

**СТЕНД ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ РЕСУРСНЫХ ИСПЫТАНИЙ ПРИ ЦИКЛИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ
ВНУТРЕННИМ ДАВЛЕНИЕМ СТАЛЬНЫХ ТРУБ БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА
ENDURANCE TESTS BENCH FOR LARGE DIAMETER STEEL PIPES UNDER INTERNAL
PRESSURE CYCLIC LOADING**

Бодров Валерий Владимирович, Багаутдинов Рамиль Мерсеитович, Батурин Александр Алексеевич,
Бухаров Иван Владимирович, ООО «Уральский Инжиниринговый Центр»

Bodrov Valery Vladimirovich, Bagautdinov Ramil Merseitovich, Baturin Alexander, Bukharov Ivan
Vladimirovich, "Ural Engineering Center"

Контакты: vbodrov@cheltec.ru, baga@cheltec.ru, baturin@cheltec.ru, bukharov@mail.ru

Contacts: vbodrov@cheltec.ru, baga@cheltec.ru, baturin@cheltec.ru, bukharov@mail.ru

Описывается постановка задачи по проведению гидравлических ресурсных испытаний труб, применяемых в линиях магистральных трубопроводов нефти и газа. Представлен опыт разработки, изготовления и эксплуатации оборудования испытательного стенда, кратко рассмотрены результаты испытаний труб диаметром 1220 мм.

It is described the problem of carrying out of hydraulic endurance tests of pipes used in oil and gas main pipelines. The experience of the design, manufacture and operation of equipment of the test bench is presented and the test results of pipes, diameter 1220 mm are considered.

Ключевые слова: ресурсные испытания труб, испытания внутренним давлением, испытания при циклическом нагружении, испытания до разрушения.

Keywords: pipes endurance tests, internal pressure test, testing under cyclic loading, destruction test.

Разработка новых материалов и технологий производства труб, а также расширение эксплуатационных требований и областей применения труб большого диаметра требует выполнения различных видов испытаний трубопроводной продукции, в частности различных видов испытаний внутренним давлением. В течение 2009-2010 годов ООО «Уральский инжиниринговый центр» по заказу ООО «Газпром трансгаз Санкт-Петербург» выполнил работы по проектированию, изготовлению, поставке, монтажу и пуско-наладке комплекса оборудования (испытательного стенда) для проведения гидравлических испытаний трубопроводов большого диаметра. Цель проведения таких испытаний определялась Федеральной целевой программой «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2012 годы» в рамках которой выполнялись опытно-конструкторские работы на тему «Создание высокопрочных трубных сталей и высокоэффективных технологий изготовления труб большого диаметра с категорией прочности до X100, обеспечивающих проектирование, строительство и надежность крупнейших магистральных газо- и нефтепроводов страны и сварных арктических конструкций».

Постановка задачи.

В соответствии с техническим заданием был разработан комплекс оборудования гидравлического испытательного стенда для испытаний стальных труб категорий прочности X70, K60, X80, K70, X90, X100 циклическим гидравлическим внутренним давлением в условиях, максимально приближенных к эксплуатационным. На рис. 1 представлена гидростанция стенда в помещении лабораторного корпуса ГНЦ ФГУП «ЦНИИ КМ «Прометей».



Рис. 1. Гидростанция стенда в помещении лабораторного корпуса ГНЦ ФГУП «ЦНИИ КМ «Прометей».

Особенностями поставленной задачи являлись:

- Необходимость обеспечения большого количества циклов изменения давления с заданной частотой и амплитудой: до 25000 циклов на каждую трубу, определяющая высокие требования к ресурсу всех элементов испытательного оборудования;
- Большие размеры испытываемого образца, а значит и большие объёмы закачиваемой/сливаемой жидкости на каждый цикл изменения давления;
- Высокие требования к точности обеспечиваемого давления на каждом цикле нагружения: погрешность не более 2%;
- Жесткие ограничения по компоновочным решениям, связанные с необходимостью размещения оборудования в существующих помещениях лабораторного корпуса Научно-производственного экспериментального комплекса ГНЦ ФГУП «ЦНИИ конструкционных материалов «Прометей» (г. Гатчина Ленинградской области);
- Необходимость проведения испытаний до наступления предельного состояния (разрушения) испытываемой трубы, с требованием изоляции объекта испытаний от испытательного оборудования и персонала.

