

## Испытания образцов-свидетелей армированного полиэтиленового газопровода

*Ю.Ю. Федоров, А.В. Саввина*

*Институт проблем нефти и газа Сибирского отделения Российской академии наук,  
Якутск*

**Аннотация:** В статье приведены результаты исследований образцов-свидетелей армированных полиэтиленовых труб со средним технологическим (адгезионным) слоем, вырезанных из трубы, изъятой из опытно-промышленного участка газопровода через десять лет эксплуатации. Исследования деформационно-прочностных свойств образцов-свидетелей показывают понижение температуры вязко-хрупкого перехода до минус 15°C, что говорит об ухудшении адгезионной связи между внешними слоями из ПЭ80 и средним технологическим слоем, существование которого и приводило к зарождению хрупкой трещины. В целом, по результатам исследований армированная полиэтиленовая труба за десять лет эксплуатации на опытно-промышленном участке газопровода не ухудшила свои деформационно-прочностные свойства.

**Ключевые слова:** армированная полиэтиленовая труба, образцы-свидетели, адгезия, растяжение, вязко-хрупкий переход, стойкость при постоянном внутреннем давлении.

Важнейшей характеристикой прочностных свойств полимерных конструкционных материалов является долговечность, отражающая особый характер процесса их разрушения. В инженерной практике были введены понятия кратковременной и длительной прочности. Кратковременная прочность или разрывное напряжение обычно определяется на разрывных машинах при заданных режимах скорости нагружения. Длительная прочность обычно определяется при нагружении статическими или переменными нагрузками, меньшими по сравнению с разрывным напряжением. На данный момент известны результаты многочисленных исследований, позволивших получить достаточно корректное представление о механическом поведении полимеров [1-6].

В последнее время растет необходимость повышения допустимого давления в газораспределительных сетях с применением полиэтилена до 1,2 МПа. Один из путей решения задачи – использование армированных полиэтиленовых труб (АПТ). Для регионов холодного климата применение

---

изделий из армированных термопластов является весьма перспективным [7, 8]. Однако, для АПТ, которые используются для газопроводов высокого давления, исследования прочностных характеристик в условиях холодного климата ранее не проводились.

На объекте МПГ Тулагино-Капитоновка-Кангалассы в 2006г. был построен опытно-промышленный участок газопровода из армированных полиэтиленовых труб (АПТ) производства ОАО «Запсибтехнология», в конструкции которых предусмотрен технологический (адгезионный) слой, связывающий армирующую и полиэтиленовые оболочки труб. В течение четырех лет проводились мониторинговые исследования [9]. В сентябре 2016г. сотрудниками Института проблем нефти и газа СО РАН, совместно с ОАО «Сахатранснефтегаз» была проведена выемка образцов-свидетелей армированной полиэтиленовой трубы.

Образцы-свидетели предназначены для контроля изменений механических свойств полиэтилена, из которого были изготовлены полиэтиленовые трубы для газопровода [ГОСТ Р 8.637-2007 ГСИ]. Образцами для контроля являются: образцы-свидетели, вырезанные из тела трубы, которая являлась частью опытно-промышленного участка газопровода, для испытаний на внутреннее давление, а также образцы-лопатки для испытаний на растяжение.

Образцы, вырезанные в виде лопаток, испытывались на растяжение на универсальной разрывной машине UTS-20K при температурах: +20, +5, 0, -5, -10, -15, -20°C, при скорости движения захватов испытательной машины 25 и 100 мм/мин. Результаты испытаний на растяжение приведены в таблице №1.

Результаты ранее проведенных на этих же трубах испытаний, показывали появление вязко-хрупкого перехода (ВХП) в промежутке температур от 0 до минус 15°C, в зависимости от скорости движения

---

захватов разрывной машины. При этом «спектр растрескивания» среднего слоя, определяющий хрупкое разрушение характеризовался параметрами: по  $\varepsilon = 2,0 \div 6,7\%$ ; по  $\sigma = 16,4 \div 31,7$  МПа. Настоящие данные, по прошествии десяти лет эксплуатации на опытно-промышленном участке газопровода, показывают появление ВХП при минус  $15^\circ\text{C}$ , результаты полученные по параметрам  $\varepsilon$  и  $\sigma$  соответствуют предыдущему «спектру растрескивания» [10].

