

УДК 622.692.4 532.542

## ИСПЫТАНИЯ НЕФТЕПРОВОДНЫХ ТРУБ ВНУТРЕННИМ ДАВЛЕНИЕМ

А.Н. КОЗИК

(ОАО «Гомельтранснефть Дружба»)

*Представлена разработка Государственного стандарта Беларуси, который на нормативном уровне закрепляет экспериментально апробированный метод гидравлических испытаний нефтепроводных труб и позволяет получить данные об их деформированном состоянии при различных уровнях внутреннего давления, а также определить величину разрушающего давления. Даны методические и технологические обоснования метода исходя из опыта проведения промышленных испытаний протяженных участков натуральных нефтепроводов и результатов научно-исследовательских работ по гидравлическим испытаниям трубных плетей. Рассмотрены исходные положения к обоснованию метода гидравлических испытаний нефтепроводных труб, технология и порядок проведения испытаний.*

**Введение.** Магистральные нефтепроводы Республики Беларусь на большей части своей протяженности находятся в эксплуатации от 30 до 40 и более лет, а время наработки первой нитки нефтепровода ОАО «Гомельтранснефть Дружба» приближается к 50 годам. Установленный нормативный срок амортизации нефтепроводов (33 года) носит характер финансово-экономического норматива и не может быть использован в качестве показателя, определяющего уровень остаточного ресурса магистральных нефтепроводов. При этом нормативные документы, регламентирующие для магистральных нефтепроводов сроки эксплуатации по наработке, отсутствуют. В связи с этим наиболее полной и надёжной является оценка технического состояния магистральных трубопроводов по результатам испытаний натуральных отрезков труб или протяженных участков трубопроводов. Проведение таких испытаний требует соответствующего методического и технологического обоснования исходя из опыта проведения гидравлических испытаний протяженных участков нефтепроводов в ОАО «Гомельтранснефть Дружба» за последние 10 лет и результатов ряда научно-исследовательских работ по гидравлическим испытаниям трубных плетей длиной 7...11 м и диаметром 630 и 820 мм.

**Исходные положения к обоснованию метода гидравлических испытаний нефтепроводных труб.** В настоящее время проводятся следующие гидроиспытания нефтепроводов:

- *приемочные или предпусковые испытания* после строительства или капитального ремонта нефтепроводов в соответствии с требованиями СНиП [1] для проверки прочности и герметичности, причем испытаниям подвергаются как сами трубы на заводах-изготовителях (продолжительность испытаний – 20...30 с), так и линейные участки различной протяженности (до 40 км – не менее 24 ч);
- *повторные испытания*: плановые, с целью выявления опасных дефектов; при планировании эксплуатации участка нефтепровода при более высоком давлении; в случае если продлевается срок эксплуатации; в случаях получения линейным участком нефтепровода дополнительных повреждений;
- *как метод диагностики* для назначения величины рабочего давления, когда внутритрубная диагностика невозможна.

Режимы гидравлических испытаний устанавливаются нормативно, но в литературе представлены и другие возможные режимы гидроиспытаний, в том числе учитывающие цикличность работы линейной части нефтепроводов [2]. Величину испытательного давления предлагается принимать от  $1,1 P_{раб}$  до  $P_{зав}$  ( $P_{раб}$  и  $P_{зав}$  – соответственно рабочее и заводское испытательные давления труб), т.е. окружные напряжения в металле труб  $\sigma_{окр}$  при гидроиспытаниях могут достигать предела текучести  $\sigma_m$ .

Метод гидроиспытаний длительно эксплуатируемых нефтепроводов также может быть использован для частичного восстановления прочностных свойств трубной стали. Согласно [3], при нагружении, а затем снятии испытательного давления остаточные напряжения вызывают сжатие «рыхлой» пластически деформированной области, создавая поля остаточных напряжений сжатия вокруг центральной (хрупкой) области. Это в свою очередь приводит к релаксации линейных и точечных дефектов в этой области, к «захлопыванию» микропор и субмикротрещин, что останавливает (замедляет) развитие усталостных трещин, ликвидируя потенциал подготовленности охрупченной области к разрушению [4].

Положительное влияние напряжений пластического течения при гидроиспытаниях на уровень предела текучести связан с эффектом закрытия усталостных трещин. Сущность этого эффекта состоит в том, что усталостная трещина может оставаться закрытой из-за смыкания ее берегов позади вершины на протяжении определенной части цикла напряжения или закрытия вершины при наличии остаточных напряжений сжатия, обусловленных природой циклического нагружения.

