

Н. В. Володин, руководитель испытательной лаборатории, Испытательный центр «Политест»

## ТРУБЫ ИЗ ПОЛИБУТЕНА. МИФЫ И РЕАЛЬНОСТЬ

Трубы из полибутена (полибутилена) появились на мировом рынке относительно недавно по сравнению с другими полимерными трубопроводами. Европейский опыт применения таких труб насчитывает всего-то около 50 лет. Появление нового материала с самого момента его изобретения сразу обросло невероятными слухами. Начиная от того, что произошла революция в химической промышленности и разработан уникальный материал, превосходящий по своим свойствам все известные полимеры, применяемые в трубной промышленности и заканчивая рассуждениями об опасности его применения и т. п.

Цель написания этой статьи – дать объективную оценку этому новому материалу, основываясь на химических и физических свойствах полибутена, нормах DIN и ГОСТ, а также рассмотреть перспективы его применения в инженерных системах тепло- и водоснабжения.

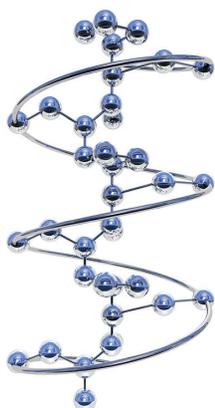
Полибутен-1 (ПБ-1, PB-1), как и полиэтилен (ПЭ, PE), сшитый полиэтилен (ПЭ-Х, PE-X) и полипропилен (ПП, PP), является членом семейства полиолефинов.

По химической структуре полибутен-1 отличается от других полиолефинов числом атомов углерода в молекуле мономера.

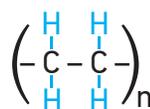
Полиолефины – это высокомолекулярные соединения общей формулы, образующиеся при полимеризации или сополимеризации ненасыщенных углеводородов – олефинов (R, R'=H, CH<sub>3</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>5</sub> и т. п.). Они относятся к числу распространенных термопластов, наиболее типичными представителями которых являются полиэтилен, сшитый полиэтилен, полипропилен и их сополимеры.

Несмотря на то, что полибутен уже успешно применяется в Европе более 50 лет, в отличие от вышеназванных материалов он является наиболее молодым членом семейства, т. к. был разработан позже них.

Для лучшего понимания свойств вышеуказанных материалов остановимся более подробно на их молекулярной структуре.



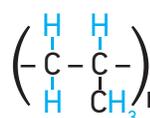
### Полиэтилен (ПЭ, PE)



Обладает линейной молекулярной структурой и, как следствие, – наименьшей температуростойкостью (термостабильностью)

из всех вышеназванных материалов, но и наименьшей стоимостью сырья. Поэтому во многом благодаря последнему фактору этот материал практически полностью занял нишу полимерных трубопроводов для холодного водоснабжения и газоснабжения, т. е. в системах, где нет высоких температур. Трубопроводы являются эластичными (гибкими) и хорошо соединяются посредством сварных неразъемных однородных соединений.

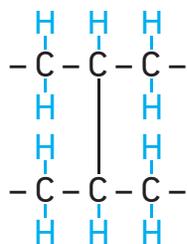
### Полипропилен (ПП, PP)



В отличие от старшего представителя полиолефинового семейства этот материал обладает более разветвленной молекулярной структурой с углеводородными соединениями, что обусловило более высокую термостойкость. Как и трубы из полиэтилена, эти трубы легко соединяются посредством сварных однородных соединений. Однако трубы малоэластичны и поэтому изготавливаются в виде

прямых отрезков. Вследствие хорошей термостабильности и технологичности монтажа трубы из полипропилена нашли широкое применение в системах отопления, холодного и горячего водоснабжения.

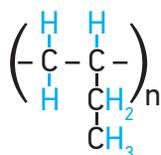
### Сшитый полиэтилен (ПЭ-Х, РЕ-Х)



Учитывая низкую температуростойкость полиэтилена, было необходимо найти способ ее повышения и его нашли, и даже не один. Для придания большей термостабильности линейные молекулы полиэтилена

