

Сравнение свойств полиэтиленовых труб повышенной термостойкости PE-RT и труб из сшитого полиэтилена PEX

В настоящее время существуют три способа производства труб из сшитого полиэтилена, масштабы промышленного производства которых различны. Приняты следующие условные обозначения способов производства труб: PEX-a, PEX-b и PEX-c.

Трубы, получаемые посредством указанных трех способов, выпускаются по единому нормативному документу, независимо от его уровня: международный стандарт ISO15875, европейский стандарт EN 12318 или страны разработчика Германии DIN 16892 и 16893, и полностью воспроизводящий в этой части ГОСТ 32415. В этих документах температурно-временные зависимости прочности труб приняты одинаковыми для всех типов труб и, как следствие, одинаковые требования по контрольным параметрам испытания на стойкость к внутреннему давлению. Таким образом, трубы, полученные любым из трех способов, по своим свойствам и в первую очередь по длительной прочности должны быть не ниже предписанных требованиями стандартов. Естественно, что трубы, полученные разными способами, отличаются по своим свойствам, например, по реально достигнутой степени сшивки полиэтилена. Так требования по степени сшивки, оцениваемой по содержанию гель-фракции, различны и составляют для PEX-a – 75%, для PEX-b – 65% и для PEX-c – 60% [1,2].

Рассматриваемые способы производства отличаются как по химизму образования поперечных связей, так и по технологическому процессу производства и используемому оборудованию.

Краткая информация о способах получения труб из PEX_a, PEX_b, PEX_c, PE-RT и о структуре их материалов.

Теплостойкий высокопрочный полиэтилен PEX для производства труб в системах отопления и горячего водоснабжения получен в 1978 году шведским инженером Т. Энгелем. Метод Энгеля основан на поперечном химическом сшивании линейных цепочек полиэтилена с помощью органических пероксидов. Пероксиды, находясь в расплаве полимера, под действием высокой температуры распадаются с образованием активных радикалов. Эти радикалы отрывают часть атомов водорода из линейных макромолекул полиэтилена $(-\text{CH}_2 - \text{CH}_2-)_n$ с образованием макрорадикалов. Макрорадикалы рекомбинируют с образованием C – C связей между соседними цепочками. Таким образом образуется химически сшитая пространственная структура с короткими жесткими поперечными связями C – C. Сшитый с помощью пероксидов полиэтилен обозначается PEX-a. Степень сшивки у PEX-a составляет 70 – 75% [1,2].

Второй химический метод сшивки макромолекул полиэтилена – силанольный. В экструдер подается полиэтилен, силанол, активатор прививки и катализатор сшивки. В расплаве полиэтилена под действием высокой температуры двойные связи силанола раскрываются $(\text{H}_2\text{C}=\text{CH})\text{Si}(\text{OR})_3$ и образуются активные радикалы со свободными валентностями у атомов углерода. Эти радикалы отрывают атомы водорода в

макромолекулах полиэтилена. Соседние макрорадикалы замыкаются через химические связи: C-Si-O-C, формируя пространственную сетку. После экструзии степень сшивки достигает только 15%. Поэтому проводят дальнейшую обработку трубы водой при высокой температуре (~80°C) в течение 10-12 суток до достижения степени сшивки 65%. Сшитый силанолом полиэтилен обозначается PEХ-b [2].

Третий вид сшитого полиэтилена PEХ-с получают воздействием на готовую трубу ускоренных электронов или γ -излучения дозой до 20 Мрад. При этом химические связи в макромолекулах полиэтилена разрываются, образовавшиеся свободные макрорадикалы рекомбинируют, создавая пространственную химически сшитую C – C связями сетчатую структуру со степенью сшивки 55 – 60% [1,2].

Наибольшее распространение из сшитых полиэтиленов получил PEХ-а из-за относительно низкой стоимости сырья (по сравнению с PEХ-b), высокой степени сшивки, сравнительно высокой производительности экструзии труб, отсутствия в технологических линиях дорогостоящих ускорителей электронов и дорогостоящей защиты персонала от проникающей радиации [1,2].