Для моделирования эксплуатационных нагрузок от воздействия давления перекачиваемой среды были определены следующие режимы испытаний:

1. Проверка на герметичность.

Первичная проверка на герметичность каждого образца осуществлялась давлением 1,2МПа с выдержкой времени 1 час

2. Режим статического нагружения.

Статическое нагружение производится путём ступенчатого повышения внутреннего давления с шагом 1...2 МПа, с выдержками на каждой ступени в течение 5 мин до давления P_{max} с последующей выдержкой в течение 1 часа.

P_{max} - давление, рассчитываемое по гарантированным техническими условиями механическим свойствам металла трубы (определяется по СНиП 2.05.06-85).

3. Режим циклического нагружения (ресурсные испытания).

Циклическое нагружение при ресурсных испытаниях с частотой нагружений 1.0 цикл за 30 секунд. Циклическая база испытаний – 3 основных последовательных блока нагружения по блочной схеме и один завершающий стационарный блок от 0 до P_{max} до наступления предельного состояния (разрушения трубы), но не более 10000 циклов. На рис. 2 представлено графическое представление режима блочного циклического нагружения труб при ресурсных испытаниях внутренним давлением. Амплитуда изменения давления для каждого блока $P_{max}-P_{min}$ в соответствии с заданной диаграммой (см. табл.1). Среднее давление испытания в трубе при ресурсных испытаниях $P_{ср}=\text{const}$, также определяется характеристиками заданного блока нагружений.

4. Статическое нагружение до разрушения.

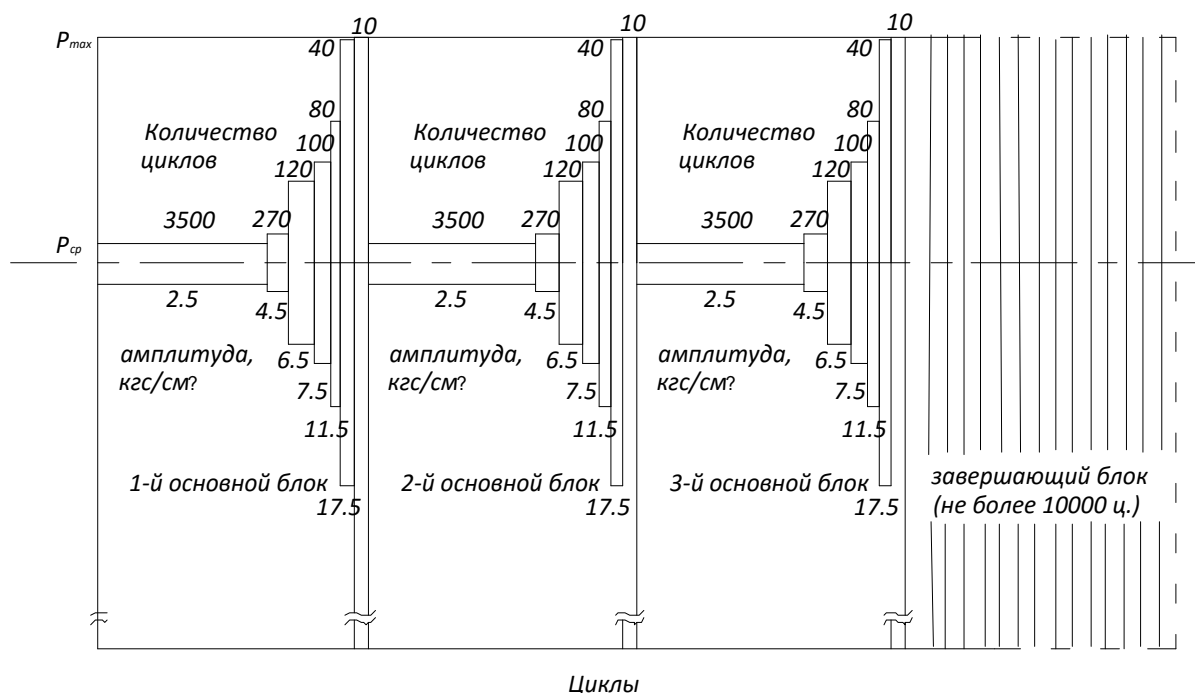


Рис. 2. Графическое представление режима блочного циклического нагружения труб при ресурсных испытаниях внутренним давлением.