научились «сшивать» поперечно между собой. Существует 4 способа сшивки полиэтилена: пероксидная сшивка (РЕХ-а), сшивка органосилоксанами (РЕХ-б), радиационная сшивка (РЕХ-с) и сшивка азосоединениями (РЕХ-д). Все четыре способа различаются между собой, но направлены на достижение одного и того же результата – поперечной сшивки молекул полиэтилена. В результате полиэтилен получил повышенную температуростойкость, но потерял способность к свариванию посредством гомогенных (однородных) сварных соединений. Поэтому для соединения труб из сшитого полиэтилена применяются, в основном, механические компрессионные и пресс-фитинги. Полиэтилен можно варить только в случае, если он несшит или «недосшит» – именно это свойство легло в основу электросварных фитингов, которые в ограниченном количестве предлагаются на рынке. Кроме того, сшивка полиэтилена требует дополнительного контроля качества, т.к. «недосшитый» полиэтилен не будет обладать нужной температуростойкостью, а «пересшитый» будет хрупким. Именно с нарушением процесса сшивки связаны многочисленные аварии, которые произошли с выходом на рынок низкокачественной китайской продукции.

### Полибутен (ПБ, РВ)



Глядя на молекулярную структуру полибутена, можно сразу отметить ее наибольшую разветвленность по сравнению с другими материалами

полиолефиновой группы. В структуре полибутена наибольшее количество атомов углерода

в составе мономера. Полибутен является высокоизотактичным полукристаллическим полиолефином с хорошо контролируемой стереорегулярностью, однако дополнительный атом углерода в боковых ответвлениях, образующих этильные группы, обуславливает значительное отличие свойств ПБ-1 от свойств других членов семейства полиолефинов. Так, полибутен обладает наибольшей долговременной прочностью (MRS) и температуростойкостью, обладает наименьшей «ползучестью» по сравнению с другими материалами группы, сохраняет физические свойства при температурах, близких к температуре плавления, обладает повышенной гибкостью, высокой стойкостью к растрескиванию, хорошей химической стойкостью, легко сваривается с образованием гомогенных соединений и устойчив к механическому истиранию. Такой набор свойств делает полибутен-1 ценным материалом для производства напорных труб отопления и теплоснабжения, горячего и холодного водоснабжения, канализации (срок эксплуатации трубопроводов из полибутена уже сейчас составляет около 50 лет). Жесткие марки полибутена-1 нового поколения могут найти применение в производстве емкостей для хранения и транспортировки агрессивных жидкостей и абразивных растворов.

В химической промышленности полибутен РВ-1 широко применяется для создания компаундов для улучшения свойств полиэтилена РЕ и полипропилена РР и термопластичных эластомеров. Его незначительное введение в SEBS-компаунды (стирол-этилен-бутилен-стирольные) существенно улучшает жесткость при высоких температурах. При смешивании с термопластическими полиолефиновыми эластомерами наблюдается значительное улучшение

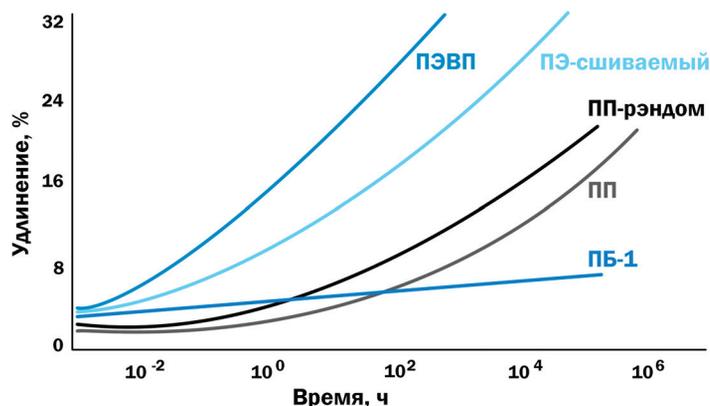


Рис. 1. Стойкость к деформации под нагрузкой ПБ-1 по сравнению с другими полиолефиновыми материалами

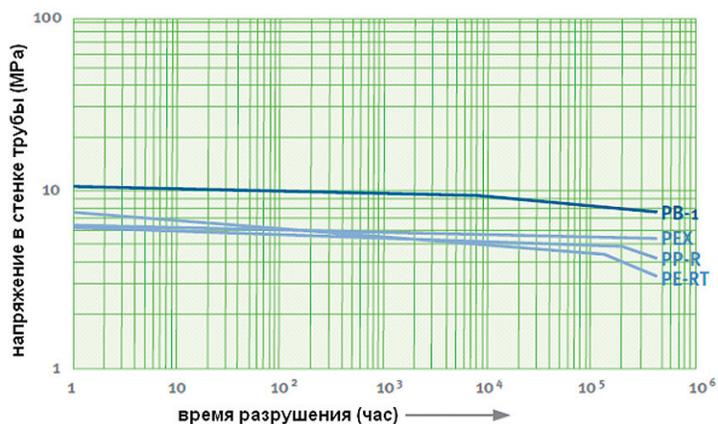


Рис. 2. Максимальная длительная прочность – MRS (максимальное длительное напряжение в стенке трубы) материалов полиолефиновой группы

показателей остаточной деформации сжатия при высоких температурах.

