

# ВЫБОР МЕТОДИКИ ИСПЫТАНИЙ ПРОМЫСЛОВЫХ ТРУБОПРОВОДОВ ИЗ ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ АРМИРОВАННЫХ СИНТЕТИЧЕСКИМИ НИТЯМИ ТРУБ

Пепеляев В.С., Тараканов А.И.  
ООО «Технология композитов»

## Введение

Полиэтиленовые армированные синтетическими нитями трубы (ПАСНТ) ТУ 2248-001-55038886-01, типа В (с номинальным диаметром 63, 90, 110, 125, 140, и 160 мм) производства ООО «Технология композитов» успешно применяются для строительства подземных нефтепромысловых трубопроводов и водоводов хозяйственно-питьевого водоснабжения.

Разрешением Ростехнадзора РРС 00-20719 от 15 мая 2006 г. трубы допущены для применения в нефтяной и газовой промышленности. В частности, в трубопроводах высокого давления (до 4,0 МПа), при транспортировке сырой и очищенной нефти, многофазных смесей и эмульсий (газ, нефть, вода в т.ч. с высоким содержанием  $H_2S$  и  $CO_2$ ), высокоминерализованной пластовой и сточной воды, попутного нефтяного газа.

На трубы выдано Санитарно - эпидемиологическое заключение 59.55.18.224.П.000062.01.07 от 15 января 2007 г., допускающее применение ПАСНТ в системах холодного водоснабжения (в том числе хозяйственно-питьевом) и канализации, технологических трубопроводных системах и т.д.

ПАСНТ серии В изготавливается из полиэтилена категории ПЭ80 и полиэфирных (полиэтилентерефталат) нитей (рис. 1).



Рис. 1 Конструкция ПАСНТ

Процесс производства труб непрерывный и состоит последовательно из:  
- экструзии внутреннего полиэтиленового слоя,

- активации наружной поверхности оболочки;
- спиральной намотки двух слоев армирующих нитей;
- боковой экструзии наружного полиэтиленового слоя.

Несмотря на то, что рабочее давление трубопроводов из ПАСНТ выросло до 4 МПа, они сохранили основные преимущества полиэтиленовых трубопроводов:

- небольшой вес,
- высокая коррозионная стойкость;
- низкое гидравлическое сопротивление;
- возможность поставок труб в бухтах длиной до 500 м;
- относительно небольшую трудоемкость строительства трубопроводов.

Однако ПАСНТ унаследовали и специфическую особенность полиэтиленовых труб – способность к деформированию со временем под действием приложенного внутреннего давления. Полиэфирные нити, как и полиэтилен подвержены ползучести. Изохронные кривые зависимости напряжения-деформации этих материалов для сроков эксплуатации 1 мин и 20 лет приведены на рис. 2.Графики построены по экспериментальным данным [1, 2].

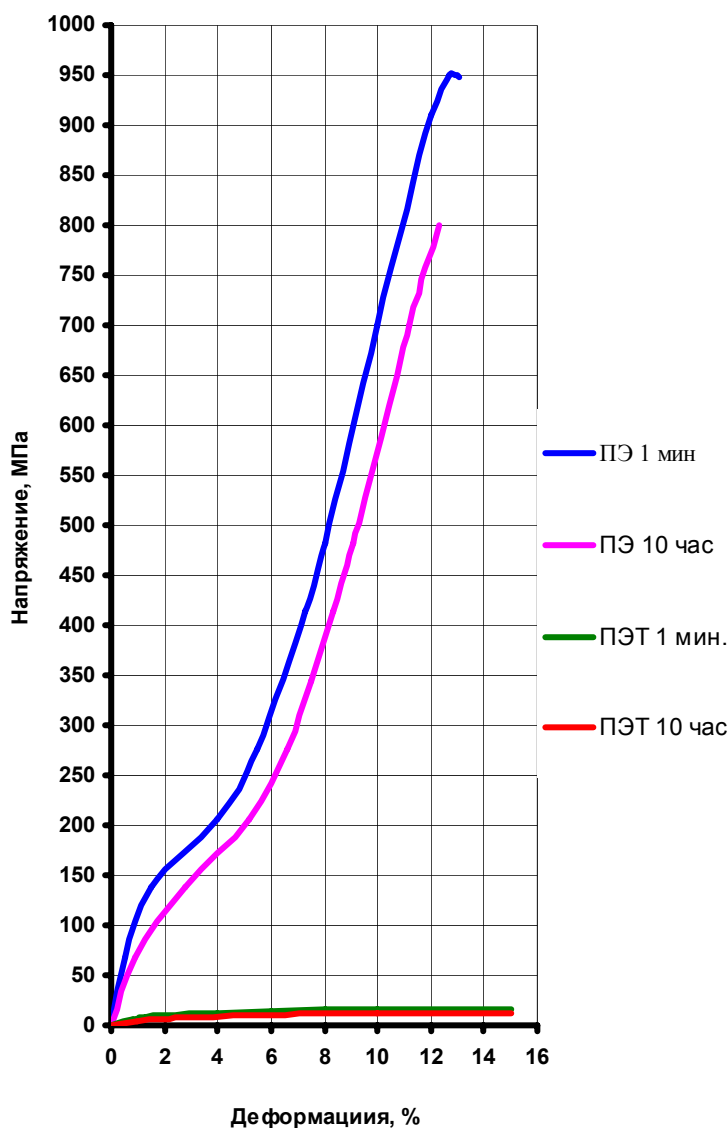


Рис. 2 Изохронные (1 мин и 10 час) зависимости напряжения-деформации полиэфирных (ПЭТ) нитей и полиэтилена (ПЭ)

Особенно явно этот эффект наблюдается при гидравлических испытаниях трубопроводов. Полиэтиленовые трубопроводы, нагруженные высоким внутренним давлением в течение периода испытаний подвержены ползучести, что проявляется в снижении давления, см. рис.3. Притом, что в трубопроводе нет утечек.

В связи с этим при гидравлических испытаниях полимерных трубопроводов применяются специальные способы оценки их прочности и герметичности.

