

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ЭНЕРГОНОСИТЕЛИ

**Тамбов
Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ»
2025**

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Тамбовский государственный технический университет»

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ЭНЕРГОНОСИТЕЛИ

Утверждено Ученым советом университета
в качестве методических указаний для студентов
энергетических специальностей, изучающих дисциплину
«Технологические энергоносители»,
очной и заочной форм обучения

Учебное электронное издание



Тамбов
Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ»
2025

УДК 621.643; 620.162.4
ББК 39.78
Т38

Рецензент

Кандидат технических наук,
доцент кафедры «Материалы и технология» ФГБОУ ВО «ТГТУ»
А. П. Королев

Т38 **Технологические энергоносители** [Электронный ресурс] : методические указания / сост.: О. Н. Попов, И. В. Рогов. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2025. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – Системные требования : ПК не ниже класса Pentium IV ; необходимое место на HDD 512 Mb ; RAM ; 1,0 Mb ; Windows 7/8/10/11 ; дисковод CD-ROM ; мышь. – Загл. с экрана.

Рассмотрены краткие теоретические сведения о требованиях, предъявляемых к технологическим трубопроводам: условия выбора и применения труб, деталей трубопроводов, арматуры и основных материалов для их изготовления, а также требования на опознавательную окраску, предупреждающие знаки и маркировочные щитки трубопроводов. Приведены порядок выполнения лабораторных работ, контрольные вопросы по их защите.

Соответствуют государственным образовательным стандартам высшего образования по направлению подготовки «Теплоэнергетика и теплотехника» (профиль «Энергообеспечение предприятий»).

Предназначены для студентов энергетических специальностей, изучающих дисциплину «Технологические энергоносители», очной и заочной форм обучения.

УДК 621.643; 620.162.4
ББК 39.78

*Все права на размножение и распространение в любой форме остаются за разработчиком.
Нелегальное копирование и использование данного продукта запрещено.*

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «ТГТУ»), 2025

Лабораторная работа № 1

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ТРУБОПРОВОДЫ

Цель работы: ознакомиться с типами и материалами труб и фасонных соединительных частей к ним для прокладки технологических трубопроводов.

Методические указания

Технологический трубопровод представляет собой инженерную систему, предназначенную для транспортировки жидких, газообразных или сыпучих веществ.

Состав трубопровода:

- прямые участки труб;
- фасонные детали (отводы, переходы, тройники);
- опоры и подвески;
- крепежные элементы;
- запорно-регулирующая арматура (клапаны, краны);
- теплоизоляция и антикоррозионное покрытие.

Наименование трубопровода зависит от транспортируемого вещества: водопровод, паропровод, газопровод и т.д.

При геометрической оценке труб учитываются следующие параметры: условный внутренний диаметр (проход), внешний диаметр, толщина стенки и длина.

Наиболее существенным параметром трубопровода является диаметр, определяющий его пропускную способность. Величина пропускного сечения напрямую влияет на расход потока при заданных рабочих условиях (давление, температура, скорость).

Условный диаметр D_y представляет собой номинальный внутренний диаметр присоединяемой трубы, измеряемый в миллиметрах. При одном и том же внешнем диаметре трубы могут иметь различные номинальные внутренние диаметры.

В целях унификации и сокращения номенклатуры соединительных деталей и арматуры, используемых в трубопроводных системах, применяется единый стандартизованный ряд условных диаметров. Для технологических трубопроводов наиболее часто применяются условные проходы (в мм): 10, 15, 20, 25, 32, 40, 50, 65, 80, 100, 125, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 500, 600, 800, 1000, 1200, 1400, 1600.

При выборе труб для трубопроводной системы подразумевается использование расчетного округленного внутреннего диаметра, который обозначается как условный диаметр (проход).

Для определения толщины стенки трубы (наружного диаметра) и типа стали, обеспечивающих механическую прочность трубопровода при заданных рабочих параметрах среды, вводится понятие «условное давление».

Условное давление P_y представляет собой максимальное избыточное рабочее давление при температуре среды 20 °С, при котором гарантируется длительная эксплуатация трубопровода. Для стандартизации размеров арматуры и деталей трубопроводной системы ГОСТом установлен унифицированный ряд условных давлений (в МПа): 0,1; 0,16; 0,25; 0,4; 0,63; 1,0; 1,6; 2,5; 4,0; 6,3; 10; 12,5; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100; 160; 250.

Рабочее давление $P_{\text{раб}}$ – это максимальное избыточное давление, при котором обеспечивается заданный режим эксплуатации арматуры и деталей трубопроводной системы.

Пробное давление $P_{\text{пр}}$ – это избыточное давление, при котором проводится гидравлическое испытание арматуры и деталей трубопровода на прочность и герметичность водой с температурой от 5 до 70 °С.

Соотношение между условным, пробным и рабочим давлениями для арматуры и соединительных частей трубопроводной системы с учетом температуры рабочей среды регламентировано ГОСТ 356–80.

Технологические трубопроводы подразделяются на холодные и горячие в зависимости от температуры рабочей среды. Трубопроводы считаются холодными, если рабочая среда имеет температуру не выше 50 °С, и горячими – при более высокой температуре.

Классификация трубопроводов приведена в табл. 1.1.

По уровню опасности трубопроводы делятся на три группы.

Группа А – трубопроводы для чрезвычайно и высокоопасных веществ I и II классов опасности (бензол и др.).

Группа Б – трубопроводы для умеренно опасных веществ III класса опасности (жидкий аммиак и др.).

Группа В – трубопроводы для транспортировки взрыво- и пожароопасных веществ.