Из рис. 1 видно, что ПБ-1 обладает высокой стойкостью к деформации под воздействием длительных нагрузок, значительно превосходящей показатели других полиолефиновых материалов.

По сравнению с другими материалами полиолефиновой группы ПБ-1 обладает наибольшей долговременной прочностью под воздействием высоких температур (рис. 2).

Таблица 1  
Максимально допустимое напряжение в стенках трубы, МПа

Фактор безопасности	PB-1	PE-X	PE-RT(*)	PP-R
1	5,73	3,85	3,30	3,09
2	5,06	3,54	2,70	2,13
4 (UFH)	5,46	4,00	3,26	3,30
5	4,31	3,24	2,4	1,90

Таблица 2

	PB-1	PP-R (1)	PP-R (2)	PE-X	PVC-C
Внешний диаметр трубы, мм	40	40	40	40	40
Внутренний диаметр трубы, мм	32,6	26,6	24	29	31
Толщина стенки трубы, мм	3,7	6,7	8	5,5	4,5
SDR	11	6	5	7,3	9
Внутренняя площадь трубы, мм <sup>2</sup>	835	556	452	661	755
Скорость потока при передаче 2 л/с, м/с	2,4	3,6	4,4	3	2,6
Потери давления при передаче 2 л/с, mbar/м	18	50	81	33	24

Пользуясь европейским стандартом ISO 10508, можно рассчитать максимально допустимое напряжение в стенках трубы МПа для разных материалов полиолефиновой группы для различных стандартизованных факторов безопасности применения труб. Результаты расчета представлены в таблице ниже. Из таблицы видно, что максимальное допустимое напряжение в стенке трубы для PB-1 на 35 % выше, чем для сшитого полиэтилена PE-X трубы, на 45 % выше, чем для полипропилена PP-R и более чем на 50 % выше, чем для труб PE-RT. Фактически это означает, что на эквивалентную толщину стенки трубы PB-1 имеет больший фактор безопасности по сравнению с трубами из других материалов полиолефиновой группы (табл. 1).

При одинаковых эксплуатационных параметрах, трубы из полибутена можно использовать с меньшей толщиной стенки, за счет большей прочности материала при расчетном сроке службы 50 лет (табл. 2).

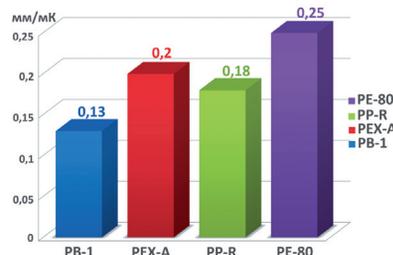


Рис. 3. Коэффициент линейного расширения

ПБ-1 обладает наименьшим коэффициентом линейного расширения (рис. 3) и наименьшим коэффициентом теплопроводности (рис. 4).

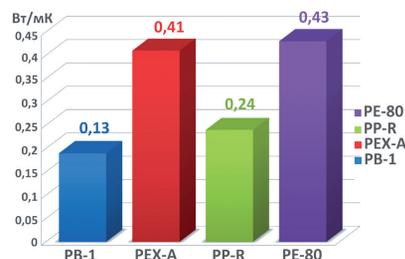


Рис. 4. Коэффициент теплопроводности

Коэффициент эластичности (модуль упругости) – физическая величина, характеризующая свойства материала сопротивляться растяжению/сжатию при упругой деформации. Из рис. 5 видно, что полибутен обладает наилучшей эластичностью.

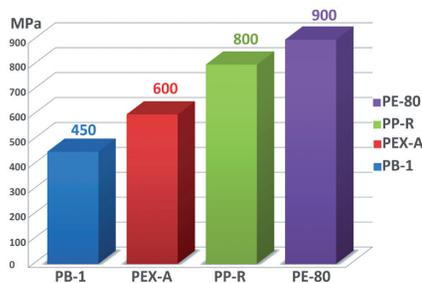


Рис. 5. Коэффициент эластичности

Итак, подводя итог проведенного краткого анализа, мы можем обратить внимание на то, что полибутен, несмотря на свой юный возраст, имеет существенные преимущества перед своими «старшими собратьями» (табл. 3).