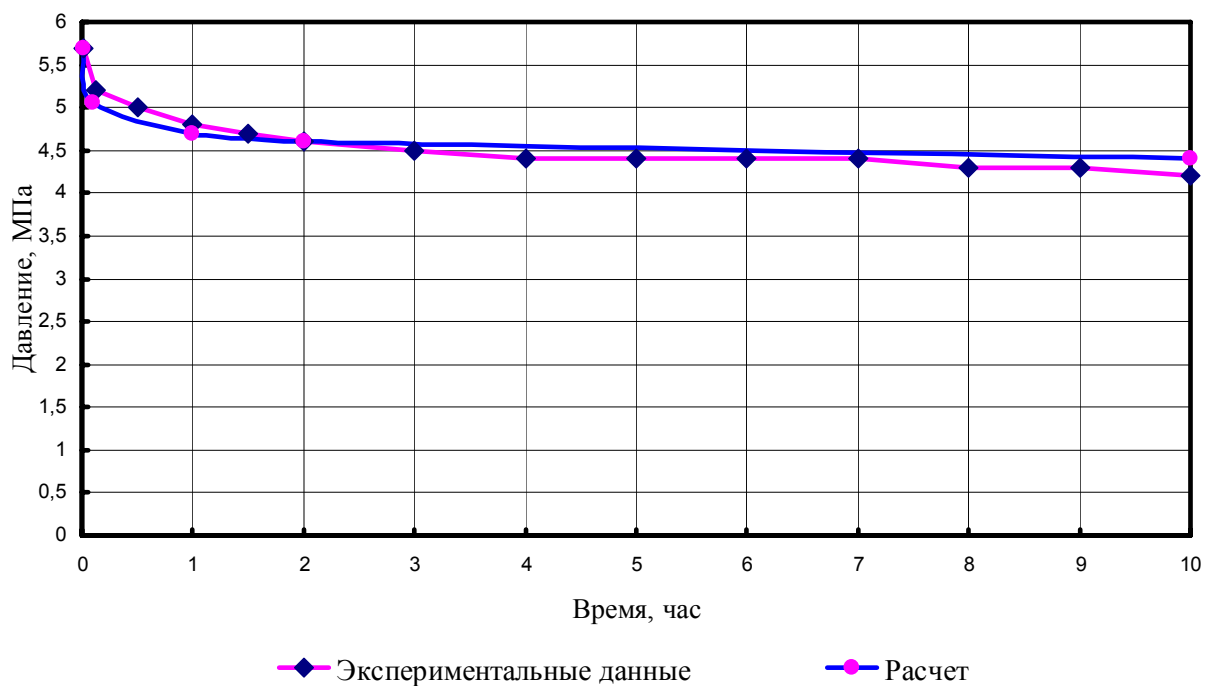


Рис. 3 Расчетные и экспериментальные зависимости падения испытательного давления от времени в ПАСНТ диаметром 90 мм

### Метод контроля расхода подкачиваемой воды

В системах водоснабжения и канализации испытание напорных полимерных трубопроводов в соответствии с СП 40-102-2000 производится в два этапа.

Предварительное испытание (на прочность), при котором испытательное давление поддерживают в течение заданного времени, после чего давление снижается до рабочего и производится осмотр трубопровода. Трубопровод считается выдержавшим предварительное гидравлическое испытание, если под испытательным давлением не обнаружено разрывов труб или стыков и соединительных деталей, а под рабочим давлением не обнаружено видимых утечек воды.

Окончательное гидравлическое испытание на плотность (герметичность) проводится в следующем порядке:

- в трубопроводе создается давление, равное расчетному рабочему давлению, и поддерживается в течение 2 ч; при падении давления на 0,02 МПа производится подкачка воды;

- давление поднимают до уровня испытательного и поддерживают его в течение 2 ч.

Для измерения объема воды, подкачиваемой в трубопровод при проведении испытания, следует применять мерные бачки или счетчики холодной воды (водомеры) по ГОСТ 6019—83.

Трубопровод считается выдержавшим окончательное гидравлическое испытание, если фактический расход подкаченной воды при испытательном давлении не превышает значений, указанных в таблице 5 СП 40-102-2000. Например, для полимерных трубопроводов с наружным диаметром 90...100 мм со сварными соединениями допустимый расход подкаченной воды на участок трубопровода длиной 1 км не должен превышать 0,28 л/мин.

Такой же метод испытаний полиэтиленовых в низконапорных системах нефтепромыслов предложен в [5].

В «Инструкции по проектированию и строительству нефтепромысловых трубопроводов из стеклопластиковых труб» [4], указано, что после успешного завершения испытания на прочность проводится испытание на герметичность под давлением  $1,1P_{\text{раб}}$ . Давление испытания выдерживают минимум в течение 24 часов, в это время нельзя доливать воду в трубопровод или выливать. В процессе испытания постоянно проводятся замеры и регистрация давления. В случае падения давления в период проведения испытания на герметичность проводится циклическое испытание. В период такого испытания в секции трубопровода повторно создают давление испытания на герметичность, через каждый час давление регистрируют, затем в трубопроводе снова создают давление, добавляя воду. Объем воды, вновь заливаемый для создания давления испытания, также регистрируют. Эту процедуру повторяют в течение последующих 24 часов. Если объем доливаемой воды имеет тенденцию снижения, трубопровод герметичен. Если объем доливаемой воды остается постоянным, это указывает, что в трубопроводе утечка.

Однако в полевых условиях нефтепромыслов осуществление данного метода испытаний затруднительно из-за отсутствия необходимого испытательного оборудования и довольно большой трудоемкости.

## **Метод контроля скорости падения давления**

### ***Испытания полиэтиленовых трубопроводов***

Данный метод применяется при гидравлических испытаниях полиэтиленовых трубопроводов в [7]. После поднятия уровня давления до испытательного  $P_L$  за время  $t_L$ , и закрытия запорной задвижки допускается падение давления. Через определенные промежутки времени производится регистрация падения давления. Давление  $P$  в момент времени  $t$  аппроксимируется выражением:

$$P = P_L \left[ 2,5 \cdot \left( \frac{t}{t_L} \right) + 1 \right]^{-n} \quad (1)$$

показатель степени  $n$  вычисляется математической обработкой результатов замеров падения давления.

Опытным путем установлено, что для герметичного трубопровода степенной показатель  $n$  должен быть равным:

а)  $n = 0,08 \dots 0,10$  для свободных трубопроводов (в патроне или не засыпанных),

б)  $n = 0,04 \dots 0,05$  для подземных трубопроводов с уплотнением грунта засыпки.

Если расчетные значения этого параметра реального трубопровода значительно ниже минимального значения  $n < 0,04$ , то это означает, что в трубопроводе остался большой объем воздуха.

Если  $0,08 > n > 0,05$ , - плохое уплотнение грунта засыпки траншеи, а не неисправность в трубопроводе.

