обычных испытаний на стойкость к внутреннему давлению при нормальной и повышенной температуре дополнительно предусмотрена оценка термостабильности. Для этого образцы труб нагружают внутренним давлением при небольшой величине напряжения в стенке трубы и проводят испытания при повышенной температуре 110°C с контрольным временем 8760 часов. Особо хотим обратить внимание, что контрольные уровни этого испытания не могут быть использованы для расчета длительной прочности труб, а служат только для получения данных по термостабильности с возможностью их экстраполяции на основе уравнения Аррениуса.

Существующая система нормативной документации обеспечивает правильный и надежный выбор полимеров для трубопроводов различного назначения с целью надежного обеспечения их условий эксплуатации и не оставляет добросовестному исследователю и пользователю поля для околонучных спекуляций.