### Мифы о полибутене

С появлением полибутена на международном и российском рынке он быстро оброс различными слухами и мифами. Просматривая российское информационное пространство, я смог выделить следующие наиболее интересные.

#### 1. Хрупкость полибутена по сравнению с трубами из сшитого полиэтилена и риск образования трещин.

В качестве первоисточника указана статья неизвестного автора в журнале, вышедшем в Северной Америке в 2010 году. В качестве аргумента в статье говорится, что «PB-трубы состоят из пластиковых смол, что объясняет возникновение трещин с возрастом».

Забавное заключение! Особенно с учетом того, что полибутен, так же как и полиэтилен, получается путем полимеризации смол... К термопластичным пластмассам на основе полимеризационных смол относится полиэтилен, сшитый полиэтилен, поливинилхлорид, политетрафторэтилен, полистирол, полибутен. Следуя логике автора этой статьи, применение таких распространенных полимерных трубопроводов, как полиэтиленовые, из сшитого полиэтилена, полипропиленовые и др., просто крайне опасно. Дальше комментировать эту информацию не имеет смысла, т.к. все эти материалы уже более 50 лет успешно применяются в России и за рубежом.

#### 2. Низкая устойчивость полибутена к хлорированной воде.

В системах водоснабжения в ряде стран, в том числе и в России, воду обрабатывают дезинфицирующим средством – хлором. Известно, что хлор является сильным окислителем даже в сравнительно небольших

Таблица 3

Сравнение свойств различных материалов, применяющихся для производства труб

(Источник: [www.newchemistry.ru/letter.php?n\\_id=2643&cat\\_id=8&page\\_id=2](http://www.newchemistry.ru/letter.php?n_id=2643&cat_id=8&page_id=2))

	PB-1	ПП рэнд.	ПЭ сшив.	ПВХ хлор.
Ударопрочность / жесткость	Хорошее	Удовлетворительное	Хорошее	Плохое
Химическая стойкость	Хорошее	Удовлетворительное	Хорошее	Хорошее
Гибкость	Хорошее	Удовлетворительное	Хорошее	Плохое
Ползучесть	Хорошее	Удовлетворительное	Хорошее	Хорошее
Устойчивость с температурой и давлением	Хорошее	Удовлетворительное	Хорошее	Хорошее
CLTE-приложенная нагрузка	Хорошее	Удовлетворительное	Хорошее	Удовлетворительное

Хорошее  
 Отличное  
 Удовлетворительное  
 Плохое

количествах, используемых для обработки питьевой воды. Вода, содержащая хлор, всегда оказывает негативное воздействие на срок службы практически всех материалов группы полиолефинов (полиэтилен, сшитый полиэтилен, полибутен, полипропилен и др.). То есть говорить о каких-то серьезных отличиях стойкости полибутена к хлорированной воде по сравнению с другими материалами не приходится. Так, сшитый полиэтилен PE-X, как и другие полиолефины, без каких-либо добавок не обладает достаточной сопротивляемостью окислению и окисляется в присутствии обычной хлорированной питьевой воды. По этой причине все производители сшитого полиэтилена PE-X и других материалов применяют специальные добавки, содержащие антиоксиданты, которые служат для защиты полимеров от окисления. Эта проблема особенно остро стояла в 1960-е годы, когда эти полимерные материалы только были разработаны. В настоящее время все вышеперечисленные материалы, без каких-либо ограничений применяются в коммунальных системах водоснабжения.

В России требования к качеству воды для хозяйственно-питьевых нужд определяются ГОСТ 2874–82 «Вода питьевая», в соответствии с ПДК, согласно нормативам физиологической полноценности питьевой воды и гигиеническим нормам СанПиН 2.1.4.559–96, СанПиН 2.1.4.1074–01.

Полимерные трубы, применяемые в России (в том числе из полибутена), должны соответствовать ГОСТ Р 52134–2003 «Трубы напорные из термопластов и соединительные детали

к ним для систем водоснабжения и отопления». Трубы из полибутена, предлагаемые на российском рынке, соответствуют данному ГОСТу.