1.1. Классификация трубопроводов

Признак классификации	Наименование группы	Классификационный критерий
1	2	3
Место расположения	Межцеховые	Между отдельными видами оборудования в пределах цеха или установки
	Внутрицеховые	Между установками, цехами, объектами
	Надземные	На эстакадах, колоннах, стойках, по стенам зданий
Способ прокладки	Наземные	По поверхности земли, в лотках, открытых траншеях, на низких опорах, подкладках или подставках
	Подземные	В каналах, тоннелях, бесканально
Внутреннее давление	Вакуумные	Абсолютное давление менее 0,1 МПа
	Безнапорные или самотёчные	Давление близко к атмосферному
	Низкого давления	Давление от 0.1 до 10 МПа
	Высокого давления	Давление свыше 10 МПа
Температура транспортируемого вещества	Криогенные	Температура ниже минус 153 °С
	Холодные	Температура ниже температуры окружающей среды, но не ниже минус 153 °С

1	2	3
	Нормальные	Температура равна температуре окружающей среды
	Тёплые	Температура не более 45 °С
	Горячие	Температура более 45 °С
Агрессивность транспортируемого вещества	Неагрессивные	Коррозия незначительна
	Малоагрессивные	Скорость коррозии до 0,1 мм/год
	Среднеагрессивные	Скорость коррозии от 0,1 до 0,5 мм/год
	Агрессивные	Скорость коррозии свыше 0,5 мм/год
Транспортируемое вещество	Паропроводы	Водяной пар
	Водопроводы	Холодная и горячая вода
	Нефтепроводы	Нефть и нефтепродукты
	Газопроводы	Горючие, токсичные и сжиженные газы
	Кислородопроводы	Кислород и его смеси с другими газами
	Ацетиленопроводы	Ацетилен
	Аммиакопроводы	Аммиак

1	2	3
Материал	Стальные	Из углеродистой, низко- и высоколегированной стали
	Стальные с внутренним или наружным покрытием	С покрытием резиной, пластмассой, стеклопластиком, эмалью, биметаллические и др.
	Из цветных металлов	Из меди, алюминия, титана, и других металлов и сплавов
	Из неметаллических материалов	Стекланные, керамические, пластмассовые, камнелитные и др.
Способ соединения	Неразъёмные	Соединяемые пайкой, сваркой, склеиванием
	Разъёмные	Соединяемые на резьбе, фланцах, вращающ, или развальцовкой

Определение группы и категории трубопровода производится в соответствии с «Правилами устройства и безопасной эксплуатации технологических трубопроводов» [1].

В процессе изготовления и монтажа стальных трубопроводов применяются приварные соединительные детали: отводы, переходы, тройники, тройниковые соединения, крестовины и заглушки.

Отводы и фланцы являются важными элементами трубопроводных систем, обеспечивая гибкость и герметичность соединений.

Отводы предназначены для изменения направления потока в трубопроводе. Существуют два типа отводов: гнутые и крутоизогнутые. Их геометрические характеристики определяются углом поворота ϕ и отношением радиуса поворота R к внутреннему диаметру трубопровода D_y .

Фланцы представляют собой плоские кольца с отверстиями для болтов, обеспечивающие прочное и герметичное соединение труб, арматуры, машин, аппаратов и емкостей. Простота конструкции и монтажа фланцевых соединений делает их популярными, однако они менее надежны и трудоемки в изготовлении, по сравнению со сварными соединениями.

Тройники служат для разделения или объединения потоков вещества. Они бывают равнопроходные (без изменения диаметра ответвления) и переходные (с уменьшением диаметра ответвления).

Переходы предназначены для плавного изменения диаметра трубопровода. В зависимости от конструкции, они могут быть концентрическими или эксцентрическими.

Заглушки (эллиптические и фланцевые) – детали, предназначенные для закрывания концевых отверстий в трубопроводах и изготовления емкостей.

Опоры и подвески являются неотъемлемыми элементами конструкций трубопроводов, обеспечивающими их надежное крепление. Опоры классифицируются на подвижные и неподвижные, в зависимости от функционального назначения и конструкции.

Подвески предназначены для фиксации стационарных трубопроводов, а также для восприятия нагрузок и компенсации тепловых расширений.

Компенсаторы трубопроводов служат для поглощения и нивелирования движений трубопровода, возникающих при транспортировке различных сред. Они эффективно компенсируют тепловое расширение стенок труб под воздействием рабочей среды, выполняют функции разделителя сред и герметичного уплотнения. Кроме того, компенсаторы гасят вибрации, генерируемые работающим трубопроводным и насосным оборудованием, и воспринимают смещения труб, вызванные осадкой грунта или опорных конструкций. Использование компенсаторов существенно повышает долговечность трубопроводов.

Порядок выполнения работы

1. Составить эскизы трех выбранных образцов фасонных частей труб.
2. Для каждого образца выполнить замеры внутреннего и наружного диаметра, толщины стенки и другие измерения, в зависимости от вида образца.
3. Записать точную маркировку по ГОСТу изученных образцов с указанием всех типовых размеров.

Содержание отчета

Отчет должен содержать: краткое описание целей и задач, эскизы фасонных частей труб, результаты замеров, маркировку по ГОСТу фасонных частей труб, краткие выводы.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение понятию «трубопровод».
2. Перечислите состав технологического трубопровода.
3. Перечислите геометрические характеристики труб.
4. Дайте определение понятию «условный диаметр».
5. Перечислите унифицированный ряд условных диаметров.
6. Дайте определение понятию «условное давление».
7. Перечислите унифицированный ряд условных давлений.
8. На какие группы делятся технологические трубопроводы, в зависимости от класса опасности?
9. Дайте классификацию технологических трубопроводов.
10. Какие соединения труб относятся к разъемным и неразъемным?
11. Перечислите детали трубопроводов.

Лабораторная работа № 2

МАРКИРОВКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ТРУБОПРОВОДОВ

Цель работы: изучить согласно ГОСТ 14202–69 «Трубопроводы промышленных предприятий» опознавательную окраску, предупреждающие знаки и маркировочные щитки.

Методические указания

Действия ГОСТ 14202–69 «Трубопроводы промышленных предприятий» распространяется на опознавательную окраску, предупреждающие знаки и маркировочные щитки трубопроводов на проектируемых, вновь строящихся, реконструируемых и существующих промышленных предприятиях внутри зданий, на наружных установках и коммуникациях, находящихся на эстакадах и в подземных каналах в целях быстрого определения содержимого трубопроводов и облегчения управления производственными процессами, а также обеспечения безопасности труда [4].

