

Р.И. Тавастшерна

**Изготовление и монтаж
технологических
трубопроводов**

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 528
ББК 38.2
Р11

P11 **Р.И. Тавастшерна**
Изготовление и монтаж технологических трубопроводов / Р.И. Тавастшерна –
М.: Книга по Требованию, 2024. – 287 с.

ISBN 978-5-458-31363-6

В учебном пособии содержатся сведения о назначении и условиях работы технологических трубопроводов, приводятся их характеристики и классификация. Рассмотрены материалы и изделия, применяемые для изготовления технологических трубопроводов: трубы из углеродистой и легированной сталей, стальные, чугунные, из цветных металлов и сплавов и др. В книге изложены обработка и испытание труб, подготовка трубопроводной арматуры и сварка трубопроводов. Отражены особенности изготовления трубопроводов высокого давления. Подробно рассмотрены индустриальные методы изготовления трубопроводов и вопросы их монтажа. Описаны инструменты, приспособления и механизмы, применяемые при монтаже. Книга предназначена в качестве учебного пособия для учащихся профессионально-технических училищ. Она может быть использована для индивидуального и бригадного обучения рабочих на производстве.

ISBN 978-5-458-31363-6

© Издание на русском языке, оформление

«YOYO Media», 2024

© Издание на русском языке, оцифровка,

«Книга по Требованию», 2024

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, кляксы, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первозданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.

РАЗДЕЛ ПЕРВЫЙ

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ТРУБОПРОВОДАХ

Глава I. НАЗНАЧЕНИЕ ТРУБОПРОВОДОВ

§ 1. Условия работы трубопроводов

Трубопроводами называются устройства, которые служат для транспортирования жидких, газообразных и сыпучих веществ. Трубопроводы состоят из соединенных между собой прямых участков труб, деталей трубопроводов, запорно-регулирующей арматуры, контрольно-измерительных приборов, средств автоматики, опор и подвесок, крепежных материалов (болтов, шпилек, гаек), прокладок и уплотнений.

Технологическими трубопроводами называются такие трубопроводы промышленных предприятий, по которым транспортируются сырье, полуфабрикаты и готовые продукты, пар, вода, топливо, реагенты и другие материалы, обеспечивающие ведение технологического процесса и эксплуатацию оборудования; отработанные реагенты и газы, различные промежуточные продукты, полученные и использованные в технологическом процессе.

В проектной документации и технической литературе принятые следующие названия отдельных составляющих трубопровода:

Линия — участок трубопровода, соединяющий между собой аппараты, установки, цехи и другие линии с аппаратами, установками, цехами.

Узел — часть линии трубопровода, состоящая из нескольких элементов, собранных между собой из разъемных и неразъемных соединениях.

Узлы подразделяются на:

плоские, состоящие из нескольких элементов, расположенных в одной плоскости;

пространственные, состоящие из нескольких элементов, расположенных в двух и более плоскостях.

Элемент — часть узла трубопровода, подлежащая самостоятельному изготовлению; она состоит из гнутых участков или прямых отрезков труб и деталей, все стыки которых выполнены с помощью автоматической сварки.

Деталь — элементарная часть трубопровода, не имеющая соединений, например отвод, фланец, отрезок трубы, тройник, заглушка, переход, а также отдельные изделия, входящие в конструкцию трубопровода — метизы, компенсаторы, арматура, опоры, подвески и др.

Блок — линия или часть линии трубопровода, состоящая из узлов, собранных на разъемных и неразъемных соединениях. Укрупнение узлов в блоки производят перед монтажом.

Секция — одноосный узел, состоящий из нескольких сваренных между собой труб одного диаметра, ось которых составляет одну прямую линию.

Плеть — несколько сваренных между собой секций (сварка секций в плеть производится на месте прокладки трубопровода).