Если  $n > 0,05$  для засыпанного трубопровода или  $n > 0,1$  для свободного трубопровода, это означает, что в трубопроводе, возможно, имеется утечка воды.

### ***Испытания промысловых трубопроводов из ПАСНТ***

Промысловые трубопроводы испытываются на прочность и герметичность обычно гидравлическим давлением, величину которого определяют в проекте по табл. 43 СП 34-116-97. Величина испытательного давления на прочность  $P_{исп}$  в зависимости от условий прокладки и категории участка трубопровода составляет  $P_{исп} = 1,25$  или  $1,5 P_{раб}$ .

Проверку на герметичность трубопровода производят после испытания на прочность путем снижения испытательного давления до максимального рабочего  $P_{раб}$  (принимаемого по проекту) и его выдержки в течение времени, необходимого для осмотра трассы, но не менее 12 ч.

Максимально допустимое рабочее давление для трубопроводов из ПАСНТ до 4,0 МПа, а испытательное – до 6,0 МПа.

На рис. 4 приведены зависимости падения давления образцах ПАСНТ марки ТН 90В (нефтяного сортамента, серии В—с использованием полиэфирной нити), моделирующих испытания подземного трубопровода.

Расчеты падения давления проведены методом конечных элементов с учетом нелинейной изохронных зависимостей напряжения - деформации для полиэтилена и полиэфирных нитей при расчетных сроках нагружения 1 мин, 6 мин, 1 час, 2 час и 10 час. Расчет проведен на элементарной ячейке армированной трубы, см. рис. 5, где приведена и схема разбивки на конечные элементы.

Граничные условия:

-  $u_z = 0$  на лицевых гранях (заданы для подземного газопровода, скрепленного с грунтом),

- условия циклической симметрии по боковым граням,

-  $u_x = C$ , где  $C$  - радиальное перемещение точек внутренней поверхности, соответствующее внутреннему давлению  $P_{исп}$  при времени нагружения 1 мин.

Методика расчета удовлетворительно описывает процесс падения давления в трубе после закрытия задвижки, т.е. запираания в трубе воды заданного объема, см. рис.4. Расчетные окружные деформации на внутренней поверхности трубы деформации не изменяются в процессе испытаний и составляют  $\approx 7,7\%$ , т.е. изменение объема внутренней полости трубы составляет  $\approx 15,4\%$ . Поэтому изменение давления в ПАСНТ при изменении температуры воды в трубе на  $\leq 10^\circ\text{C}$  не приведет к заметным изменениям давления. На наружной поверхности деформации остаются на уровне от 5,05% (1 мин) до 5,09% (10 час), это подтверждено и экспериментом.

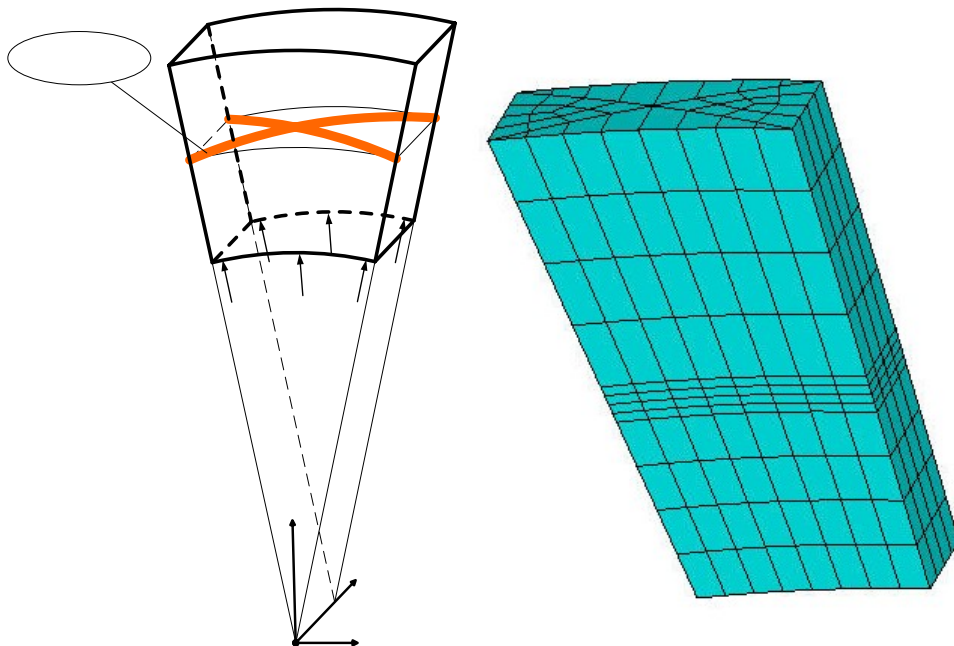


Рис. 4 Расчетная модель элементарной ячейки ПАСНТ

Расчет поведения свободного трубопровода при испытаниях на прочность и герметичность упомянутым методом не представляется возможным.

Эксперимент проведен на отрезках труб ТН 90В длиной 1200 мм. Для имитации подземной прокладки испытательные законцовки соединены стальными стяжками см. рис. 6., при исследовании поведения не засыпанных трубопроводов стяжки не применялись. Для регистрации падения давления использован 12 - канальный регистратор давления Метран -900, погрешность замеров 0,1 МПа. Давление в трубе создавалось с помощью станции насосной пневмогидравлической 1,6...105 МПа ПГС-2-4п



Рис. 5 Образец для исследования поведения подземного трубопровода из ПАСНТ

Испытания моделировали условия работы свободного (не засыпанного) трубопровода и подземного, скрепленного с грунтом.

В образцах, полностью заполненных водой (без воздуха) за 1 мин создавалось давление 6,0 МПа, затем закрывался запорный вентиль, и в течение 12 час регистрировалось падение давления с интервалом 2 мин в течение 30 мин, затем в течение 1 часа с интервалом 10 мин, далее – через 30 мин.