**Технология и порядок проведения испытаний.** При разработке метода проведения гидроиспытаний было обеспечено соблюдение ряда принципов:

- непротиворечие общепринятым научным положениям и известным научным результатам, а также действующим нормативным техническим правовым актам;

- обеспечение комплексности работ при подготовке и проведении испытаний, для чего разработаны методики и технологии, включающие: контрольно-измерительные процедуры (толщинометрия, ультразвуковой контроль сварных швов и т.д.); технологию подготовки плетей к испытанию (сварка элементов, монтаж системы нагружения внутренним давлением, выбор точек для измерения деформаций, технология наклейки тензорезисторов, монтаж и проверка измерительной системы и т.д.); порядок работы с нагружающими устройствами с обеспечением требований техники безопасности; технологию испытаний; методики измерений, обработки и представления данных.

- максимальная адаптация к принятой у нефтепроводчиков практике и оборудованию;

- использование современных методов и технологий для исследований напряженно-деформированного состояния трубных плетей при нагружении (использован метод тензометрирования с использованием тензодатчиков).

В дальнейшем, после соответствующей проработки, для оценки механических напряжений в металле труб планируется использовать специализированные приборы, что позволит резко сократить сроки подготовки и проведения испытаний.

Метод гидроиспытаний нефтепроводов предусматривает испытания труб до разрушения, то есть нагрузку ведут до наступления предельного состояния – разрушения, сопровождающегося появлением и раскрытием трещины.

Для проведения испытаний внутренним давлением используют нефтепроводные трубы любых типоразмеров, для которых имеет место условие:  $L/D > 10$  ( $L$  – длина трубы;  $D$  – диаметр), что гарантирует разрушение в рабочей зоне, достаточно удаленной от приваренных эллиптических днищ.

Испытаниям подвергают нефтепроводные трубы, находящиеся в различном техническом состоянии как новые, так и прошедшие различный срок эксплуатации. Для проведения испытаний разработана схема испытательного полигона, представленная на рисунке 1.

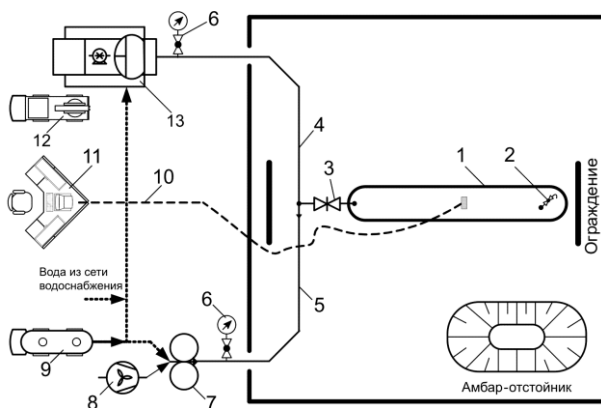


Рис. 1. Схема испытательного полигона:

- 1 – испытываемая труба; 2 – кран для выпуска воздуха; 3 – задвижка; 4, 5 – напорные водоводы;
- 6 – образцовые манометры; 7 – пневматическая насосная станция; 8 – компрессор; 9 – автоцистерна;
- 10 – кабель тензометрической системы; 11 – тензометрическая станция; 12 – автомобиль с гидроманипулятором, осветительной установкой, сварочным постом и ремонтной мастерской; 13 – гидравлическая насосная станция

Испытания нефтепроводных труб внутренним давлением проводят по схеме (рис. 2).

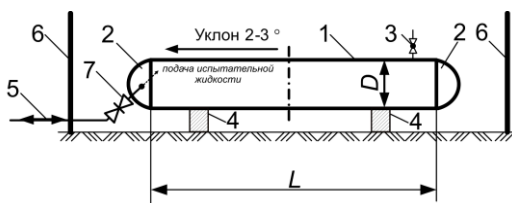


Рис. 2. Схема проведения испытаний:

- 1 – испытываемая труба; 2 – приваренные эллиптические днища; 3 – кран для выпуска воздуха;
- 4 – опоры; 5 – напорный водовод; 6 – ограждение; 7 – задвижка

Контрольное нагружение нефтепроводной трубы давлением ниже рабочего с целью оценки стабильности работы и погрешностей показаний тензодатчиков проводят с использованием пневматической насосной станции. Рабочее нагружение нефтепроводной трубы до разрушения проводят с использованием гидравлической насосной станции.

Для исследований напряженно-деформированного состояния нефтепроводных труб при нагружении используется метод тензометрирования с использованием тензодатчиков. Места установки, количество и база (геометрический размер) тензодатчиков могут быть различными и определяются задачами испытания.

Испытания проводят до наступления предельного состояния нефтепроводной трубы – разрушения, сопровождающегося появлением и раскрытием трещины.