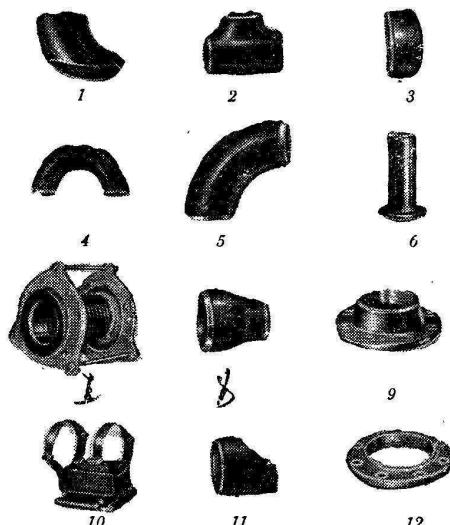


Рис. 1. Детали стальных трубопроводов:
1 — ответвление, 2 — штампованый тройник, 3 — заглушка отбортованная, 4 — отвод 180°, 5 — отвод круглоизогнутый 90°, 6 — отбортованный патрубок, 7 — волнистый компенсатор, 8 — переход концентрический, 9 — фланец приварной встык, 10 — опора трубопровода, 11 — переход эксцентрический, 12 — фланец плоский приварной

рации обвязки аппаратов и оборудования, большим количеством разъемных и неразъемных соединений, трубопроводной арматуры, деталей (рис. 1), компенсаторов, контрольно-измерительных приборов, средств автоматики и опорных конструкций.

В зависимости от назначения, условий работы и требований к коррозийной стойкости трубопроводы выполняют из различных материалов: углеродистой и легированной сталей, чугуна, биметаллов, цветных металлов и их сплавов (алюминия, меди, свинца, титана), неметаллических материалов (винилпластика, полиэтилена, полипропилена, фторопластика, текстолита, фарфора, асбестоцемента, антигимита), а также из стальных труб с внутренним покрытием полиэтиленом, винилпластом, стеклом, резиной, эмалью.

Сложность и трудоемкость изготовления и монтажа технологических трубопроводов определяются:

характером транспортируемых сред и продуктов (вода, пар, нефть, нефтепродукты, газ, спирты, кислоты, щелочи, твердые сыпучие вещества);

разнообразием рабочих условий: температура от -200°C до $+1500^{\circ}\text{C}$ и выше и давление от вакуума — 35 мм рт. ст. до 1800 кгс/см² и выше;

расположением трубопроводов: в траншеях, каналах, лотках на стойках, эстакадах, этажерках, на технологическом оборудовании, а также на разных высотах и часто в условиях, неудобных для производства работ;

сложностью конфигурации

большим количеством разъемных и неразъемных соединений, трубопроводной арматуры, деталей (рис. 1), компенсаторов, контрольно-измерительных приборов, средств автоматики и опорных конструкций.

1. Какие трубопроводы относятся к технологическим?
2. Чем определяется сложность и трудоемкость изготовления и монтажа трубопроводов?
3. Какие материалы и соединительные детали применяют при монтаже трубопроводов?

§ 2. Условные проходы и давления

Основной характеристикой трубопровода является диаметр и толщина стенки труб, из которых он изготовлен. Каждая труба имеет два диаметра: внутренний $D_{\text{вн}}$ и наружный $D_{\text{н}}$. Между внутренним и наружным диаметрами труб имеется следующая зависимость:

$$D_{\text{вн}} = D_{\text{н}} - 2S,$$

где S — толщина стенки трубы.

При изменении толщины стенки изменяется внутренний диаметр трубы, при этом наружный диаметр трубы остается постоянным, так как его изменение неизбежно вызывает изменение размеров присоединяемых арматуры и фитингов.

Чтобы сохранить для всех элементов трубопровода (труб арматуры и соединительных частей) значение проходного сечения, обеспечивающее расчетные условия для прохода жидкости, пара или газа, введено понятие об *условном* (указательном) *проходе*. Под условным проходом труб, арматуры и соединительных деталей понимают средний внутренний диаметр труб (в свету), который соответствует одному или нескольким наружным диаметрам труб. Условный проход обозначают буквами D_y с добавлением величины условного прохода в миллиметрах: например, условный проход 150 мм обозначают — D_y 150 мм . Истинный внутренний диаметр труб обычно не равен и не соответствует (за редким совпадением) диаметру условного прохода. Так, например, у труб с наружным диаметром 159 мм при толщине стенки 8 мм истинный внутренний диаметр составляет 143 мм , а при толщине стенки 5 мм — 149 мм , однако в обоих случаях условный проход принимается равным 150 мм .