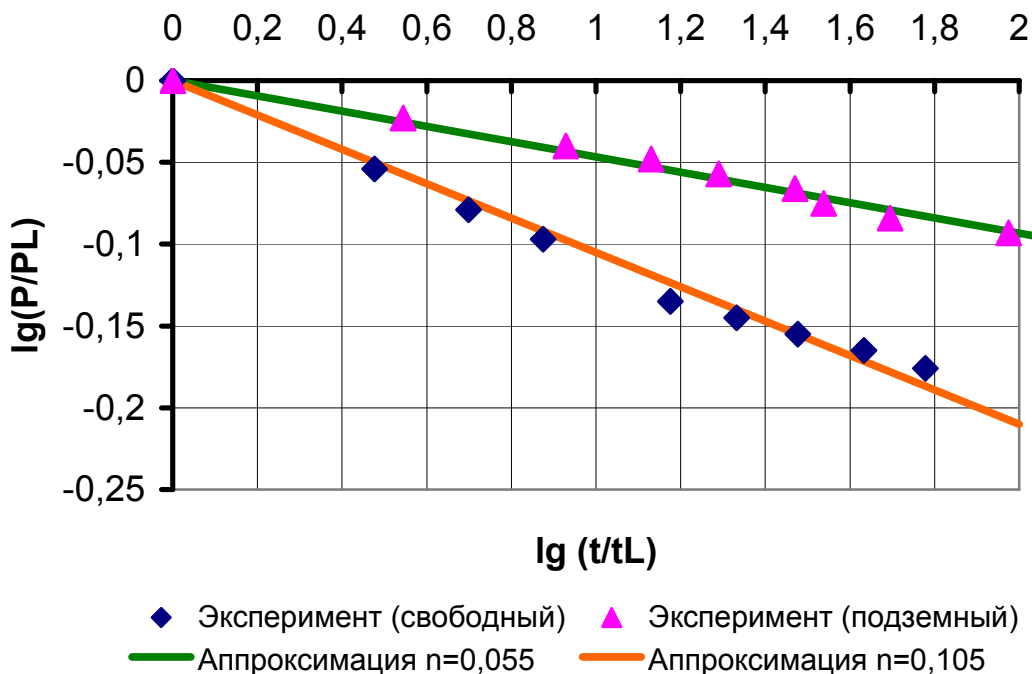


Рис. 6 Падение давления в образцах труб, моделирующих испытания свободного и подземного трубопроводов из ПАСНТ

Экспериментальные данные для подземного и свободного трубопроводов в логарифмических координатах приведены на рис. 7. Показатели степени  $n$  в аппроксимирующей функции (1) для них равны: 0,055 и 0,105, соответственно, что удовлетворительно согласуется с данными, полученными в [7] для полиэтиленовых трубопроводов. Поэтому метод контроля скорости падения давления вполне пригоден для испытаний на прочность и герметичность, с небольшой коррекцией вышеприведенных оценок степенного показателя  $n$  для свободных полиэтиленовых трубопроводов.

Для внедрения этого метода в практику испытаний полимерных промышленных трубопроводов потребуется:

- оснастить соответствующие подразделения специальной регистрирующей давление аппаратурой,
- провести обучение контрольных органов обработке полученных данных,
- провести испытания реальных трубопроводов в различных условиях прокладки.

### Метод «рикошета» (rebound)

#### *Испытания полиэтиленовых трубопроводов*

Этот метод описан в [8] и введен в стандарты Австралии AS/NZS 2566.2:2002 и WSA 01 – 2004. Он включает следующие операции, см. рис. 8.

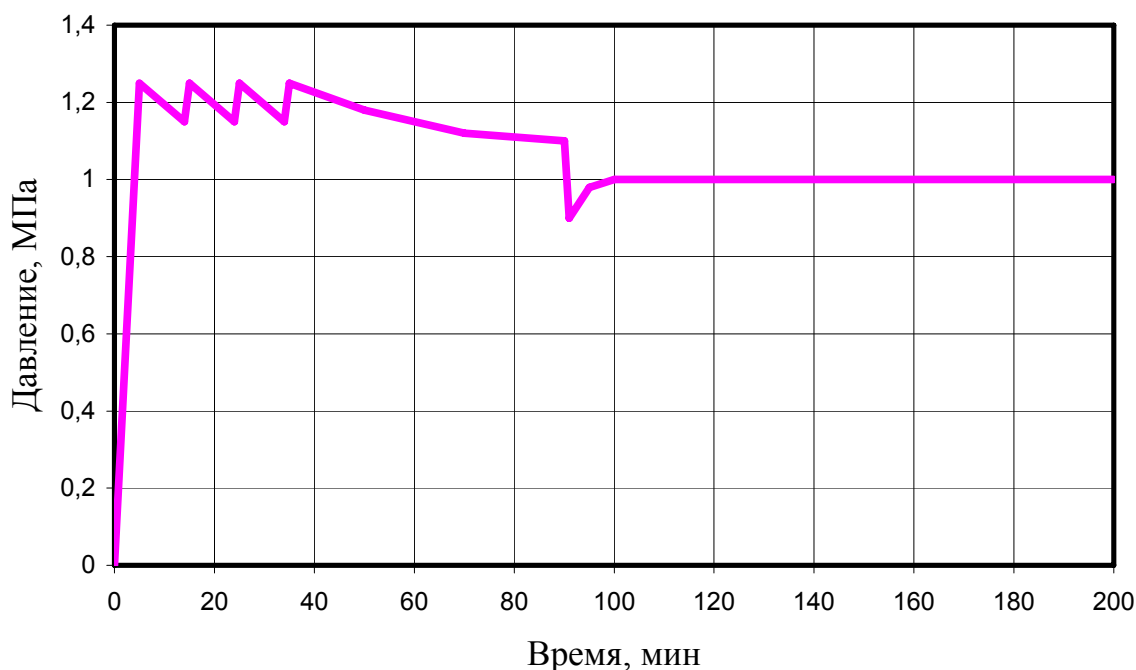


Рис. 7 Испытания полиэтиленового трубопровода методом «отскока»

- Поднять давления до испытательного менее чем за 10 мин, поддерживать давление в течение 30 мин, при необходимости, подкачивая.
- Закрывать задвижку и выдержать в течение 60 мин.
- Быстро (<5 минут) сбросить давление на 10-15 % от испытательного давления. После этого начнется кратковременный подъем давления в трубопроводе («рикошет») на  $\approx 0,2$  МПа.
- Следить за изменением давления в течение 30 минут, производить его запись. Трубопровод считается выдержавшим испытания, если
  - нет утечек воды
  - нет признаков разрушения
  - давление после подъема («рикошета») остается постоянным в течение более 30 мин.

Если есть сомнения, выдержать 90 мин; при этом давление не должно упасть более чем на 0,02 МПа

Этот метод основан на взаимодействии мгновенной упругой деформации при резком сбросе давления и вязкой деформации, вызванной наследственностью от влияния всех предшествующих нагрузок. В результате, в течение 1,5...2,0 часов давление в герметичном трубопроводе остается практически постоянным.