Сравнительно недавно, 20 лет назад, специалистами фирмы Dow Chemical создана новая марка трубного полиэтилена – полиэтилен повышенной термостойкости (далее PE-RT). PE-RT синтезируют методом направленного пространственного формирования боковых октеновых (восемь атомов углерода) ответвлений от основной макромолекулярной линейной цепи $(-CH_2 - CH_2-)_n$. Относительно длинные боковые ветви создают вокруг главной цепи области взаимопереплетенных ветвей соседних макромолекул. Таким образом формируется пространственная физическая сетка. Материал приобретает ряд уникальных свойств: долговременную термостойкость, повышенную прочность, удароустойчивость, стойкость к УФ-излучению при сохранении эластичности. Трубы из PE-RT, например, из материала Dowlex 2388, имеют улучшенную гидростатическую прочность, повышенную устойчивость к растрескиванию при напряженных состояниях (из-за высокой релаксации напряжений). Из диаграмм долговременной прочности установлено, что трубы из PE-RT могут эксплуатироваться 50 лет в интервале температур 60 – 90 °С при давлении 10 атм и кратковременно при 110 °С [3].

Считается, что благодаря длительной гидростатической прочности при высоких температурах в сочетании с превосходной гибкостью трубы из Dowlex 2344E и Dowlex 2388 наиболее приемлемы в системах отопления и горячего водоснабжения [3,4].

Поскольку формирование надмолекулярной структуры PE-RT происходит на стадии синтеза полимера, никаких дополнительных технологических приемов (добавление сшивающих агентов, радиационное облучение) не требуется. Это позволяет интенсифицировать технологический процесс производства труб, снизить их себестоимость. При этом достигается наивысшая равномерность сетчатой структуры по толщине и длине трубы.

Боковые ответвления октена (C_8H_{16}), химически соединенные с

главными цепями PE-RT, имеют длину, достаточную для взаимного переплетения с боковыми ответвлениями соседних главных цепей. Эти «ветви» соседних макромолекул, взаимно переплетаясь, образуют пространственную физическую сетку [5]. Эта сетка способна под действием температурно-силовых полей разрушаться и вновь восстанавливаться при охлаждении расплава. При этом главные цепи PE-RT остаются неизменными в процессе переработки.

Поскольку эта структура закладывается непосредственно при полимеризации этилена в присутствии октена, производство труб из PE-RT не отличается по технологии от получения труб из обычных полиэтиленов. Отсутствие дополнительных технологических приемов интенсифицирует технологический процесс получения PE-RT труб по сравнению с производством PEХ труб [3].

Трубы из PE-RT приобретают ряд уникальных свойств: повышенные теплостойкость и прочность при достаточной эластичности, высокую ударную прочность при температурах до минус 25 °С [3, 4].

Трубы из PE-RT не чувствительны к УФ лучам по сравнению с трубами PEХ, т.к. УФ лучи инициируют процесс дальнейшей сшивки PEХ, что приводит к потере его пластичности.

Срок службы труб PE-RT (Dowlex 2388) при температуре 60 °С и рабочем давлении 0,6 МПа составляет 100 лет (согласно испытаниям «Bodycote Polymer AB») [3,5].

Низкий коэффициент шероховатости поверхности PE-RT труб сводит к минимуму гидравлическое сопротивление движущейся в них жидкости. Максимальная рабочая температура труб PE-RT 95 °С, однако температура 110 °С не является критической при непродолжительной эксплуатации, допускается работа PE-RT труб в аварийном режиме при температуре 122 °С [3], т.к. температура плавления кристаллической фазы равна 132 °С. Однако необходимо учитывать, что расчетный срок эксплуатации труб сокращается. Трубы из PE-RT, как и другие полиэтиленовые трубы, практически не подвержены отложениям и коррозии. Их отличает трещиностойкость, возможность использования различных способов соединений – сварное соединение (стыковое, электромуфтовое, раструбное), пресс-фитинговое соединение и др. Свойства материала PE-RT [3]:

Наименование показателя	Значения
Индекс плавления:	190°С/2,16кг – 0,85г/мин 190°С/5кг – 2,91г/мин
Плотность	0,941 г/см ³
Максимально допустимая температура	124,5 °С
Максимальная рабочая температура	95-110 °С
Коэффициент теплового линейного расширения	1,8·10 ⁻⁴ К
Прочность при растяжении	20,6 МПа
Удлинение при разрыве	13 %
Шероховатость	400 Å

Трубы PE-RT рекомендуются для применения в магистральных трубопроводах, трубопроводах открытой прокладки в системах отопления с рабочей температурой теплоносителя 90-95 °С и рабочем давлении 10 бар. Допускается аварийная эксплуатация труб PE-RT при 122 °С [3].