В соответствии со стандартом разделяют десять укрупненных групп веществ, транспортируемых по трубопроводам, опознавательная окраска и цифровое обозначение которых должны соответствовать указанным в табл. 2.1.

Противопожарные трубопроводы должны окрашиваться в сигнальный (красный) цвет.

Опознавательную окраску трубопроводов следует выполнять сплошной по всей поверхности коммуникаций или отдельными участками. Окраску трубопроводов участками рекомендуется выполнять в цехах с большим числом и большой протяженностью коммуникаций, а также в тех случаях, когда по условиям работы из-за повышенных требований к цветопередаче и характеру архитектурного решения интерьера нежелательна концентрация ярких цветов.

Опознавательную окраску по всей поверхности трубопроводов рекомендуется применять при небольшой длине и относительно небольшом числе коммуникаций, если она не ухудшает условия работы в цехах.

На наружных установках опознавательную окраску по всей поверхности рекомендуется применять только в тех случаях, когда это не вызывает ухудшения условий эксплуатации вследствие воздействия на коммуникации солнечной радиации.

2.1. Группы транспортируемых веществ

Транспортируемое вещество		Образцы и наименование цветов опознавательной окраски
Цифровое обозначение группы	Наименование	
1	вода	 зеленый
2	пар	 красный
3	воздух	 синий
4	газы горючие	 желтый
5	газы негорючие	
6	кислоты	 оранжевый
7	щелочи	 фиолетовый
8	жидкости горючие	 коричневый
9	жидкости негорючие	
0	прочие вещества	 серый

При нанесении опознавательной окраски участками на трубопроводы, находящиеся внутри производственных помещений, остальную поверхность коммуникаций рекомендуется окрашивать в цвет стен,

перегородок, потолков и прочих элементов интерьеров, на фоне которых находятся трубопроводы. При этом не допускается окрашивать трубопроводы между участками опознавательной окраской, принятой для обозначения других укрупненных групп веществ.

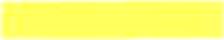
Участки опознавательной окраски должны наноситься с учетом местных условий в наиболее ответственных местах коммуникаций не реже чем через 10 м внутри производственных помещений и на наружных установках и через 30...60 м – на наружных магистральных трассах.

Ширина участков опознавательной окраски должна приниматься в зависимости от наружного диаметра трубопроводов (с учетом изоляции):

- для труб диаметром до 300 мм – не менее четырех диаметров;
- для труб диаметром свыше 300 мм – не менее двух диаметров.

Для обозначения наиболее опасных по свойствам транспортируемых веществ на трубопроводы следует наносить предупреждающие цветные кольца. Цвета опознавательной окраски для предупреждающих колец должны соответствовать указанным в табл. 2.2.

2.2. Окраска предупреждающих колец

Образцы сигнальных цветов	Наименование сигнальных цветов	Свойства транспортируемого вещества
	Красный	Легковоспламеняемость, огнеопасность и взрывоопасность
	Желтый	Опасность или вредность (ядовитость, токсичность, термические или химиче- ские ожоги, радиоактив- ность, высокое давление и др.)
	Зеленый	Безопасность или нейтральность

В случаях, когда вещество одновременно обладает несколькими опасными свойствами, обозначаемыми различными цветами, на трубопроводы одновременно следует наносить кольца нескольких цветов.

На вакуумных трубопроводах, кроме отличительной окраски, необходимо давать надпись «вакуум».

По степени опасности для жизни и здоровья людей или эксплуатации предприятия вещества, транспортируемые по трубопроводам, должны подразделяться на три группы, обозначаемые соответствующим количеством предупреждающих колец в соответствии с табл. 2.3.

Ширина предупреждающих колец и расстояние между ними должны приниматься в зависимости от наружного диаметра трубопроводов в соответствии с рис. 2.1 и табл. 2.4.

Для обозначения трубопроводов с особо опасным для здоровья и жизни людей или эксплуатации предприятия содержимым дополнительно к цветным предупреждающим кольцам должны применяться предупреждающие знаки.

Предупреждающими знаками (рис. 2.2) должны обозначаться следующие вещества: ядовитые, огнеопасные, взрывоопасные, радиоактивные, а также прочее опасное содержимое трубопроводов. Они должны иметь форму треугольника. Изображения должны быть черного цвета на желтом фоне.

В тех случаях, когда от воздействия агрессивных протекающих веществ может произойти изменение оттенка отличительных цветов, трубопроводы должны быть обозначены с помощью маркировочных щитков.

Маркировочные щитки должны применяться для дополнительного обозначения вида веществ и их параметров (температуры и давления), необходимых по условиям эксплуатации. На маркировочные щитки на трубопроводах или на поверхности конструкций, к которым прикреплены трубопроводы, должны наноситься буквенные или цифровые надписи.

Надписи на щитках трубопроводов должны выполняться четким, хорошо различимым шрифтом и не должны содержать лишних данных, малоупотребимых терминов и непонятных сокращений. Шрифт для надписей рекомендуется принимать в соответствии с ГОСТ 10807–78.

2.3. Группы трубопроводов

Группа	Количество предупреждающих колец	Транспортируемое вещество	Давление, кгс/см ²	Температура, °С
1	Одно	Перегретый пар	До 22	От 250 до 350
		Горячая вода, насыщенный пар	От 16 до 80	Свыше 120
		Перегретый и насыщенный пар, горячая вода	От 1 до 16	От 120 до 250
		Горючие и активные газы, легковоспламеняющиеся и горючие жидкости	До 25	От -70 до 250
		Негорючие жидкости и пары, инертные газы	До 64	От -70 до 350
	Два	Перегретый пар	До 39	От 350 до 450
		Горячая вода, насыщенный пар	От 80 до 184	Свыше 120
		Продукты с токсическими свойствами (кроме сильно действующих ядовитых веществ и дымящихся кислот)	До 16	От -70 до 350
		Горючие и активные газы, легковоспламеняющиеся и горючие жидкости	От 25 до 64	От 250 до 350 и от -70 до 0
		Негорючие жидкости и пары, инертные газы	От 64 до 100	От 340 до 450 и от -70 до 0
3	Три	Перегретый пар	Независимо от давления	От 450 до 660
		Горячая вода, насыщенный пар	Свыше 184	Свыше. 120
		Сильнодействующие ядовитые вещества и дымящиеся кислоты	Независимо от давления	От -70 до 700
		Прочие продукты с токсическими свойствами	Свыше 16	От -70 до 700
		Горючие и активные газы, легковоспламеняющиеся и горючие жидкости	Независимо от давления	От 350 до 700
		Негорючие жидкости и пары, инертные газы	Независимо от давления	От 450 до 700