#### ***Испытания промышленных трубопроводов из ПАСНТ***

Поведение ПАСНТ при испытаниях методом «рикошета» аналогично полиэтиленовым и трубам см. рис. 7.

Методика испытаний промышленных трубопроводов из ПАСНТ, построенная на этом эффекте и проверенная на модельных образцах, может включать следующие операции.

#### ***Предварительное нагружение***

- подъем давления до 6,0 МПа,
- выдержка при этом давлении 1 час, поддерживая давление подкачкой воды



- закрытие запорного вентиля, выдержка 0,5 часа.

*Испытания на прочность:*

- быстрый сброс давления до  $5,0 \pm 0,1$  МПа, после чего наступает подъем давления («рикошет») до  $5,2 \pm 0,1$  МПа,

- выдержка при этом давлении 2 часа, при этом давление не должно снизиться более чем на 0,1 МПа, а в трубопроводе нет признаков разрушения.

*Испытания на герметичность:*

- быстрый сброс давления до  $4,0 \pm 0,1$  МПа, после чего происходит подъем давления  $4,4 \pm 0,1$ ,

- выдержка при этом давлении в течение времени, достаточного для проведения визуального осмотра трубопровода, причем падение давления за 2 часа не должно быть более 0,1 МПа, за 4 часа – не более 0,2 МПа, а в трубопроводе нет утечек воды.

Преимущество данного метода в том, что это быстрое испытание, метод не требует специального испытательного оборудования, пригоден для трубопроводов всех диаметров.

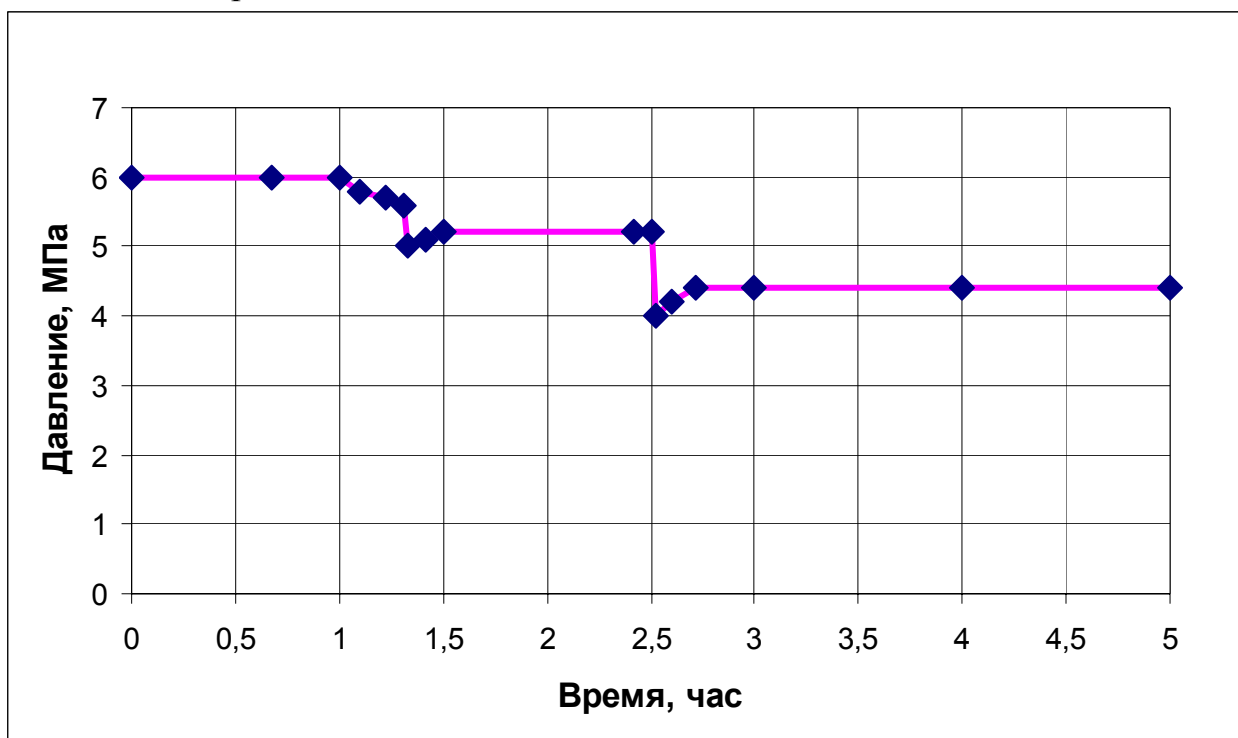


Рис. 8 Испытания на прочность и герметичность методом «рикошета» трубопровода из ПАСНТ

#### **Заключение**

Методы испытаний трубопроводов из полимерных труб, основанные на методе контроля объема подкачки воды для поддержания заданного уровня давления, неудобны в условиях нефтепромыслов и требуют специального оборудования.

Информативен метод контроля скорости падения давления в трубопроводе, но и он требует специальной аппаратуры для регистрации уровня давления в трубопроводе в процессе испытаний и специальной подготовки персонала.

Наиболее приемлем метод «рикошета», нашедший применение при испытаниях полиэтиленовых труб и отраженный в нормативной документации за рубежом.

Метод не требует специального испытательного оборудования и может быть проведен в относительно короткое время.

## ЛИТЕРАТУРА

1. E. Chailleux and P. Davies A Non-Linear Viscoelastic Viscoplastic Model for the Behaviour of Polyester Fibres //Mechanics of Time-Dependent Materials September 2005; 9(2-3) : 147 – 160
2. PPI Handbook of PE Pipe, Chapter 3. Engineering Properties [www.plasticpipe.org/pdf/pubs/handbook/Eng\\_Prop.pdf](http://www.plasticpipe.org/pdf/pubs/handbook/Eng_Prop.pdf)
3. СП 34-116-97 Инструкция по проектированию, строительству и реконструкции промысловых нефтегазопроводов
4. «Инструкция по проектированию и строительству нефтепромысловых трубопроводов из стеклопластиковых труб «АРМПЛАСТ»,- ОАО «ВНИИСТ», 2003
5. Михайленко Н.Г. и др. Совершенствование методики испытаний полиэтиленовых трубопроводов – в сб. научных трудов «Надежность и эффективность сооружения и эксплуатации трубопроводных систем», М: Институт нефти и газа им. Губкина И.М., 1989
6. СП 40-102-2000 Проектирование и монтаж трубопроводов систем водоснабжения и канализации из полимерных труб
7. TESTING & COMMISSIONING <http://www.marley.co.nz/pdf>
8. Bob Le Hunt, John Black, Mike Stahmer - Notes on Field Pressure Testing - Plastics Industry Pipe Association of Australia Ltd, 2004
9. AS/NZS 2566.2:2002 Buried flexible pipelines Part 2: Installation
10. Water Services Association of Australia (WSAA) in their Polyethylene Pipeline Code WSA 01 – 2004