Величины условных проходов труб, арматуры, соединительных частей, а также всех деталей технологического оборудования приборов, к которым присоединяют трубы или арматуру, установлены ГОСТом 355—52. Эти величины имеют следующий порядок: 1; 1,5; 2; 2,5; 3; 4; 6; 8; 10; 13; 15; 20; 25; 32; 40; 50; 60; 70; 80; 100; 125; 150; 175; 200; 225; 250; 275; 300; 325; 350; 375; 400; 450; 500; 600; 700; 800; 900; 1000 мм и т. д.

Толщину стенки труб и деталей трубопроводов выбирают в зависимости от наибольшего давления среды (газа или жидкости), транспортируемой по трубопроводу, от ее температуры и механических свойств металла труб.

Как известно, механическая прочность металла труб, соединительных частей и арматуры с повышением температуры изменяется. Для увязки давления и температуры среды, протекающих по трубопроводу, введено понятие «условное давление», которое обозначается буквами P_y .

Условным давлением P_y называется давление, на которое рассчитана труба, арматура или соединительная часть трубопровода при температуре рабочего продукта от 0° до 120°C, условно принятое за основное при определении допустимых наибольших рабочих давлений.

Рабочим давлением $P_{\text{раб}}$ называется номинальное (фактическое) давление транспортируемой среды в трубопроводе при его эксплуатации. Для труб, арматуры и соединительных деталей из стали при температуре продукта от 0° до 200°C, а также для труб, арматуры и соединительных частей из меди, бронзы и латуни при температуре продукта от 0° до 120°C условное давление равно рабочему ($P_y = P_{\text{раб}}$). При более высоких температурах рабочее давление менее условного ($P_y > P_{\text{раб}}$).

Пробным давлением $P_{\text{пр}}$ называется избыточное давление, под которым трубы, арматура и соединительные части трубопроводов должны быть испытаны на прочность и плотность.

Производство гидравлических испытаний пробным давлением необходимо для проверки надежности работы трубопровода в условиях эксплуатации, поэтому пробное давление всегда выше рабочего и условного давления в 1,25—1,5 раза. Для труб, арматуры и соединительных частей трубопроводов из стали, чугуна, бронзы и латуни в зависимости от температуры транспортируемого продукта установлен следующий ряд условных давлений в $\text{кгс}/\text{см}^2$: 1; 2,5; 4; 6; 10; 16; 25; 40; 64; 100; 160; 200; 250; 320; 400; 500; 640; 800 и 1000.

1. Что такое условный проход трубопровода?
2. Что такое условное, рабочее и пробное давление и в чем их различие?

§ 3. Основы расчета трубопроводов

Внутренний (расчетный) диаметр трубопровода при заданном расходе жидкости и скорости ее протекания в трубопроводе определяют по формуле:

$$D_{\text{вн}} = \sqrt{\frac{4Q}{3600v\pi\gamma}} \text{ м,}$$

где Q — расход жидкости, $\text{м}^3/\text{ч}$;

v — скорость течения продукта в трубопроводе, $\text{м}/\text{сек}$;

γ — удельный вес продукта при заданных параметрах, $\text{кг}/\text{м}^3$ (принимается по справочникам).

Скорости движения различных газов и жидкостей, определенные расчетами и подтвержденные многочисленными практическими опытами, принимают следующие:

для воды и маловязких жидкостей (спирт, ацетон, бензин, слабые растворы кислот и щелочей) — от 15 до 30 м/сек;

для сжатого воздуха и насыщенного пара — от 20 до 40 м/сек;
для перегретого пара и газов высокого давления — от 30 до 60 м/сек.