2.4. Ширина предупреждающих колец

Наружный диаметр (с изоляцией) D	L	a
До 80	2000	40
От 81 до 160	3000	50
От 161 до 300	4000	70
Свыше 300	6000	100

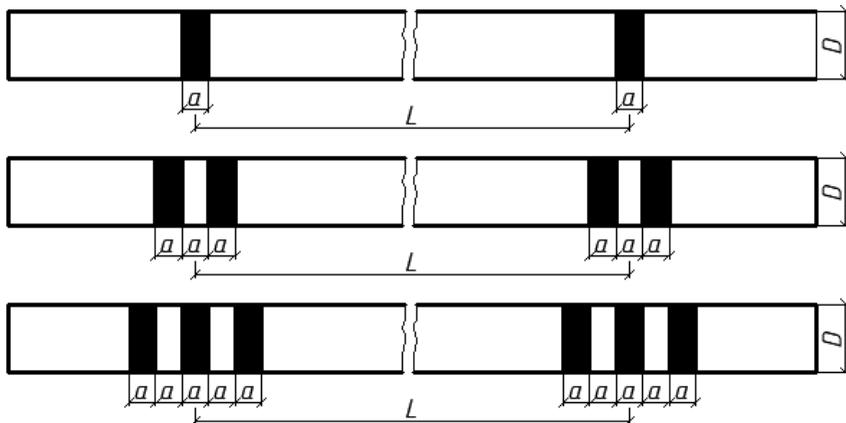


Рис. 2.1. Схема расположения предупреждающих колец

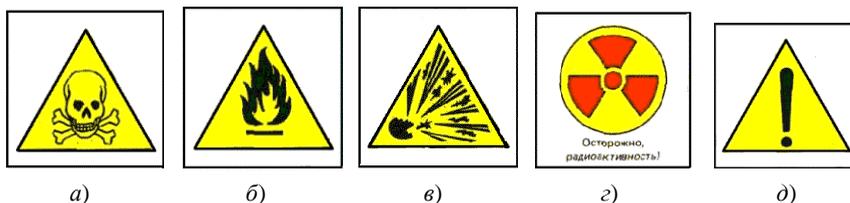


Рис. 2.2. Предупреждающие знаки:

- a – ядовитые вещества; b – легковоспламеняющиеся вещества;
 v – взрывоопасные вещества; z – радиоактивные вещества;
 d – прочие виды опасности

Направление потока веществ, транспортируемых по трубопроводам, должно указываться острым концом маркировочных щитков или стрелками, наносимыми непосредственно на трубопроводы. Форма и размер

стрелок должны соответствовать форме и размеру маркировочных щитков. Маркировочные щитки должны выполняться четырех типов:

- 1 – для указания потока, движущегося в обоих направлениях;
- 2 – то же, в левом направлении;
- 3 – то же, в правом направлении;
- 4 – для указания места отбора транспортируемого вещества.

Размеры маскировочных щитков должны соответствовать указанным на рис. 2.3 и в табл. 2.6.

Варианты размеров маркировочных щитков, надписей и предупреждающих знаков следует применять преимущественно: 1 – в лабораториях; 2 и 3 – в производственных помещениях; 4 и 5 – на наружных установках и наружных магистральных трассах.

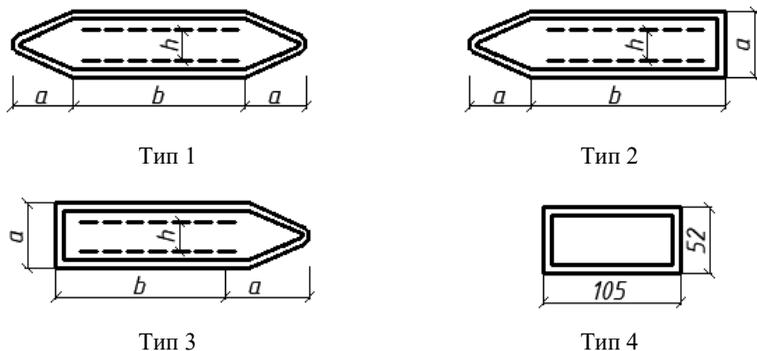


Рис. 2.3. Маркировочные щитки

2.6. Варианты размеров маркировочных щитков

Варианты размеров	a	b	Высота букв h	
			одна строка	две строки
1	26	74	19	–
2	52	148	32	19
3	74	210	50	25
4	105	297	63	32
5	148	420	90	50

Предупреждающие знаки при креплении их на трубопроводах следует ставить совместно с маркировочными щитками.

Высота маркировочных надписей на трубопроводах должна приниматься в зависимости от наружного диаметра трубопровода в соответствии с рис. 2.4 и табл. 2.7.

Цвет маркировочных надписей и стрелок, указывающих направление потока, должен быть белым или черным с учетом обеспечения наибольшего контраста с основной окраской трубопроводов. Белый цвет надписей принимают на зеленом, красном и коричневом фонах, черным – на синем, желтом, оранжевом, фиолетовом и сером фонах.

Размер маркировочных щитков, надписей и предупреждающих знаков должен выбираться в соответствии с табл. 2.8.

Расположение маркировочных щитков, предупреждающих знаков и надписей на трубопроводной арматуре должно осуществляться в местах с достаточным освещением. Рекомендуемый минимальный уровень освещенности составляет 150 люкс при использовании люминесцентных ламп и 50 люкс – при лампах накаливания.