PE-RT – это полиэтилен высокой плотности с высоким температурным сопротивлением и устойчивостью к старению.

Исследования, проведенные авторитетной шведской лабораторией Bodycote Polymer (с 2010 г. Ехова), показывают, что по долгосрочной термической стойкости трубы из PE-RT превосходят трубы из PEX [6] (рисунок 1,2).

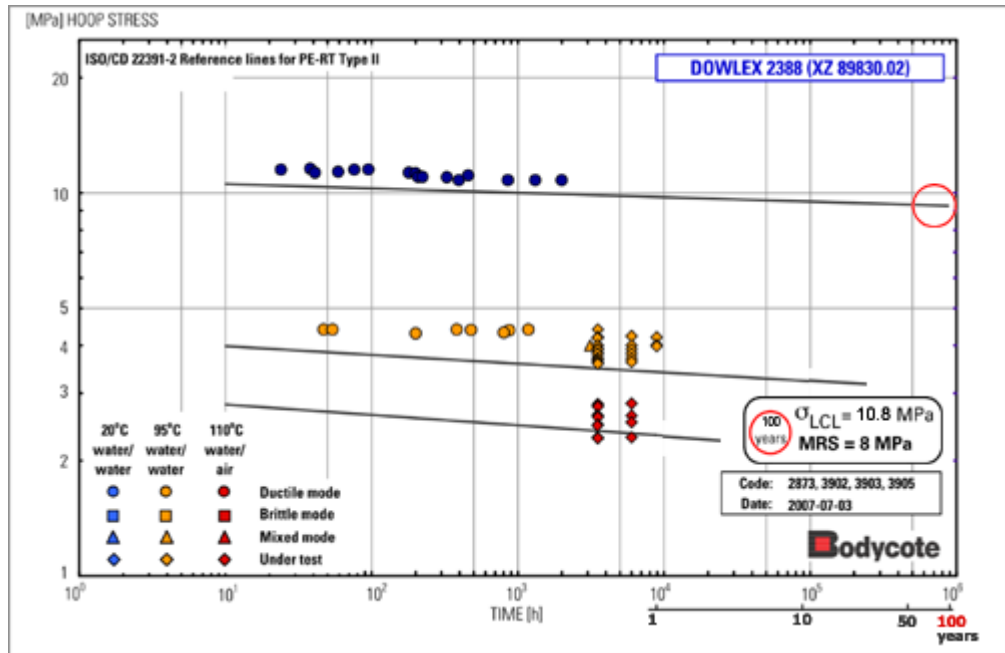


Рис. 1 Долгосрочная термическая стойкость полиэтиленовых труб из PE-RT

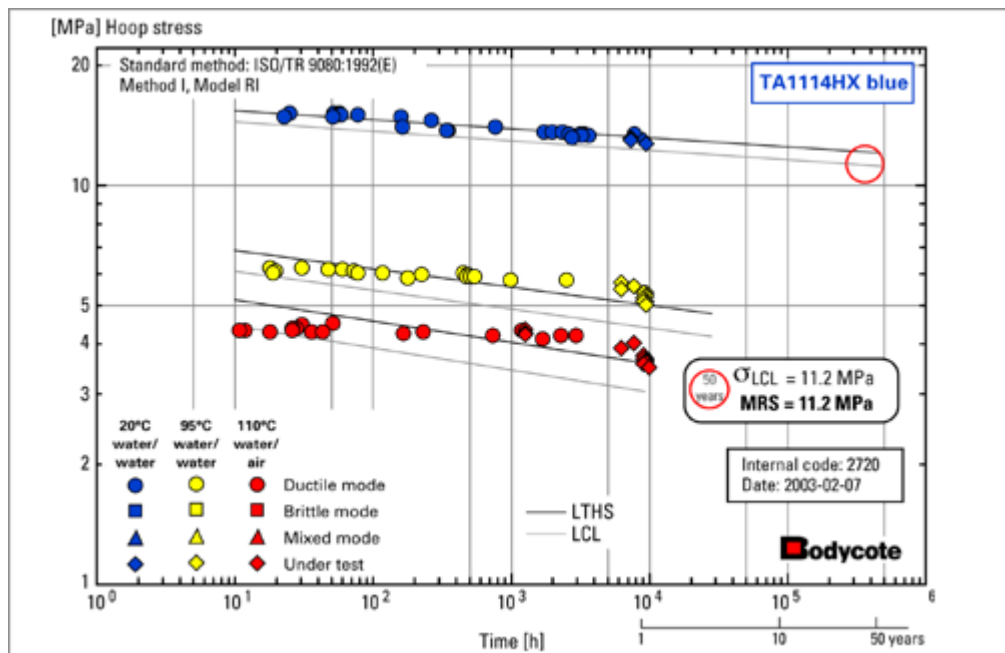


Рис. 2 Долгосрочная термическая стойкость полиэтиленовых труб из PEX-a

Полиэтилены DOWLEX успешно использовались в системах горячего водоснабжения и отопления в течение 20 лет. Длительная гидростатическая прочность труб PE-RT в сочетании с очень высокой гибкостью сделали их предпочтительными в системах отопления [7].

В настоящее время, к сожалению, на территории Республики Беларусь отдельными маркетологами распространяется мнение о том, что трубы PE-RT менее долговечны, чем трубы из PEХ-а. Поскольку это не соответствует действительности, в настоящей статье мы приводим сравнительные данные по долговечности труб PEХ-а и PE-RT, полученные в Белорусском государственном технологическом университете при исследовании труб разных производителей за последние 10 лет. Долговечность оценивалась по экспресс-методу, применяемому в Республике Беларусь в соответствии с СТБ 1333.2-2002 [8].

Настоящий стандарт распространяется на трубы полимерные для инженерно-технических систем и фасонные части к ним, предназначенные для монтажа систем отопления, горячего и холодного водоснабжения, канализации, газоснабжения, и устанавливает методику определения их долговечности.