Таблица №1

Результаты испытаний образцов-лопаток АПТ тип II на растяжение, после 10 лет опытной эксплуатации

№№ образцов	T, °C	Скорость испытания, мм/мин	Тип разрушения	$\sigma_{\text{ср}}$ , МПа	$\varepsilon_{\text{T ср}}$ , %	$\varepsilon_{\text{p ср}}$ , %
1-5	+20	25	Вязкое	15,4	10,4	39,8
6-10	+20	100	Вязкое	16,5	9,4	34,2
11-15	+5	25	Вязкое	19,6	8,6	31,9
16-20	+5	100	Вязкое	21,2	8,7	29,4
21-25	0	25	Вязкое	20,8	8,9	29,9
26-30	0	100	Вязкое	21,9	8,6	27,1
31-35	-5	25	Вязкое	22,3	8,7	28,9
36-40	-5	100	Вязкое	22,1	8,9	26,2
41-45	-10	25	Вязкое	23,7	8,4	26,0
46-50	-10	100	Вязкое	24,4	8,3	24,8
51-55	-15	25	Вязкое 60%, хрупкое 40%	24,1 24,2	7,3 6,3	24,8 6,3
56-60	-15	100	Вязкое	25,5	7,9	23,7

61-65	-20	25	Вязкое	26,4	8,0	24,5
66-70	-20	100	Вязкое 60%, хрупкое 40%	25,3 21,9	6,2 4,3	23,7 4,3

Здесь  $T$  – температура испытаний;  $\sigma_{cp}$  – среднее значение максимальной прочности при растяжении;  $\varepsilon_{Tcp}$  – среднее значение относительного удлинения при максимальной нагрузке;  $\varepsilon_{p\ cp}$  – среднее значение относительного удлинения при разрушении внешнего слоя образца.

Вид хрупкого разрушения во всех случаях одинаков. Нет образования двух коллинеарных поверхностей разлома, или разделения внешнего и внутреннего слоев одного образца на хрупкое и вязкое разрушение, как это происходило в ранее проведенных испытаниях. Характерная диаграмма, модельная схема и фотографии образца представлены на рис.1.

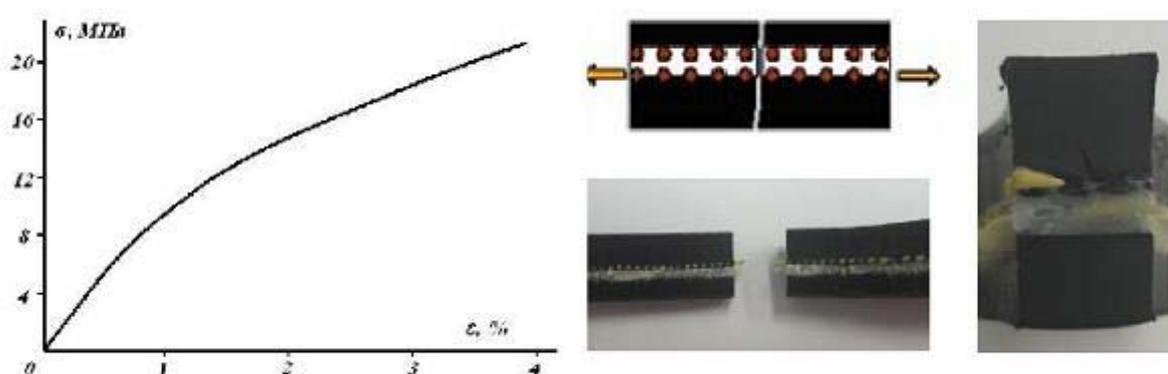


Рис.1. Диаграмма деформирования, модельная схема и фотографии поверхностей разрушения образцов-свидетелей АПТ разрушившихся хрупко в испытаниях при  $T = -20$

Повышение температуры ВХП говорит об ухудшении адгезионной связи между внешними слоями из ПЭ80 и средним технологическим слоем, существование которого и приводило к зарождению хрупкой трещины.