Рис. 2.4. Схема расположения маркировочных надписей

2.7. Варианты размеров маркировочных надписей

Варианты размеров	Наружный диаметр D	Высота букв h	
		одна строка	две строки
1	До 30	19	–
2	От 81 до 160	32	19
3	От 161 до 220	50	25
4	От 221 до 300	63	32
5	Свыше 300	90	50

2.8. Варианты размеров щитков и знаков

Расстояние от наблюдателя L , м	Рекомендуемые варианты размеров щитков, надписей и знаков
До 6	1
От 5 до 12	2
От 12 до 18	3
От 18 до 24	4
Свыше 24	5

Содержание отчета

Отчет должен содержать: краткое описание целей и задач, информацию о требованиях, предъявляемых к опознавательной окраске, предупреждающим знакам и маркировочным щиткам технологических трубопроводов промышленных предприятий, краткие выводы.

Контрольные вопросы

1. На что распространяются действия ГОСТ 14202–69?
2. От чего зависит ширина участков опознавательной окраски?
3. Каких типов выполняют маркировочные щитки?
4. Каким цветом выполняют предупреждающие знаки?
5. Каким цветом выполняют маркировочные надписи?

Лабораторная работа № 3

ПНЕВМАТИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ УЧАСТКА ТРУБОПРОВОДА

Цель работы: освоить методику проведения пневматических испытаний трубопровода на герметичность.

Методические указания

После завершения сборки и сварки трубопроводов, а также при необходимости термообработки и контроля качества сварных соединений неразрушающими методами, установки и закрепления всех опор и подвесок проводится ряд мероприятий, к которым относятся испытания на прочность, герметичность и визуальный осмотр.

Проверяются соответствие смонтированного трубопровода проектной документации, правильность установки запорной арматуры и ее работоспособность, установка всех предусмотренных креплений и демонтаж временных креплений, завершение всех сварочных работ, включая врезки воздушников и дренажей, а также окончание работ по термообработке.

При проведении испытаний на прочность и плотность вся запорная арматура должна быть полностью открыта, сальники уплотнены, на регулирующих клапанах и измерительных устройствах установлены монтажные катушки, все врезки и штуцера заглушены. Для технологических трубопроводов с условным давлением до 10 МПа испытание может быть гидравлическим или пневматическим.

Замена гидравлического испытания на пневматическое допускается в случаях:

- если несущая строительная конструкция или опоры не рассчитаны на заполнение трубопровода водой;
- при температуре окружающего воздуха ниже 0 °С и опасности промерзания отдельных участков трубопровода;
- если применение жидкости недопустимо по другим причинам.

Стальные наружные газопроводы, в том числе восстановленные тканевым шлангом, полиэтиленовые, проложенные внутри стальных, всех категорий, а также газопроводы газорегуляторных пунктов, внутренние газопроводы промышленных производств, законченные строительством или реконструкцией, должны быть испытаны на герметичность.

Испытания газопроводов после их монтажа должна производить строительно-монтажная организация в присутствии представителей технического надзора заказчика и газораспределительной организации.

Пневматическое испытание технологических трубопроводов должно проводиться воздухом или инертным газом в светлое время суток в соответствии с утвержденной документацией.

При пневматическом испытании трубопроводов на прочность, подъем давления следует производить плавно со скоростью, равной 5% от рабочего давления в минуту, но не более 0,2 МПа в минуту с периодическим осмотром трубопровода на следующих этапах:

а) при рабочем давлении до 0,2 МПа – осмотр проводится при давлении, равном 0,6 от пробного давления, и при рабочем давлении;

б) при рабочем давлении выше 0,2 МПа осмотр проводится при давлении, равном 0,3 и 0,6 от пробного давления, и при рабочем давлении.

Места утечки определяются по звуку просачивающегося воздуха, а также по пузырям при покрытии сварных швов и фланцевых соединений мыльной эмульсией и другими методами.

Для выявления утечек воздуха или природного газа во время закачки их в трубопровод рекомендуется добавлять одорант.

В соответствии с разделом 8 правил [5] все технологические трубопроводы групп А, В (а), Б (б), а также вакуумные трубопроводы, помимо стандартных испытаний на прочность и плотность, должны дополнительно подвергаться пневматическому испытанию на герметичность с определением падения давления в процессе испытания. Необходимость проведения дополнительных испытаний на герметичность для остальных трубопроводов устанавливается проектом.

Трубопроводы, находящиеся в обвязке технологического оборудования, подлежат совместному испытанию с этим оборудованием.

Дополнительное испытание на герметичность проводится воздухом или инертным газом после проведения испытаний на прочность и плотность, промывки и продувки. Давление испытания должно соответствовать рабочему давлению, а для вакуумных трубопроводов – 0,1 МПа.

Продолжительность дополнительных испытаний должна составлять не менее 24 ч для строящихся межцеховых, цеховых и межзаводских трубопроводов. Продолжительность испытания для каждого трубопровода, подлежащего испытанию, указывается в проектной документации.

При периодических испытаниях, а также после ремонта, связанного со сваркой и разборкой трубопровода, продолжительность испытания устанавливается не менее 4 часов.

Результаты дополнительного пневматического испытания на герметичность смонтированных технологических трубопроводов, прошедших ремонт, связанный с разборкой или сваркой, считаются удовлетворительными, если скорость падения давления не превышает 0,1% за час для трубопроводов группы А и вакуумных и 0,2% за час – для трубопроводов группы В (а), Б (б).

Указанные нормы распространяются на трубопроводы с внутренним диаметром до 250 мм включительно.

При испытании трубопроводов больших диаметров нормы падения давления в них определяются умножением приведенных величин на поправочный коэффициент

$$K = \frac{250}{D_{\text{вн}}},$$

где $D_{\text{вн}}$ – внутренний диаметр испытываемого трубопровода, мм.

Если испытываемый трубопровод состоит из участков различных диаметров, то его средний внутренний диаметр

$$D_{\text{ср}} = \frac{D_1^2 L_1 + D_2^2 L_2 + \dots + D_n^2 L_n}{D_1 L_1 + D_2 L_2 + \dots + D_n L_n},$$

где D_1, D_2, \dots, D_n – внутренний диаметр участков, м; L_1, L_2, \dots, L_n – длина участков трубопровода, соответствующая указанным диаметрам, м.