Количественные параметры нагружения рассчитывались на основе статистической обработки спектров изменения давления в действующих магистральных газопроводах.

Таблица 1

Параметры циклического нагружения в ступенях основного блока при среднем давлении в трубе, составляющем 0.86 P _{max}							
	Количество циклов нагружения в ступени						
Количество циклов	3500	270	120	100	80	40	10
В долях от P _{max}	Размах внутреннего давления 2P'a						
	0.04	0.07	0.1	0.12	0.18	0.28	
	Минимальный уровень давления P'min						
	0.84	0.825	0.81	0.8	0.77	0.72	0
	Максимальный уровень давления P'max						
	0.88	0.895	0.91	0.92	0.95	1.00	1.00
	Амплитуда внутреннего давления P'a						
	0.02	0.035	0.05	0.06	0.09	0.14	0.101.00

Таким образом, циклическое нагружение образца трубы имитирует изменение внутреннего давления участка магистрального трубопровода за весь срок эксплуатации.

Техническая реализация.

Для реализации заданной программы испытаний, специалистами ООО «Уральский инжиниринговый центр» было предложено следующее техническое решение:

Увеличение давления в испытываемой трубе осуществляется за счёт задаваемого объёма воды, накачиваемого масляно-водяным мультипликатором, управляемым от гидравлической маслостанции с реализацией обратной связи по достигаемому давлению цикла. При этом регулирование величины расхода подаваемого к мультипликатору масла, а значит и расхода воды внутрь испытываемого образца, осуществляется автоматически посредством объёмно-дрессельного регулирования в масляной гидросистеме. На рис. 3 представлен блок клапанов с золотниковым дросселем, управляемым от сервоклапана.

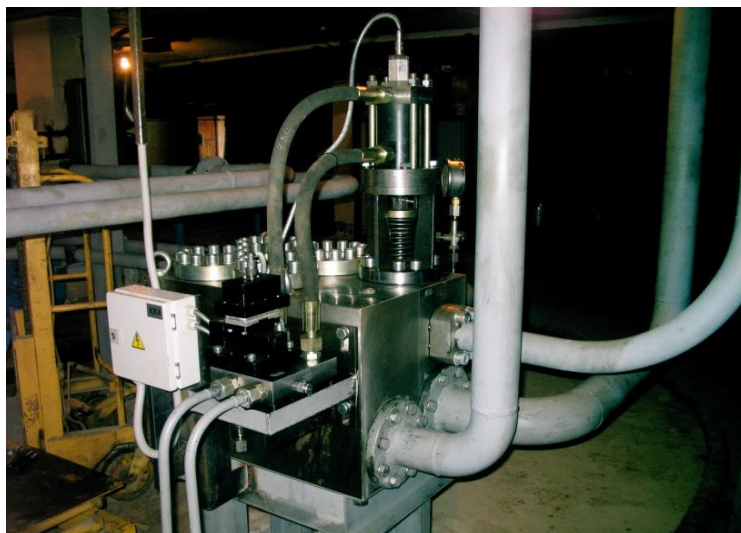


Рис. 3. Блок клапанов с золотниковым дросселем, управляемым от сервоклапана.

Снижение давления до заданного значения осуществляется за счёт регулируемого сброса воды в приёмный бак закрытого контура водяной насосной станции. Регулирование осуществляется посредством специально разработанного золотникового дросселя с маслогидравлическим сервоуправлением с обратной связью по давлению в испытываемой трубе.

Для реализации вышеуказанных технических решений испытательный стенд в своём составе имеет:

1. Гидравлическая система:
 - Масляная гидросистема;

- Мультипликатор давления;
 - Блок клапанов;
 - Насосная станция (вода);
 - Система фильтрации и охлаждения.
2. Электросиловое оборудование:
 - Шкаф вводной (ШВ);
 - Шкаф управления насосной станции
 - Пульт управления насосной станции.
 3. Автоматизированная система управления:
 - Автоматизированное рабочее место (АРМ) оператора-испытателя;
 - Шкаф автоматики;
 - Программное обеспечение.

Основной экран системы управления стендом представлен на рис. 4.

При этом всё вышеуказанное оборудование испытательного стенда (исключая АРМ оператора-испытателя и испытательную камеру) компактно разместилось на площади в 72 м².

Основные технические характеристики испытательного стенда представлены в таблице 2.