Рис. 1 Конструкция ПАСНТ

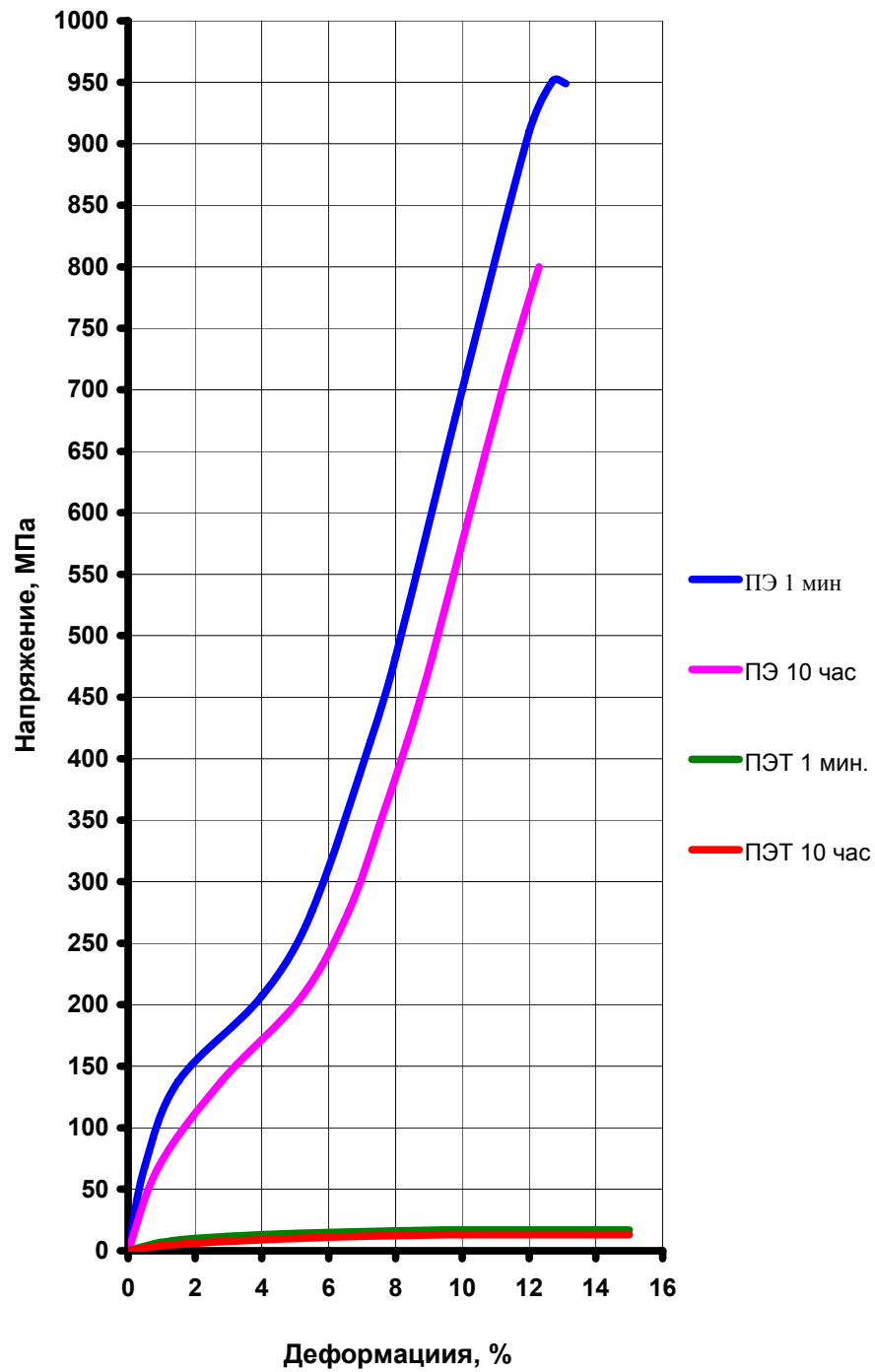


Рис. 2 Изохронные (1 мин и 10 час) зависимости напряжения-деформации полиэфирных (ПЭТ) нитей и полиэтилена (ПЭ)

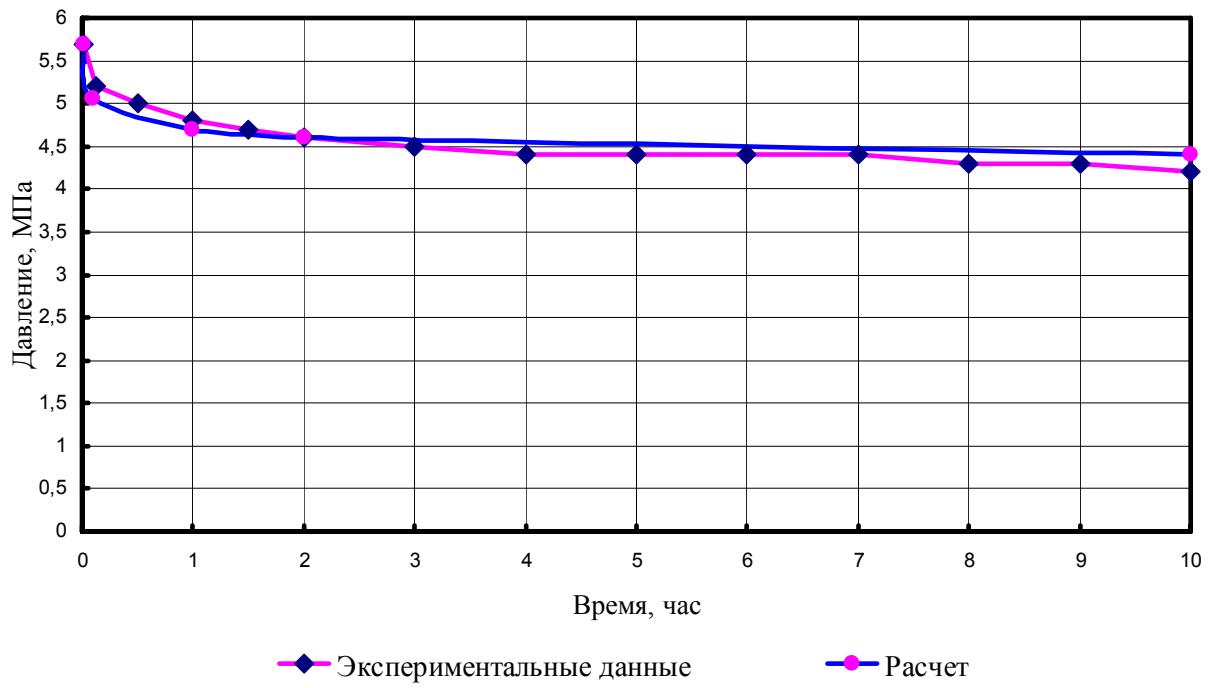


Рис. 3 Расчетные и экспериментальные зависимости падения испытательного давления от времени в ПАСНТ диаметром 90 мм