Падение давления в трубопроводе во время испытания на герметичность

$$\Delta P = 100 \cdot \left(1 - \frac{P_{\text{кон}} T_{\text{нач}}}{P_{\text{нач}} T_{\text{кон}}} \right),$$

где ΔP – падение давления, % от испытательного давления; $P_{\text{кон}}$ и $P_{\text{нач}}$ – сумма манометрического и барометрического давления в конце и начале испытания; $T_{\text{кон}}$ и $T_{\text{нач}}$ – температура в трубопроводе в конце и в начале испытания, К.

При проведении испытаний трубопровода значения давления и температуры определяются как среднее арифметическое показаний манометров и термометров, смонтированных на трубопроводе.

Испытания на герметичность с фиксацией падения давления допускаются исключительно после достижения температурного равновесия в трубопроводе. Для контроля температурного режима в начале и конце испытываемого участка необходимо установить термометры.

По результатам каждого дополнительного испытания на герметичность по трубопроводу составляется акт в соответствии с утвержденной формой.

Описание экспериментальной установки

Рисунок 3.1 демонстрирует схему лабораторной установки, предназначенной для проведения пневматических испытаний трубопровода. Испытуемый участок трубопровода 1 выполнен из стали, имеет диаметр 36 мм и длину 1,2 м. Один конец рабочего участка оборудован регулирующим вентилем 7 типа проходного, а противоположный конец герметично закрыт заглушкой.

В результате выполнения испытаний трубопроводов на герметичность и прочность определяют изменение (падение) давления и температуры с течением времени.

На рисунке 3.2 представлена схема сборки лабораторной установки.

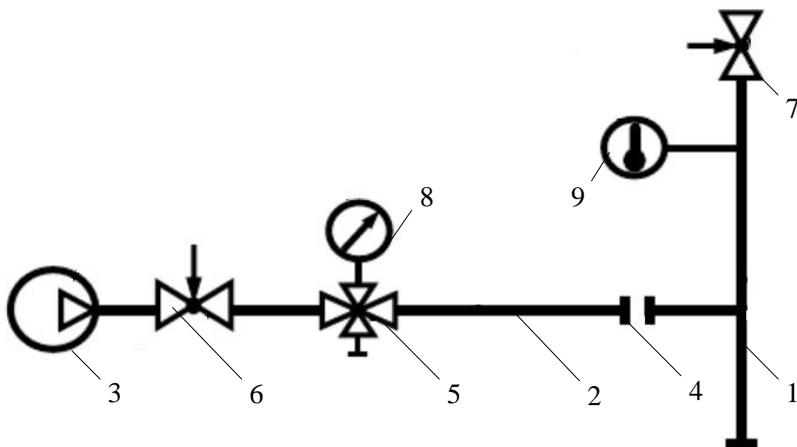


Рис. 3.1. Схема лабораторной установки:

- 1 – трубопровод; 2 – гибкий шланг; 3 – помпа или насос;
- 4 – механическая связь трубопровода; 5 – крестовина с вентилем;
- 6, 7 – вентили проходные; 8 – датчик давления; 9 – датчик температуры

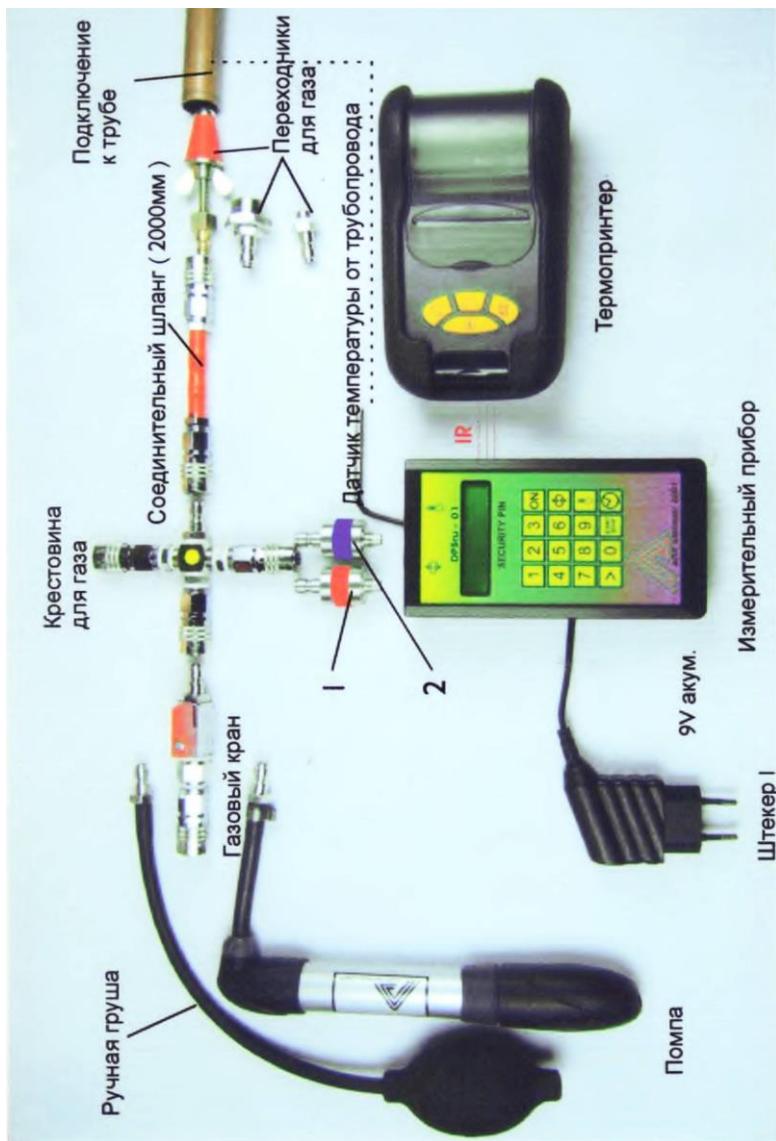


Рис. 3.2. Лабораторная установка:

1 – сенсор высокого давления; 2 – сенсор низкого давления

Для измерения величины изменения давления и температуры в процессе проведения лабораторной работы используется мобильный автоматизированный прибор проверки герметичности ППГ-01.