Таблица 2

НАИМЕНОВАНИЕ ПАРАМЕТРА	ЗНАЧЕНИЕ
Максимальный внутренний объём испытываемого образца	11 м ³
Коэффициент мультипликации реверсивного водо-масляного мультипликатора	1,17
Погрешность поддержания испытательного давления	2%
Максимальное давление при циклическом нагружении	25 МПа
Время одного цикла	30 секунд
Максимальное давление в линиях испытательного стенда:	
контур воды высокого давления (давление испытания)	40 МПа
основной масляный контур	35 МПа
масляный контур управления	9 МПа
контур воды низкого давления	0,35 МПа
Номинальная подача маслостанции	740 л/мин
Максимальная подача воды к испытываемому образцу	630 л/мин
Номинальная подача контура воды низкого давления	750 л/мин
Электропитание электродвигателей	АС 380 В
Электропитание цепей управления	DC 24 В
Установленная мощность	350 кВт

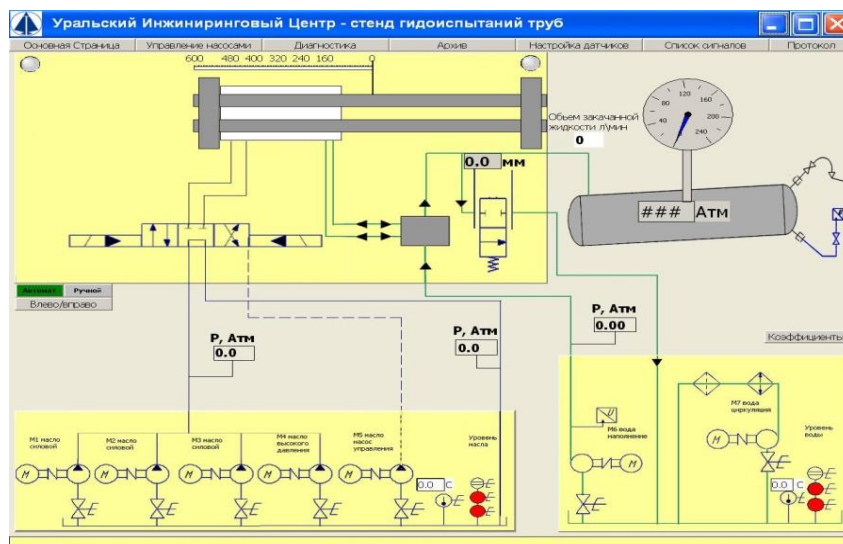


Рис. 4. Основной экран системы управления стендом.

Полученные результаты.

Начальная программа была рассчитана на проведение ресурсных испытаний 12 образцов труб диаметром 1220мм 6 различных различных категорий прочности по 25000 циклов нагружения для каждого образца. Испытываемый образец представляет собой две трубы по 4,5 метра длиной, с приваренными к ним эллиптическими днищами сваренные между собой. На одном из двух образцов каждой категории прочности выполнялись различные имитаторы дефектов.

Например, предельное состояние для образца без дефектов, диаметром 1220мм с толщиной стенки 21,6мм и категории прочности К60 было достигнуто только при четвёртом режиме нагружения, т.е после 25000 циклов, при давлении 25МПа. При этом предельное состояние данной трубы при нагружении внутренним давлением без предварительных циклических ресурсных испытаний произошло также при давлении 25МПа, что свидетельствует об отсутствии влияния выполненных циклов нагружения на механические свойства материала трубы. Разрушение аналогичного образца с имитаторами дефектов было достигнуто в ходе третьего режима нагружения на 8541 цикле из предусмотренных 10000 циклов с изменением давления от 0 до 12МПа. На рис. 5 представлен разрыв трубы после испытаний.



Рис. 5. Разрыв трубы после испытаний.

Также специалистами УриЦ осуществлялось техническое сопровождение испытаний данной партии труб. В результате испытаний, указанных 12 образцов, поставленное оборудование обеспечило около 300000 циклов нагружения или около 1 млн. ходов мультипликатора. При этом полностью сохранилась работоспособность поставленного оборудования, замены потребовали только изнашиваемые детали: уплотнения, направляющие втулки, золотники и т.д.

Таким образом, в результате проведения работ был разработан стенд, который позволяет проводить, как ресурсные испытания, так и испытания на разрыв труб большого диаметра. Такое оборудование является необходимым для разработки новых высокоэффективных технологий изготовления изделий трубной промышленности.