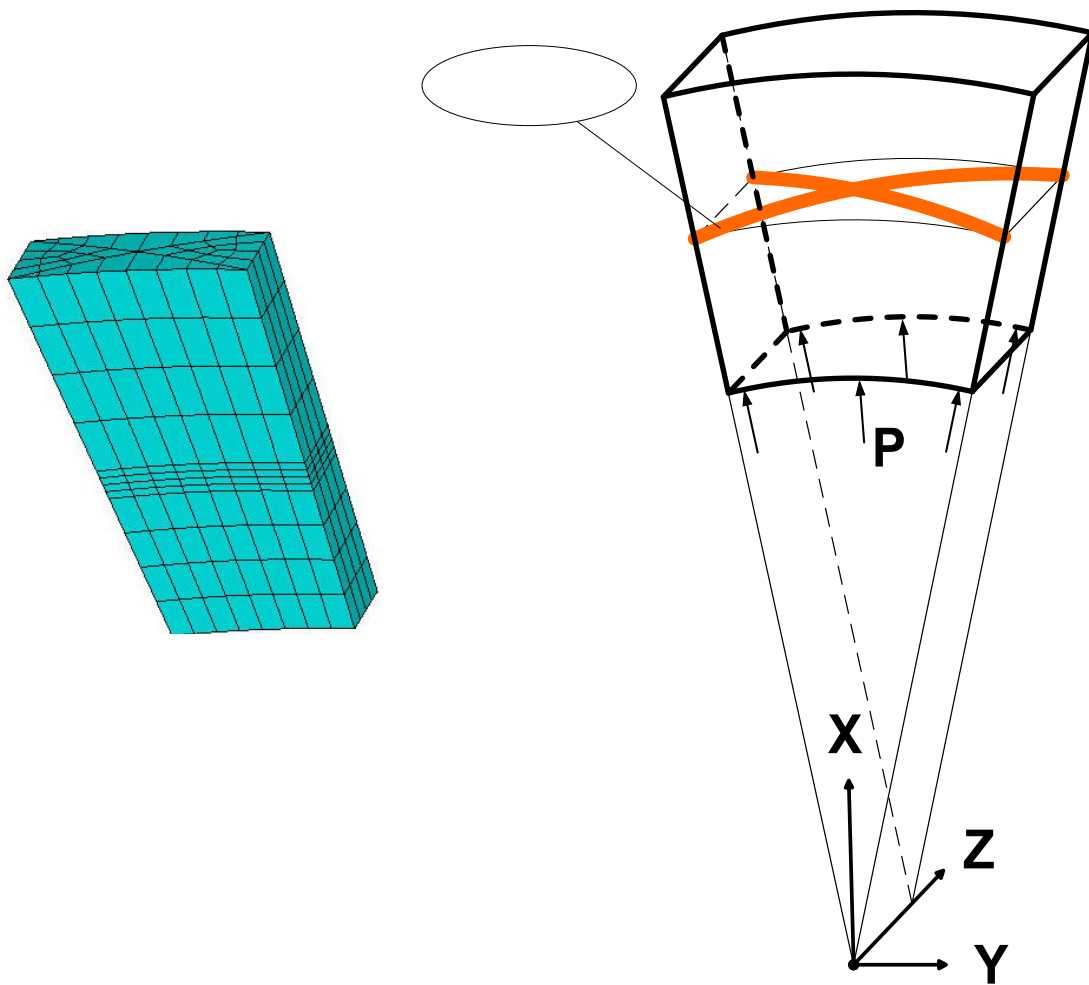


Рис. 4 Расчетная модель элементарной ячейки ПАСНГ



Рис. 5 Образец для исследования поведения подземного трубопровода из ПАСНТ

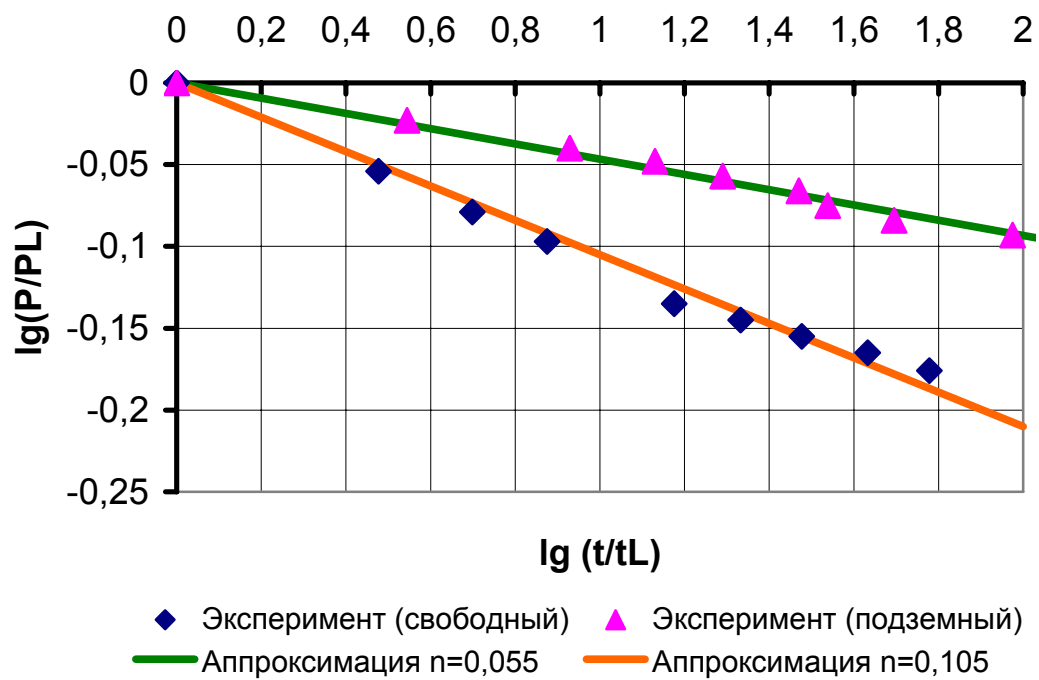


Рис. 6 Падение давления в образцах труб, моделирующих испытания свободного и подземного трубопроводов из ПАСНТ