Общий вид и технические характеристики прибора ППГ-01 представлены на рис. 3.3 и табл. 3.1.



Рис. 3.3. Общий вид прибора ППГ-01

3.1. Технические характеристики ППГ-01

№	Наименование	Величина
1	Диапазон измерения сенсора высокого давления, бар	0...20
2	Точность измерения сенсора высокого давления, мбар	0,1
3	Диапазон измерения сенсора низкого давления, мбар	0...250
4	Точность измерения сенсора низкого давления, мбар	0,01
5	Диапазон измерения сенсора температуры, °C	-20...+80
6	Точность измерения сенсора температуры, °C	0,1
7	Питание, В	9

3.2. Назначение клавиш управления прибором ППГ-01

Органы управления	Назначение кнопок
Клавиша «  »	Включение прибора
Клавиша «  «	Вход в меню следующего уровня (если текущая строка меню является входом в следующий уровень меню) или выполнение функции; а также ручная остановка измерения
Клавиши «  ...  »	Набор цифр от 0 до 9
Клавиша «  »	Переход между строками меню
Клавиша «  »	Отображение показаний датчика давления
Клавиша «  »	Отображение показаний датчика температуры
Клавиша «  »	Отображение продолжительности эксперимента

Все параметры прибора ППГ-01, к которым имеется доступ с помощью клавиатуры и дисплея, организованы в некоторую многоуровневую структуру, называемую далее меню. Для навигации по меню служат клавиши, назначение которых представлено в табл. 3.2.

Каждый уровень меню представляет собой набор строк (или пунктов) меню. Строка меню служит либо для отображения значения некоторого параметра, либо для выполнения некоторой команды, либо является входом в следующий уровень меню (табл. 3.3).

В таблице 3.4 перечислены некоторые возможные ошибки сборки лабораторной установки, отображаемые на дисплее прибора, и методы их устранения пользователем.

3.3. Функционал меню

Уровень меню	Отображение на дисплее
Выбор типа объекта измерения	<i>GASLEITUNG</i> / Газопровод <i>WASSERLEITUNG</i> / Водопровод <i>DRUCKSCHREIBER</i> / Измерение давления <i>SPEICHE CLEAR</i> / Очистка памяти
Формирование названия проекта	<i>PROJEKT NUMMER</i> / Номер проекта
Выбор типа проверки	<i>VORPRÜFUNG</i> / Предварительная проверка <i>HAUPTPRÜFUNG</i> / Основная проверка
Задание условий проведения измерений	<i>P-SOLL</i> / Задать конечное давление <i>TIME-SOLL</i> / Задать время проверки <i>PASTER</i> / Выбрать время опроса каналов измерения
Выбор исследуемого вещества (только при основной проверке)	<i>ERDGAS</i> / Природный газ <i>PROPANGAS</i> / Пропан <i>FLÜSSIGGAS</i> / Сжиженный газ
Активная стадия проведения измерений	<i>STARTPHASE</i> / Запуск начального этапа проверки <i>ENDE STARTPHASE</i> / Окончание начального этапа проверки <i>PRÜFFPHASE</i> / Запуск основного этапа проверки <i>ENDE PRÜFFPHASE</i> / Окончание основного этапа проверки
Представление результатов измерения	<i>WERTE SPEICHERN</i> / Сохранить данные <i>PROTOKOLL</i> / Печатать протокол <i>PROTOKOLL WIND GEDRUCKT</i> / Отправить протокол на печать

3.4. Возможные ошибки

Отображение ошибки на дисплее прибора	Метод устранения
HOCHDRUCKSENSOR ANLEGEN	Установите датчик высокого давления
P-SENSOR FALSCH WECHSELN	Заменить датчик давления
SENSOR NICHT MIT DRUCK VERSEHEN!	Подключить датчик давления к измеряемой среде
NIEDERDR. SENSOR ANLEGEN	Заменить датчик давления

Порядок выполнения работы

Проверка герметичности трубопровода подразделяется на два этапа: предварительный и основной. Предварительная проверка, осуществляемая при максимальном давлении 20 бар и испытательном давлении в пределах 1,0...1,5 бар, носит характер первичной оценки. Основная проверка, выполняемая при максимальном давлении до 250 мбар и испытательном давлении 0,1...0,3 мбар, обеспечивает точное определение герметичности трубопровода.

1. Необходимо зафиксировать основные параметры экспериментальной установки и факторы окружающей среды, в которых проводились испытания:

- диаметр исследуемого участка трубопровода D в миллиметрах;
- длина исследуемого участка трубопровода L в метрах;
- температура окружающего воздуха t_v в градусах Цельсия;
- давление окружающей среды $P_{атм}$ в паскалях.

2. Необходимо собрать экспериментальную установку в соответствии с предоставленной схемой (рис. 3.1), при этом в качестве датчика давления 8 следует использовать сенсор высокого давления.

3. С помощью насоса (воздушного компрессора) необходимо создать заданное давление в трубопроводе и закрыть вентиль.

4. После включения прибора ППГ-01 необходимо провести предварительную проверку герметичности трубопровода.

3.5. Результаты предварительных испытаний (при 1,0...1,5 бар)

Время ведения проверки τ , мин	Давление P , бар	Температура t , °C
0		
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

Проверка герметичности рабочего участка трубопровода с использованием прибора ППГ-01 осуществляется в два этапа: начальный (не менее 10 мин) и основной. В ходе проведения обоих этапов необходимо зафиксировать показания давления, температуры и времени. Полученные значения записать в табл. 3.5.