Испытания проводились при двух скоростях движения захватов разрывной машины: 25мм/мин и 100мм/мин. В исходных образцах при повышении скорости испытаний температура ВХП повышалась с -15°С до 0°С. В проведенных испытаниях хрупкое разрушение при температуре -15°С появляется при скорости 25мм/мин, при скорости 100мм/мин разрушение образцов вязкое. Таким образом, хрупкое разрушение проявляется в образцах-свидетелях сохранивших хорошую адгезию между слоями.

Метод определения стойкости при постоянном внутреннем давлении регламентируется ГОСТ 24157-80. Сущность метода заключается в том, что образец подвергают действию постоянного внутреннего давления в течение заданного промежутка времени. Для труб с номинальным наружным диаметром  $\leq 315$ мм, свободная длина  $l_0$  между заглушками должна соответствовать значению  $3d$  ( $d$  – диаметр трубы), но не менее 250мм. Испытательное давление  $P$  в МПа для образцов вычисляют по формуле:

$$P = \sigma \frac{2e_{min}}{d_{em} - e_{min}}$$

где  $\sigma$  – начальное напряжение, МПа;  $d_{em}$  – средний наружный диаметр образца, полученный при измерении в зоне свободной длины, в одном сечении равный 140мм;  $e_{min}$  – минимальная толщина стенки образца, полученная при измерении равна 17,5мм. Для контрольных испытаний отбирают не менее трех образцов.

Для АПТ диаметром 140мм и толщиной стенок 17,5мм, были изготовлены специальные заглушки, устанавливаемые с обоих концов испытуемых образцов. Конструкция заглушек обеспечивала герметичное соединение с образцом и приспособлением для подачи давления. Схема испытаний представлена на рис.2.

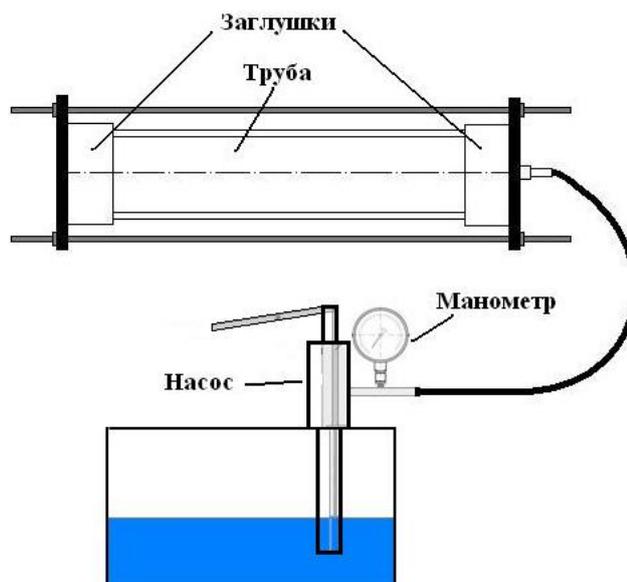


Рис.2. Схема испытаний на определение стойкости при постоянном внутреннем давлении АПТ

Свободная длина образца  $l_0 = 420$  мм, начальное напряжение 12,4 МПа, испытательное давление 3,4 МПа, заданное время испытаний 100 ч. Среда испытаний – воздух, внутри образцы заполняли водой при положительной температуре испытаний и морозостойким маслом при отрицательной температуре.

Для испытаний при минус 15°С, образец в заглушках был размещен в помещении с температурой окружающего воздуха ниже температуры испытаний, постоянная температура поддерживалась с помощью программного регулятора температуры Термодат 17ЕЗ. Указанный прибор имеет универсальный вход, предназначенный для подключения термопар и может управлять нагревателем. По результатам испытаний ни один образец не разрушился до истечения контрольного времени испытаний.

Таким образом, результаты испытания образцов-свидетелей АПТ, изъятых из опытно-промышленного участка подземного газопровода, показали стабильность деформационно-прочностных свойств.