При подготовке к проведению испытаний выполняют визуальный контроль внешнего вида отобранной нефтепроводной трубы, позволяющий предварительно установить характер и протяженность зон возможных повреждений, наличие и размеры дефектов. Для контроля сварных швов и толщинометрии основного металла с целью поиска коррозионных либо иных дефектов, связанных с потерей металла, для выбора мест последующей установки тензодатчиков и, соответственно, точек измерения деформаций (напряжений) используются методы ультразвуковой диагностики.

Перед испытанием к торцам нефтепроводной трубы приваривают эллиптические днища, патрубков с фланцем для присоединения напорного водовода, а также патрубков с краном высокого давления для выпуска воздуха согласно схеме, приведенной на рисунке 1. Проводится ревизия запорной арматуры и подготовка поверхности нефтепроводной трубы в выбранных местах для наклейки тензодатчиков. Нефтепроводную трубу устанавливают на испытательном полигоне (см. рис. 1) и осуществляют наклейку тензодатчиков, монтаж и проверку тензометрической системы.

Испытания нефтепроводной трубы проводят в два этапа согласно программе нагружения, приведенной на рисунке 3.



Рис. 3. Программа нагружения

В ходе проведения испытаний на каждой ступени нагружения измеряют и фиксируют давление и температуру в трубопроводах. Для измерения давления в трубопроводах используются проверенные, опломбированные и имеющие паспорт манометры класса точности не ниже 1,0 с предельной шкалой на давление 4/3 от испытательного.

С целью стабилизации давления и проведения тензометрических измерений длительность ступени нагружения принимается  $\Delta t = const$ . Величину приращения давления на каждой ступени нагружения выбирают из ряда 1, 2, 3, 4 МПа и принимают постоянной  $\Delta P = const$ .

На первом этапе испытаний проводят контрольное нагружение до давления на 15...20 % ниже рабочего и полную разгрузку нефтепроводной трубы, при этом используют пневматическую насосную станцию, обеспечивающую повышенную точность измерения малых давлений, что позволяет надежно оценить стабильность работы и погрешность показаний тензодатчиков.

На втором этапе проводят рабочее нагружение до разрушения нефтепроводной трубы, при этом используют гидравлическую насосную станцию, обеспечивающую требуемую скорость испытания при высоких давлениях.

На программе нагружения (см. рис. 3) отмечают:

- величину давления  $p_{раб}$ , которому соответствует рабочее напряжение трубной стали  $\sigma_{раб}$ ;
- величину давления,  $p_T$ , которому соответствует предел текучести трубной стали  $\sigma_T$ ;
- величину давления в момент разрушения трубы  $p_B$ .

В случае если в нефтепроводной трубе образуется течь испытательной жидкости, испытания останавливают, дефект устраняют установленным методом, после чего испытания продолжают.

Для контроля над процессом испытаний возможна установка телевизионного наблюдения.

Для обработки и анализа результатов всех испытаний исходные данные и результаты испытаний каждой нефтепроводной трубы заносят в протокол испытаний, который является обязательным первичным документом, подлежащими хранению в пределах установленных сроков.

По окончании испытаний фиксируют: давление в момент разрушения трубы  $p_B$ ; продолжительность испытаний  $t$ ; длину  $a$  и ширину  $b$  трещины в месте максимального раскрытия (рис. 4).

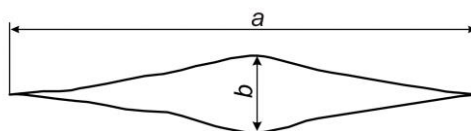


Рис. 4. Параметры раскрытия трещины после испытаний

Испытания нефтепроводных труб внутренним давлением до разрушения сопровождаются комплексом исследований механических свойств трубных сталей. В комплекс исследований входят испытания материалов труб: на растяжение, ударную вязкость, механическую усталость, циклическую трещиностойкость, коррозионно-эрозионную усталость.

**Разработка государственного стандарта Беларуси.** На основании совместных НИОКР, проведенных в рамках Плана Государственной стандартизации Республики Беларусь на 2009 – 2010 годы организациями ОАО «Гомельтранснефть Дружба» и ООО «НПО ТРИБОФАТИКА», разработан Государственный стандарт Беларуси СТБ 2162-2011 «Трубы нефтепроводные. Метод испытания внутренним давлением до разрушения», который утвержден Госстандартом Республики Беларусь [5] и введен в действие в ОАО «Гомельтранснефть Дружба».