Выбор параметров прибора: «GASLEITUNG» / «Газопровод» (тип трубопровода) → «PROJEKT NUMMER» / «Номер проекта» → → «VORPRÜFUNG» / «Предварительная проверка» (тип проверки) → → «P-SOLL: 000,0 bar» (задать конечное давление) → «TIME-SOLL: 00:00» (задать время проверки) → «PASTER 0,5 min» (выбрать время опроса каналов измерения) → «STARTPHASE» (запуск начального этапа проверки) → «ENDE STARTPHASE» (окончание начального этапа проверки) → «PRÜFFHASE» (запуск основного этапа проверки) → «ENDE PRÜFFHASE» (окончание основного этапа проверки).

5. Установить в качестве датчика давления сенсор низкого давления.

6. Создать требуемое давление в трубопроводе с помощью насоса низкого давления («груши») и закрыть вентиль.

7. Включить прибор ППГ-01 и приступить к точной проверке трубопровода на герметичность.

3.6. Результаты точных испытаний (при 0,1...0,3 мбар)

Время ведения проверки τ , мин	Давление P , бар	Температура t , °C
0		
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

В процессе выполнения начального и основного этапов точной проверки необходимо фиксировать значения давления, температуры и времени. Полученные значения записать в табл. 3.6.

Выбор параметров прибора: «GASLEITUNG» / «Газопровод» (тип трубопровода) → «PROJEKT NUMMER» / «Номер проекта» → «HAUPTPRÜFUNG» / «Основная проверка» (тип проверки) → «P-SOLL: 000,0 bar» (задать конечное давление) → «TIME-SOLL: 00:00» (задать время проверки) → «PASTER 0,5 min» (выбрать время опроса каналов измерения) → «ERDGAS» / «Природный газ» (выбрать рабочее тело) → «STARTPHASE» (запуск начального этапа проверки) → «ENDE STARTPHASE» (окончание начального этапа проверки) → «PRÜFPHASE» (запуск основного этапа проверки) → «ENDE PRÜFPHASE» (окончание основного этапа проверки).

8. Выключить прибор ППГ-01.

По завершении предварительных и точных проверок состояния трубопровода, а также внесения результатов этих проверок в предусмотренные для этого таблицы пневматическое испытание может считаться успешно пройденным.

Обработка результатов

На основании данных испытаний требуется построение графиков, демонстрирующих зависимость изменения давления ΔP и температуры t от времени.

Необходимо провести анализ полученных результатов проверки герметичности участка трубопровода в ходе пневматических испытаний сжатым воздухом, а также сопоставить их с требованиями, установленными в соответствующей нормативно-технической документации.

Содержание отчета

1. Краткое описание целей и задач исследования.
2. Краткое описание лабораторной установки и методики эксперимента.
3. Таблицы результатов испытаний.
4. Графики изменения давления и температуры от времени.
5. Анализ результатов испытания и выводы.

Контрольные вопросы

1. Какие виды испытаний трубопроводов вы знаете?
2. Порядок пневматических испытаний?
3. Какое давление называется испытательным на герметичность и прочность?
4. Из каких элементов состоит лабораторная установка?
5. Как работает прибор ППГ-01?
6. Как проводится основная проверка герметичности трубопровода?
7. Для чего проводится предварительная проверка герметичности трубопровода?
8. Когда результаты испытания считаются удовлетворительными?

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. **Правила** устройства и безопасной эксплуатации технологических трубопроводов. (ПБ 03-585-03). Серия 03. Вып. 25 / А. И. Субботин, А. Л. Шаталов, Л. Н. Ганышша и др. – М. : Открытое акционерное общество «Научно-технический центр по безопасности в промышленности», 2004. – 152 с.

2. **Кедров, В. С.** Санитарно-техническое оборудование зданий / В. С. Кедров, Е. Н. Ловцов. – М. : Стройиздат, 1989 – 495 с.

3. **Майникова, Н. Ф.** Котельные установки и парогенераторы [Электронный ресурс] : учебное пособие / Н. Ф. Майникова, О. Н. Попов. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2021 – Ч. 2. – 80 с.

4. **ГОСТ 14202–69.** Трубопроводы промышленных предприятий. Опознавательная окраска, предупреждающие знаки и маркировочные щитки: национальный стандарт Российской Федерации : дата введения 1971-01-01 / Комитет стандартов, мер и измерительных приборов при Совете Министров СССР. – Изд. офиц. – М. : Стандартиформ, 2004. – 16 с.

5. **СП 36.13330.2012.** Магистральные трубопроводы : национальный стандарт Российской Федерации : дата введения 2013-07-01 / ОАО «ВНИИСТ», ОАО «АК «Транснефть», ООО «Газпром ВНИИГАЗ», ООО «НИИ ТНН» и ОАО «Гипротрубопровод». – Изд. офиц. – М. : Стандартиформ, 2013. – 60 с.

6. **Пневматические испытания** участка трубопровода : метод. разработка / сост. : Е. В. Кариб, И. В. Рогов, А. А. Балашов, Н. Ю. Тужилина. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та. 2009 – 16 с.

7. **ГОСТ 356–80.** Арматура и детали трубопроводов. Давления условные, пробные и рабочие. Ряды : национальный стандарт Российской Федерации : дата введения 2011-01-01 / Межгосударственный Совет по стандартизации, метрологии и сертификации. – Изд. офиц. – М. : Стандартиформ, 2011. – 22 с.

8. **ГОСТ 32569–2013.** Трубопроводы технологические стальные. Требования к устройству и эксплуатации на взрывопожароопасных и химически опасных производствах : национальный стандарт Российской Федерации : дата введения 2015-01-01 / Межгосударственный Совет по стандартизации, метрологии и сертификации. – Изд. офиц. – М. : Стандартиформ, 2015 – 137 с.

Учебное электронное издание

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ЭНЕРГОНОСИТЕЛИ

Методические указания

Составители:

ПОПОВ Олег Николаевич
РОГОВ Иван Владимирович

Редактор Л. В. Комбарова
Графический и мультимедийный дизайнер Т. Ю. Зотова
Обложка, упаковка, тиражирование Л. В. Комбаровой

Подписано к использованию 24.03.2025.

Тираж 50 шт. Заказ № 47

Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ»
392000, г. Тамбов, ул. Советская, д. 106, к. 14.
Тел./факс (4752) 63-81-08.
E-mail: izdatelstvo@tstu.ru