Из вышеприведенной формулы следует, что чем выше скорость течения продукта, тем меньше должно быть проходное сечение трубопровода, а значит тем ниже будут затраты на его сооружение.

При движении продукта по трубопроводу возникает сопротивление от трения его о стенки трубы и различные преграды. Это сопротивление, называемое *гидравлическим сопротивлением* трубопровода, тем больше, чем выше скорость потока и его плотность. Внутренний диаметр трубопровода может быть определен по заданию потери давления (напора) в трубопроводе по следующей упрощенной формуле:

$$D_{\text{вн}} = \xi \frac{L}{\Delta p} \cdot \frac{\gamma \cdot v}{2g} \text{ кгс/см}^2,$$

где $\Delta p = P_1 - P_2$ — допускаемая или заданная потеря давления между начальными и конечными участками трубопровода, кгс/см²;

ξ — коэффициент гидравлического сопротивления для гладких труб, изменяющийся в пределах 0,02—0,04;

L — длина трубопровода, м;

g — ускорение силы тяжести, равное 9,81 м/сек.

Потерю давления в фасонных частях и арматуре с достаточной практической точностью определяют по потере давления в прямой трубе с соответствующим диаметром условного прохода и эквивалентной (равнозначной) длиной. *Эквивалентной длиной* называется длина прямой трубы, гидравлическое сопротивление которой равно сопротивлению фасонной части при всех прочих равных условиях. Так, например, сопротивление сварного секционного отвода $D_y=150$ эквивалентно сопротивлению прямого участка трубы длиной 29 м, сопротивление проходного вентиля $D_y=150$ равно сопротивлению прямого участка длиной 50 м.

При проектировании трубопровода помимо гидравлического расчета, которым определяется диаметр трубы, производится расчет труб на прочность для определения толщины стенки. Толщина стенки трубы зависит от внутреннего или наружного избыточного давления, диаметра трубы и материала, из которого она изготовлена, температуры продукта, коррозийной стойкости и металла трубы. Большинство технологических трубопрово-

дов работает под действием внутреннего давления. Внешнему давлению подвергаются вакуумные трубопроводы и материальные трубопроводы с рубашками для обогрева паром кристаллизирующихся или легко застывающих продуктов.

Толщину стенок стальных труб, работающих под действием внутреннего избыточного давления, определяют расчетом на прочность и прибавкой толщины на износ от коррозии. При этом пользуются формулой:

$$S = S_p + C,$$

где S_p — расчетная толщина стенки, $мм$;

C — прибавка к расчетной толщине на коррозию, $мм$
(для среднеагрессивных сред 2—5 $мм$).

Расчетная толщина стенки

$$S_p = \frac{pD_n}{230\sigma_{\text{доп}} + P} \text{ } мм,$$

где p — внутреннее избыточное давление в трубопроводе, $кгс/см^2$;

D_n — наружный диаметр трубы, $мм$;

$\sigma_{\text{доп}}$ — допускаемое напряжение на разрыв, $кгс/мм^2$ (определяется по справочникам в зависимости от марки стали трубы и температуры транспортируемого продукта);

φ — коэффициент прочности шва. Для бесшовных труб $\varphi = 1$, для электросварных труб $\varphi = 0,6—0,8$ в зависимости от вида сварки и типа сварного шва.

При изготовлении и монтаже трубопроводов, а также его ремонте нельзя допускать установки отдельных случайных вставок, деталей из неизвестного или непроверенного материала, так как это может вызвать тяжелую аварию.

1. Что такое гидравлическое сопротивление?
2. Как определить расчетный диаметр труб?
3. Как определить толщину стенки стальных труб, работающих под действием внутреннего давления?
4. Как определяется потеря давления в фасонных частях и арматуре при расчете?