*Состав стандарта включает:* область применения, нормативные ссылки, термины и определения, объекты испытаний, схемы испытаний, испытательное оборудование, определение напряжений и деформаций, критерии предельного состояния, подготовку к проведению испытаний, проведение испытаний, обработку и анализ результатов испытаний, исследование свойств трубных сталей, приложения и библиографию.

*Стандарт устанавливает* метод испытания нефтепроводных труб внутренним давлением до разрушения, предусматривает испытания нефтепроводных труб при нормальных значениях климатических факторов внешней среды.

*Стандарт определяет* испытания нефтепроводных труб любых типоразмеров с различным сроком эксплуатации и в различном техническом состоянии: новых, после эксплуатации, дефектных, вырезанных из действующих и выведенных из эксплуатации участков нефтепроводов.

Характеристики, определяемые по настоящему стандарту, могут быть использованы:

- при оценке несущей способности нефтепроводных труб;
- оценке эксплуатационной поврежденности нефтепроводных труб;
- оценке эффективности ремонта нефтепроводных труб;
- контроле качества основного металла и сварных соединений нефтепроводных труб по механическим свойствам в зависимости от срока эксплуатации;
- сертификации трубных сталей;
- переаттестации линейных участков нефтепроводов.

В стандарте использованы ссылки на ряд технических нормативных правовых актов [6 – 10].

В состав стандарта входят:

- справочное приложение А:

- основные обозначения и единицы величин;

- рекомендуемые приложения Б – И:

- протокол испытаний;
- пример испытаний нефтепроводных труб внутренним давлением до разрушения;
- испытания материалов труб на растяжение;
- испытания материалов труб на ударную вязкость;
- испытания материалов труб на механическую усталость;
- испытания материалов труб на циклическую трещиностойкость;
- испытания материалов труб на коррозионно-эрозионную усталость.

**Заключение.** Представлены методическое и технологическое обоснования метода испытания внутренним давлением до разрушения труб нефтепроводов, которые выполнены на основании опыта проведения промышленных испытаний протяженных участков натуральных нефтепроводов и результатов научно-исследовательских работ по гидравлическим испытаниям трубных плетей длиной 7...11 м и диаметром 630 и 820 мм.

Результаты выполненной работы обобщены в Государственном стандарте Беларуси СТБ 2162-2011 «Трубы нефтепроводные. Метод испытания внутренним давлением до разрушения», который утвержден Госстандартом Республики Беларусь и введен в действие в ОАО «Гомельтранснефть Дружба». Стандарт на нормативном уровне закрепляет экспериментально апробированный метод гидравлических испытаний нефтепроводных труб, позволяющий получить данные об их деформированном состоянии при различных уровнях внутреннего давления, а также определить величину разрушающего давления.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Магистральные трубопроводы: СНиП III-42-80. – М., 1980.
2. Гидравлические испытания действующих нефтепроводов / Р.С. Зайнулин [и др.]. – М.: Недра, 1990.
3. Старение труб нефтепроводов / А. Г. Гумеров [и др.]. – М.: Недра, 1995. – 218 с.
4. Торможение развития разрушений элементов нефтепроводов испытаниями / Р.С. Зайнулин [и др.]; под ред. А.Г. Гумерова. – Уфа: Мир печати, 2005.
5. Трубы нефтепроводные. Метод испытания внутренним давлением до разрушения: СТБ 2162-2011. – Минск, 2011.
6. Расчеты и испытания на прочность в машиностроении. Методы механических испытаний металлов. Методы испытаний на усталость: ГОСТ 25.502-79.
7. Металлы. Методы испытаний на растяжение: ГОСТ 1497-84 (ИСО 6892-84, СТ СЭВ 471-88).
8. Металлы. Метод испытания на ударный изгиб при пониженных, комнатной и повышенных температурах: ГОСТ 9454-78 (СТ СЭВ 472-77, СТ СЭВ 473-77).
9. Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды: ГОСТ 15150-69.
10. Трубы стальные. Термины и определения: ГОСТ 28548-90 (СТ СЭВ 6584-89).

Поступила 01.06.2011

#### TESTS OF PETROWIRE PIPES BY INTERNAL PRESSURE

*A. KOZIC*

*It is presented the working out of Belarus state standard which on law level fixes experimentally approved method of hydraulic tests of petrowire pipes and allows to obtain the data about their deformed condition at various levels of internal pressure, to define a size of destroying pressure. Methodical and technological substantiations of the method as a matter of experience carrying out of industrial tests of extended sites of natural oil pipelines and results of research works on hydraulic tests of trumpet lashes are given. Starting positions for substantiation of a method of hydraulic tests of petrowire pipes, technology and an order of carrying out of tests are considered.*