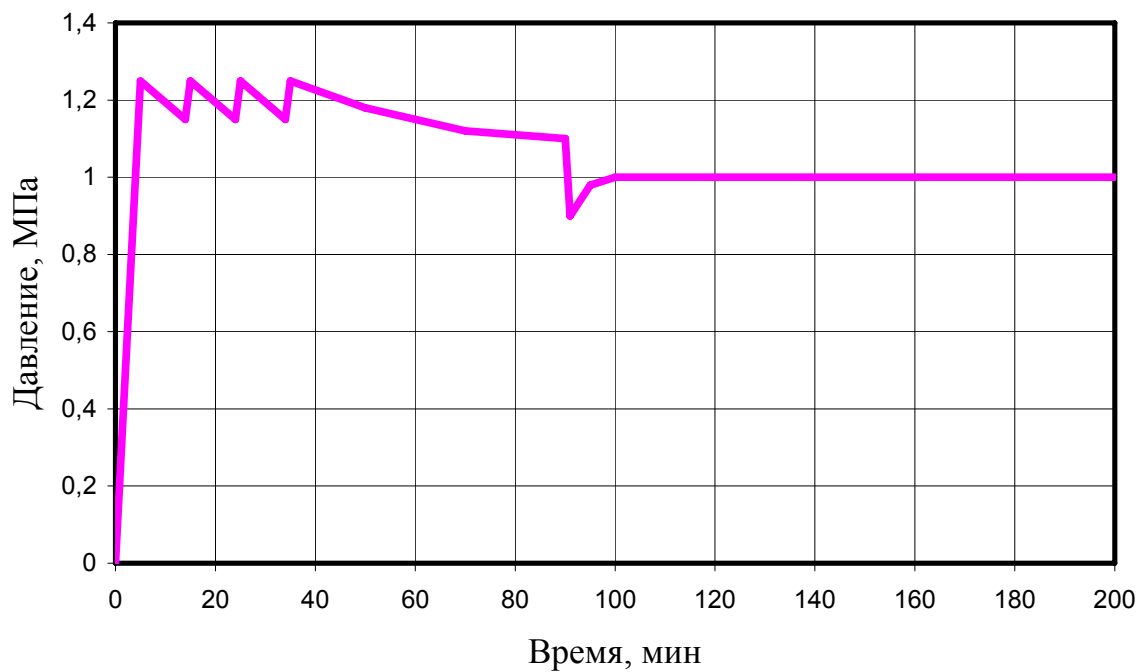


Рис. 7 Испытания полиэтиленового трубопровода методом «рикошета»

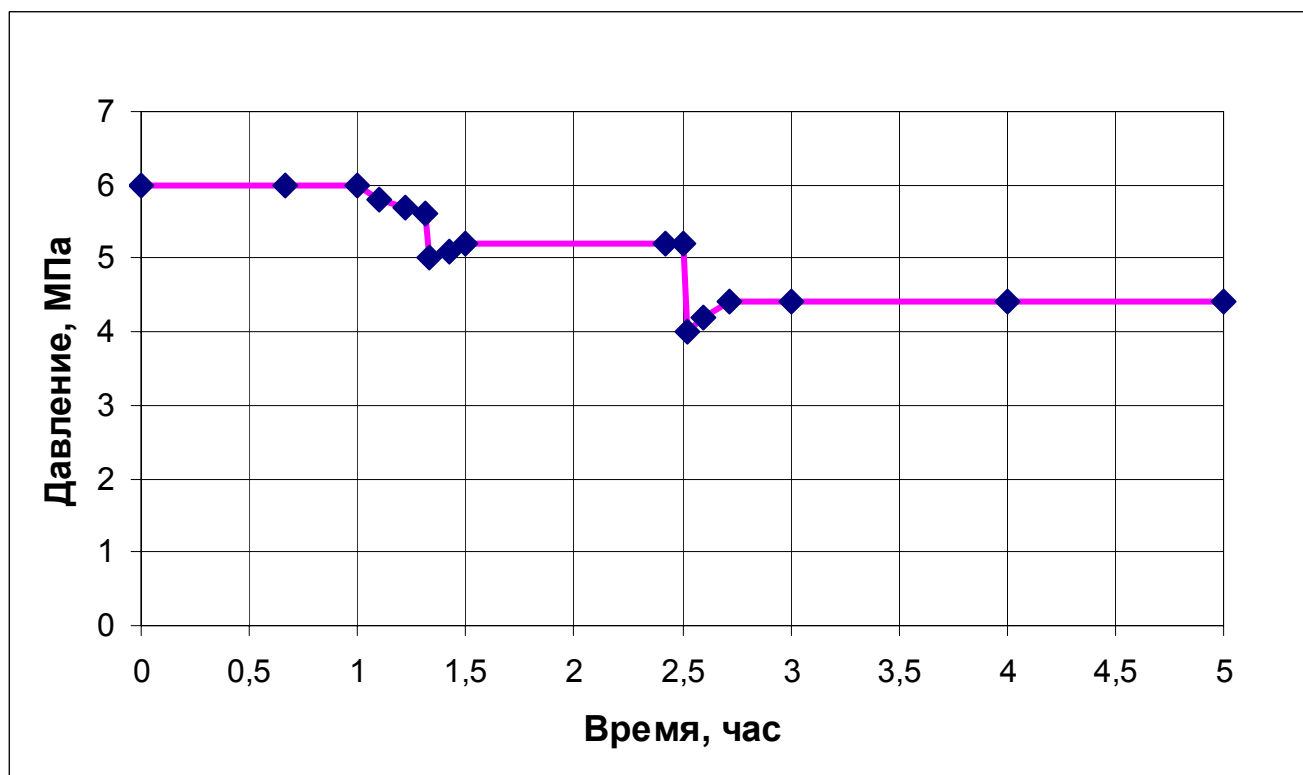


Рис. 8 Испытания на прочность и герметичность методом «рикошета» трубопровода из ПАСНТ