Расчетная долговечность $\tau_{TЭ}$ в годах для труб при конкретном значении температуры эксплуатации ($TЭ$) определяется по формуле:

$$\tau_{TЭ} = [10^{\alpha(E_d - \Delta E_{мв} - \gamma \sigma_p) + \beta} \cdot e^{\frac{(E_d - \Delta E_{мв} - \gamma \sigma_p)}{RTЭ}}]^{1/m}$$

где α и β – эмпирические коэффициенты, установленные по данным длительных (более полугодя) испытаний на тепловое старение, принимаются по таблице 1 данного СТБ. Для сшитых полиэтиленов и PE-RT $\alpha=0,1167$, $\beta=0,090$;

E_d – энергия активации термоокислительной деструкции – избыток энергии (потенциальный барьер), необходимый для разрушения химических связей, образующих основную цепь полимера, под действием тепла. Рассчитывается методом Бройдо по данным динамической термогравиметрии, проводимой на термоаналитических установках (см. СТБ 1333.0-2002);

$\Delta E_{мв}$ – уменьшение значения параметра E_d при постоянном воздействии на материал трубы жидкой среды (снижение энергии межмолекулярных взаимодействий на поверхности труб вследствие эффекта Ребиндера), кДж/моль. Для труб из сшитого полиэтилена и PE-RT $\Delta E_{мв}=1$ кДж/моль (установлено экспериментально);

γ – структурно-чувствительный коэффициент материала трубы в уравнении долговечности С.Н. Жукова, равный для сшитых полиэтиленов и PE-RT 2,5 кДж/моль·МПа;

σ_p – расчетное напряжение в стенке трубы;

m – коэффициент перевода долговечности в годы (для сшитых полиэтиленов и PE-RT равный 360).