### 3. Трубы из полибутена не применяются в США и Канаде.

Это не совсем так. В 1970-е годы полибутеновые трубы практически полностью вытеснили столь популярные медные трубы на Североамериканском рынке. Трубы из полибутена применяются в Северной Америке аж с 1976 года. Так, в Канаде трубы из полибутена установили в более чем в 700 тыс. домов, а в США полибутен «прописался» в нескольких миллионах домов. То есть общая протяженность трубопроводов составляет более 400 000 000 м(!), а опыт эксплуатации – более 40 лет. Однако ложка дегтя в такой большой бочке меда все же нашлась. В 1990-е годы, т.е. практически спустя 20 лет, в Северной Америке был зафиксирован ряд крупных протечек во внутренних инженерных системах домов. В числе непроверенных слухов о причинах протечек были и описанные выше проблемы с хлором, и преждевременное старение труб и т.п. Но все эти домыслы не нашли документального подтверждения и носили предположительный характер, а документально подтвержденным фактом причин образования протечек, подкрепленным решением судов, явилось использование клеевых полиацетатных фитингов, которые широко применялись на территории Северной Америки, но никогда в Европе. То есть потекли не трубы, а клеевые соединения труб и фитингов. Протечки были зафиксированы в определенный временной интервал и были вызваны, предположительно, несоответствием геометрических параметров фитингов поставляемых одно время на рынок. Клеевой слой при динамическом изменении температур не смог долгое время компенсировать геометрическое несоответствие труб и фитингов.



Рис. 6. Полиацетатный фитинг

Этим объясняется и тот факт, что в отличие от Северной Америки, в Европе трубы из полибутена успешно применяются уже более 50 лет и их доля на рынке неуклонно растет. По данным KWD 2006, в Великобритании объем потребления труб из полибутена превысил потребление труб из сшитого полиэтилена, который появился на рынке значительно раньше. Все дело в том, что в Европе, равно как и в России, не применяются клеевые соединения. Трубы из полибутена соединяются посредством гомогенной (однородной) сварки труб и фитингов из того же материала, что и сами трубы, т.е. место соединения трубы и фитинга является наиболее надежным, т.к. в этом месте наибольшая толщина однородного материала, кроме того, такие фитинги не заужают внутренний проход трубы, тем самым снижая потери давления системы.

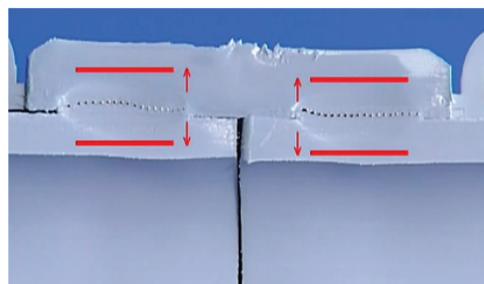


Рис. 7. Электрофузионная (электромуфтовая) сварка труб из полибутена-1



Рис. 8. Раструбная (муфтовая) сварка труб из полибутена-1

#### 4. Полибутен мало применяется в Европе.

В Европе рынок разных стран, безусловно, имеет различия. Для оценки потребления полибутена возьмем одну из самых развитых стран, являющуюся сердцем Европы – Великобританию. Для получения достоверных официальных данных обратимся к наиболее авторитетному европейскому аналитическому агентству KWD. По их данным, в Великобритании в 2006 году проложено около 11 млн м труб из полибутена, что на 4 % превышает объем совокупного потребления труб из сшитого полиэтилена, полиэтилена PE, PE-RT. То есть трубы из полибутена являются в Великобритании наиболее распространенными.

#### Выводы

Проанализировав источники приведенной информации, можно увидеть, что все они по странному стечению обстоятельств оказались связаны с производителями и поставщиками труб из сшитого полиэтилена... Видимо, появление нового перспективного материала всерьез озадачило производителей и поставщиков традиционных полимерных материалов, что

объективно указывает на наличие преимуществ у полибутена. В противном случае не было бы необходимости искать изъяны в другом материале, а достаточно было бы популяризировать собственную продукцию, освещая ее положительные свойства. Поэтому надеемся, что изложенная в этом материале информация поможет потребителям сделать самостоятельный и осознанный выбор, основанный на объективном сравнении свойств вышеуказанных материалов и выбрать тот материал, который необходим для выполнения задач в тех или иных инженерных системах.

В России уже накоплен достаточный опыт применения труб из полибутена. Трубами из полибутена смонтированы сотни километров инженерных коммуникаций, как в частном, так и в муниципальном строительстве. Однако трубы нашли широкое распространение пока только в наружных коммуникациях, где действуют повышенные требования к надежности инженерных систем. Трубы из полибутена включены в «Комплексный проект повышения энергоэффективности и надежности тепловых сетей НП «Российское Теплоснабжение».