Глава II. КЛАССИФИКАЦИЯ ТРУБОПРОВОДОВ

§ 4. Виды трубопроводов

Технологические трубопроводы в зависимости от давления транспортируемой среды различают: вакуумные (ниже 1 $кгс/см^2$), низкого давления (от 1 до 15 $кгс/см^2$), среднего давления (от 16 до 100 $кгс/см^2$), высокого давления (свыше 100 $кгс/см^2$) и безнапорные, т. е. работающие без избыточного давления.

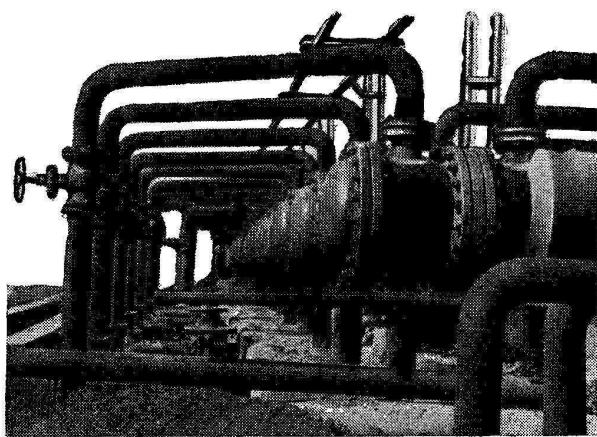


Рис. 2. Внутрицеховые трубопроводы

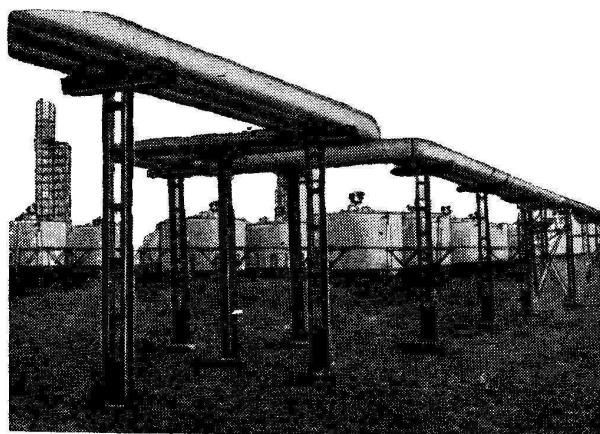


Рис. 3. Межцеховые трубопроводы

По роду транспортируемых продуктов технологические трубопроводы делятся на газопроводы, водопроводы, паропроводы, кислотопроводы, щелочепроводы, маслопроводы, бензопроводы, нефтепроводы, рассолопроводы и др. Газопроводы, в свою очередь, подразделяются на воздушные (воздухопроводы), ацетиленовые, кислородные, аммиачные, хлорные.

Транспортируемые по трубопроводам продукты по степени агрессивности разделяются на следующие:

неагрессивные и малоагрессивные, вызывающие коррозию, скорость которой не превышает 0,1 *мм* в год;

среднеагрессивные, вызывающие коррозию, скорость которой находится в пределах от 0,1 до 0,5 *мм* в год;

высокоагрессивные, вызывающие коррозию, скорость которой выше 0,5 *мм* в год.

Для трубопроводов, транспортирующих среднеагрессивные продукты применяют трубы из углеродистой стали с повышенной толщиной стенки с учетом прибавки на коррозию (2—5 *мм*). Для трубопроводов, транспортирующих высокоагрессивные продукты, в зависимости от их свойств используют трубы из высоколегированных сталей, биметаллические, из цветных металлов, неметаллические и футерованные внутри коррозионностойкими материалами.

Технологические трубопроводы в зависимости от места их расположения разделяются на внутрицеховые (рис. 2), соединяющие между собой отдельные аппараты и машины в пределах одной установки, цеха и межцеховые (рис. 3), соединяющие между собой отдельные установки, цеха.

Внутрицеховые трубопроводы в практике получили название «обвязочные трубопроводы».

1. Какие встречаются виды технологических трубопроводов в зависимости от давления?
2. Назовите виды технологических трубопроводов в зависимости от рода транспортируемого продукта?
3. Какие встречаются виды технологических трубопроводов в зависимости от степени агрессивности транспортируемой среды?
4. Какие бывают виды технологических трубопроводов в зависимости от места их расположения?