Расчет напряжения в стенке трубы (σ_p) в МПа определяется по формуле Кесселя:

$$\sigma_p = \frac{P_p(d - \delta)}{2\delta} SF$$

где P_p – рабочее давление среды в трубе, МПа;

d – наружный диаметр трубы, мм;

δ – толщина стенки трубы, мм;

SF – коэффициент запаса прочности, принимаемый для систем отопления равным 2,5; для систем горячего водоснабжения – 1,5.

Расчетная долговечность $\tau_{\text{общ}}$ в годах при переменных температурах эксплуатации систем отопления рассчитывается по формуле:

$$\tau_{\text{общ}} = \left(\sum_{k=1}^{K_n} \frac{m_i}{\sum m_i} \cdot \frac{1}{\tau_{Ti}} \right)^{-1}$$

где m_i – число часов за отопительный период со среднесуточной температурой теплоносителя T_i ;

$\sum m_i$ – суммарное число часов работы тепловой сети;

τ_{Ti} – долговечность трубы при температуре T_i .

В Республике Беларусь установлен следующий график качественного регулирования отпуска тепла в подающем трубопроводе в здания и число часов за отопительный период со среднесуточной температурой наружного воздуха от 0 до минус 30 °С (СТБ 1333.2-2002).

Температура наружного воздуха	0÷-5	-5÷-10	-10÷-15	-15÷-20	-20÷-25	-25÷-30
Число часов за отопительный период	1375	695	395	158	51	15
Температура воды в подающем трубопроводе здания	53	61	69	76	83	90

В системах внутриквартальной бесканальной подземной прокладки тепловых сетей гибкие предизолированные трубы работают при более высоких температурах, так как даже при хорошей тепловой изоляции неизбежны потери тепла и снижение температуры воды. Если принять запас температуры в 20 °С, то предизолированные трубы будут работать в следующем температурно-временном режиме в течении отопительного сезона: 73 °С – 1375 часов; 81 °С – 696 часов; 89 °С – 395 часов; 96 °С – 158 часов; 103 °С – 51 час, 110 °С – 15 часов.

Максимальная температура 110 °С воздействует на полимерный материал труб кратковременно.

Долговечность труб из РЕХ-а и РЕ-РТ в системах
горячего водоснабжения и отопления, определенная
по СТБ 1330.0-2002 и СТБ 1333.2-2002 (при давлении 10 атм)

Производители	τ, лет			
	РЕХ-а		РЕ-РТ	
	горячее водоснабжение	отопление	горячее водоснабжение	отопление
Rehau AG+CO (Германия), P.T.H. "KISAN" (Польша), COMAPS.A. (Франция), Uponor Wirsbo AB (Швеция), Мосфлоулайн (Россия), ОАО «Модуль» (РБ)	60 – 76	53 – 64	–	–
"Pipex Systems S.A." (Испания), Uponor Rohrsysteme (Германия), "Westfalische Rohrwerke GmbH" (Германия), "Firma Multilayer Pipe Company" Sp.Z.O.O (Польша), HakaGerodur AG (Швейцария), ОАО «Речицкий завод «Термопласт» (РБ), «Шеврон Мунайгаз Инк» (Казахстан), РЕ-РТ тип 2 в трубе «ИЗОФЛЕКС»	–	–	72 – 85	59 – 74
Среднестатистическое значение	71	58	78	68

Долговечность труб из РЕ-РТ выше долговечности труб из РЕХ-а примерно на 10 – 15%.

Результаты наших долгосрочных системных исследований согласуются с профессиональными данными других исследований. Например, данные авторитетной Шведской лаборатории Bodycote Polymer показывают, что долгосрочная термическая стабильность труб из РЕ-РТ выше, чем труб из РЕХ-а.

Об этом свидетельствует сравнение предельно допустимых кольцевых напряжений в трубах из РЕХ-а и РЕ-РТ [6].

Область применения	РЕХ-а (МПа)	РЕ-РТ (МПа)
Горячее водоснабжение до 60 °С	3,86	4,17
Горячее водоснабжение до 70 °С	3,55	3,95
Высокотемпературные радиаторы отопления до 95 °С	3,25	3,42

В настоящее время в РБ применяются для систем горячего водоснабжения и отопления трубы из РЕХ-а и РЕ-РТ.