Следовательно, показана возможность широкого использования армированных полиэтиленовых труб для газораспределительных сетей давлением до 1,2 МПа в районах холодного климата и распространения многолетнемерзлых грунтов.

### Литература

1. John Scheirs, Ludwig L. Böhn, Jesse C. Boot and Pat S.Leevers. PE100 resin for pipe applications: Continuing the demelopment into the 21st century/Trends Polymer Science, Vol. 4, December 1996, pp. 408-414.
2. Ward I.M., Hadley D.W. An introduction to the mechanical properties of solid polymers. Wiley, Chichester. 1993. pp.334.
3. Woodward Arthur E., Hanser Carl. Understanding Polymer Morphology. Munich. 1994. pp. 130.
4. Бартенов Г.М. Прочность и механизм разрушения полимеров: Учеб. пособие. М.: Химия, 1984. – 280 с.
5. Бартенов Г.М., Зеленев Ю.В. Физика и механика полимеров. Учеб. пособие. – М.: Высшая школа, 1983. – 391 с.
6. Грэлльман В., Зайдлер С. Испытания пластмасс / пер с англ. под ред. А.Я.Малкина. – СПб.: ЦОП «Профессия», 2010. – 720с.
7. Бабенко Ф.И., Сухов А.А., Федоров Ю.Ю., Саввинова М.Е. Влияние факторов холодного климата на прочность и трещиностойкость дисперсно-армированных термопластов // Инженерный Вестник Дона, 2011, №4 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2011/551/.
8. Бабенко Ф.И., Сухов А.А., Федоров Ю.Ю., Саввинова М.Е. Климатическая стойкость дисперсно-армированного полиамида в холодном климате // Перспективные материалы. 2013. №4. – С. 45–52.



9. Попов С.Н., Саввина А.В., Федоров Ю.Ю. Мониторинг опытно-промышленного подземного газопровода из армированных полиэтиленовых труб // Наука и образование. 2017. №1(85). – С.63–67.

10. Бабенко Ф.И., Федоров Ю.Ю., Саввина А.В. Температурные ограничения по применению армированных полиэтиленовых труб для газопроводов в условиях холодного климата // Инженерный вестник Дона, 2015, №3 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3102/](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3102/).

### References

1. John Scheirs, Ludwig L. Böhn, Jesse C. Boot and Pat S.Leevers. PE100 resin for pipe applications: Continuing the demelopment into the 21st century. Trends Polymer Science, Vol. 4, December 1996, pp. 408-414.

2. Ward I.M., Hadley D.W. An introduction to the mechanical properties of solid polymers. Wiley, Chichester. 1993. pp.334.

3. Woodward Arthur E., Hanser Carl. Understanding Polymer Morphology. Munich. 1994. pp. 130.

4. Bartenev G.M. Prochnost' i mekhanizm razrusheniya polimerov: Ucheb. posobie [Strength and mechanism of polymer destruction: Tutorial]. M.: Khimiya, 1984. 280 p.

5. Bartenev G.M., Zelenev Yu.V. Fizika i mekhanika polimerov. Ucheb. Posobie [Physics and mechanics of polymers. Tutorial]. M.: Vysshaya shkola, 1983. 391 p.

6. Grell'man V., Zaydler S. Ispytaniya plastmass [Testing of plastics]. Per s angl. pod red. A.Ya.Malkina. SPb.: TsOP «Professiya», 2010. 720 p.

7. Babenko F.I., Sukhov A.A., Fedorov Yu.Yu., Savvinova M.E. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2011, №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2011/551/](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2011/551/).

8. Babenko F.I., Sukhov A.A., Fedorov Yu.Yu., Savvinova M.E. Perspektivnye materialy. 2013. №4. pp. 45–52.



9. Попов S.N., Savvina A.V., Fedorov Yu.Yu. Nauka i obrazovanie. 2017. №1 (85). pp. 63–67.

10. Babenko F.I., Fedorov Yu.Yu., Savvina A.V. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2015, №3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3102/](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3102/).