§ 5. Группы и категории трубопроводов

Изготовление и монтаж технологических трубопроводов осуществляют в соответствии со «Строительными нормами и правилами. Технологические трубопроводы. Правила производства и приемки работ» (СНиП III-Г.9—62).

Указанными нормами и правилами все технологические трубопроводы делятся на пять групп и категорий (табл. 1).

Таблица 1

Классификация технологических трубопроводов

Наименование среды	Рабочее давление, kgf/cm^2	Категории					Рабочее давление, kgf/cm^2	Температура, $^{\circ}\text{C}$	Рабочее давление, kgf/cm^2	Температура, $^{\circ}\text{C}$
		I	II	III	IV	V				
A Продукты с токсическими свойствами: а) сильно действующие ядовитые вещества (СДЯВ) и дымящиеся кислоты	От -70 до 700 От -70 до 700	—	От -70 до 350	—	—	—	—	—	—	—
б) прочие продукты с токсическими свойствами	Независимо Свыше 16	До 16	До 16	—	—	—	—	—	—	—
B Горючие и активные газы, легковоспламеняющиеся и горючие жидкости	От 350 до 700	От 25 до 64	От 25 до 350 и от -70 до 0	От 16 до 250 и от -70 до 0	От 120 до 250 и от -70 до 0	От 16 до 120	От 70 до 120	—	—	—
V Перегретый водяной пар	От 450 до 660	До 39	От 350 до 450	До 22	От 250 до 350	До 16	От 120 до 250	—	—	—
Г Горячая вода и насыщенный водяной пар	Свыше 184	Свыше 120	От 80 до 184	Свыше 16—80	Свыше 120	От 2 до 16	Свыше 120	—	—	—
Д Негорючие жидкости и пары, инертные газы	Независимо и	От 450 до 700	От 64 до 100 и от -70 до 0	25—64 и от -70 до 0	От 250 до 350 и от -70 до 0	До 25	От 120 до 250 и от -70 до 0	До 16 и от -70 до 0	От 0 до 16 и от -70 до 0	—

Таблица 2
Категории трубопроводов для пара и горячей воды

Категория трубопровода	Среда	Рабочие параметры теплоносителя	
		давление избыточное, kgs/cm^2	температура среды, $^{\circ}\text{C}$
I	а) перегретый пар	Независимо	Свыше 610 до 660
	б) то же	«	Свыше 570 до 610
	в) «	«	Свыше 450 до 570
	г) горячая вода, насыщенный пар	Свыше 184	Свыше 120
II	а) перегретый пар	До 39	Свыше 350 до 450
	б) горячая вода, насыщенный пар	Свыше 80 до 184	Свыше 120
III	а) перегретый пар	До 22	Свыше 250 до 350
	б) горячая вода, насыщенный пар	Свыше 16 до 80	Свыше 120
IV	Перегретый и насыщенный пар, горячая вода	1—16	Свыше 120 до 250

Категория трубопровода обычно устанавливается проектом. Если сочетание параметров трубопровода не укладывается в показатели табл. 1, то его категорию определяют по тому параметру, который требует отнесения трубопровода к наиболее высокой категории.

Трубопроводы, работающие под вакуумом, равным 35 мм рт. ст. и ниже, классифицируют по таблице по свойствам и температуре среды, а более 35 мм рт. ст. — по специальным техническим условиям.

Технологические трубопроводы, предназначенные для транспортирования пара с избыточным давлением выше 1 kgs/cm^2 и горячей воды при температуре 120°С, необходимо изготавливать и эксплуатировать по техническим условиям и нормам, утвержденным «Правилами устройства и безопасной эксплуатации трубопроводов пара и горячей воды» Госгортехнадзора.

В соответствии с этими правилами и в зависимости от рабочих параметров (давления и температуры) транспортируемой среды, все трубопроводы делятся на четыре категории, которые приведены в табл. 2.