Гибкие полимерные предварительно изолированные трубы «Изопрофлекс» и «Изопрофлекс-А» из РЕХ-а, транспортирующие воду с максимальным рабочим давлением 0,6 МПа («Изопрофлекс») и 1,0 МПа («Изопрофлекс-А») при постоянной температуре транспортируемой воды до 75°C или переменной температуре (по графику качественного регулирования отпуска теплоты потребителям) до 95 °С, предназначены для подземной бесканальной прокладки, а также прокладки в непроходных каналах [9]. Гибкие полимерные предварительно изолированные трубы нового поколения «СМИТФЛЕКС-П» из полиэтилена повышенной термостойкости РЕ-РТ тип II предназначены для бесканальной подземной прокладки теплосетей с максимальной рабочей температурой теплоносителя до 95 °С, рабочим давлением до 1,0 МПа (допускается кратковременное повышение температуры до 115 °С). По своим физико-механическим характеристикам и долговечности в системах отопления и горячего водоснабжения эти трубы близки и взаимозаменяемы, т.е. являются аналогами друг друга.

Однако, будущее за трубами из РЕ-РТ, так как они более устойчивы к ударным нагрузкам и трещинообразованию при отрицательных температурах, имеют равномерную сетчатую структуру по длине и толщине труб, их производство более экономично и, наконец, в отличие от труб из РЕХ-а они соединяются сваркой, а их отходы подлежат рециклингу.

Прокопчук Н.Р. профессор кафедры ТНСиППМ БГТУ, д.х.н., член-корреспондент НАН Беларуси, Заслуженный деятель науки Республики Беларусь

Список литературы

1. Производство и сферы применения труб из сшитого полиэтилена [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.pandia.ru/text/78/478/80343.php. – Дата доступа 08.02.2016
2. Сравнение РЕХ-а с другими видами поперечно-сшитого полиэтилена / Компания СВ Урал [Электронный ресурс]. – 2016. – Режим доступа: http://www.svural.ru/info/5_40.html. – Дата доступа: 08.02.2016.
3. Обзор трубы Jarus PE-RT / [Электронный ресурс]. – 2011. – Режим доступа: http://budetteplo.ru/poleznye_stati. – Дата доступа: 08.10.2011. (уже нет в интернете)
4. Жюльен, Д. PE-RT, новый класс полиэтилена для производства металлопластиковых труб / [Ж. Домен и др.] // ООО «Экструзионные машины» [Электронный ресурс]. – 2016. – Режим доступа: http://www.meto.ru/analiz/publ_4.htm. – Дата доступа: 08.02.2016.
5. Руководство по проектированию и монтажу трубопроводов на основе системы Weser Flex металлопластиковые и полимерные трубы / Weserflex универсальные трубопроводные системы [Электронный ресурс]. – 2016. – Режим доступа: http://weser.ru/uploads/rukovodstvo/WESERflex_print_31.05.2009.pdf. – Дата доступа: 08.02.2016.
6. PERT, РЕХ и PPR? Металлопластиковые или полипропиленовые трубы – выбор труб для систем отопления и водоснабжения / ООО «Экструзионные машины» [Электронный ресурс]. – 2016. – Режим доступа: http://www.meto.ru/analiz/publ_3.htm – Дата доступа: 08.02.2016.
7. Шрам, Д. PE-RT, новый класс полиэтиленов для промышленных труб / Д. Шрам // Полимерные трубы [Электронный ресурс]. – 2016. – Режим доступа: http://journal.plastic-pipes.ru/sites/default/files/journal/2012/03/journal_pp_2012-1_50-52.pdf. – Дата доступа: 08.02.2016.
8. Изделия полимерные для строительства. Метод определения долговечности труб полимерных для инженерно-технических систем: СТБ 1333.2-2002. – Введ. 01.01.03. – Мн.: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2002. – 8 с.
9. Практические рекомендации по проектированию тепловых сетей из труб «Изопрофлекс». Группа полимертепло, Белевротрубпласт.