



**Промышленные трубопроводные системы**  
Справочник инженера

# **Промышленные трубопроводные системы**

Справочник инженера

## Содержание

<b>Вступление.</b> . . . . .	<b>8</b>
<b>Сегменты рынка</b> . . . . .	<b>10</b>
<b>Физико-химические свойства полимеров.</b> . . . . .	<b>17</b>
1.1. Разработка, классификация и производство полимеров . . . . .	18
1.1.1. Разработка полимеров . . . . .	18
1.1.2. Структура и характеристики полимеров . . . . .	18
▶ Мономеры и полимеры . . . . .	19
1.1.3. Реактопласты, эластомеры и термопласты. . . . .	20
▶ Реактопласты (термореактивные полимеры) . . . . .	20
▶ Механические свойства реактопластов . . . . .	20
▶ Эластомеры . . . . .	21
▶ Механические свойства эластомеров . . . . .	21
▶ Термопласты . . . . .	22
▶ Аморфные термопласты . . . . .	22
▶ Механические свойства аморфных термопластов. . . . .	23
▶ Полукристаллические термопласты. . . . .	23
▶ Механические свойства полукристаллических термопластов . . . . .	24
▶ Типы разрушения термопластов . . . . .	24
1.1.4. Обзор физических свойств термопластов . . . . .	25
1.1.5. Преимущества полимеров перед металлами . . . . .	28
1.1.6. Полимеры и окружающая среда . . . . .	30
▶ Энергосбережение . . . . .	30
▶ Результаты . . . . .	30
1.1.7. Методы производства полимеров . . . . .	31
▶ Полимеризация. . . . .	31
1.1.8. Методы производства изделий из полимеров . . . . .	33
▶ Литьё под давлением . . . . .	33
▶ Экструзия . . . . .	34
▶ 3D-печать . . . . .	35
▶ Компрессионное формование . . . . .	35
1.2. Виниловые и стирольные полимеры . . . . .	36
1.2.1. Поливинилхлориды (ПВХ) . . . . .	36
1.2.2. Поливинилхлорид непластифицированный (НПВХ) . . . . .	36
1.2.3. Поливинилхлорид хлорированный (ХПВХ) . . . . .	38
1.2.4. Акрилонитрил бутадиен стирол (АБС) . . . . .	39
1.3. Полиолефины и фторированные полимеры . . . . .	42
1.3.1. Полиэтилены (ПЭ) . . . . .	42
1.3.2. Полипропилены (ПП) . . . . .	45
▶ Гомополимер полипропилена (PP-H) . . . . .	48
▶ Блок-сополимер полипропилена (PP-B) . . . . .	48
▶ Статистический сополимер полипропилена (PP-R) . . . . .	48
▶ Полипропилен электропроводящий (PP-EL) . . . . .	48
1.4. Поливинилидендифторид (ПВДФ) . . . . .	49
1.5. Каучуки . . . . .	51
1.5.1. Акрилонитрилбутадиен (NBR) . . . . .	52
1.5.2. Этиленпропилендиеновый каучук (EPDM). . . . .	52
1.5.3. Фторэластомер (FKM) . . . . .	53
1.5.4. Перфторэластомер (FFKM/FFPM) . . . . .	54
1.5.5. Политетрафторэтилен (ПТФЭ) . . . . .	55
1.6. Смолы. Компаунды. Добавки . . . . .	56
1.6.1. Смолы . . . . .	56
1.6.2. Компаунды . . . . .	56
1.6.3. Добавки . . . . .	56

1.7. Испытания полимеров . . . . .	.57
1.7.1. Механические испытания. . . . .	.57
▶ Испытания по методу Изода . . . . .	.57
▶ Испытания по методу Шарпи . . . . .	.57
▶ Предел прочности (текучести) при растяжении. . . . .	.58
1.7.2. Реологические испытания . . . . .	.59
▶ Испытание на показатель текучести расплава. . . . .	.59
1.7.3. Тепловые испытания . . . . .	.59
▶ Деформационная теплостойкость . . . . .	.59
▶ Теплостойкость по Вика . . . . .	.59
1.8. Маркировка труб и фитингов . . . . .	.60
1.8.1. Минимальные требования к маркировке труб. . . . .	.60
1.8.2. Минимальные требования к маркировке фитингов . . . . .	.61
1.8.3. Минимальные требования к маркировке запорной арматуры. . . . .	.61
1.9. Долговременная прочность и долговременные свойства . . . . .	.62
1.9.1. Термины, связанные с долговременными свойствами . . . . .	.62
1.9.2. Долговременные свойства НПВХ . . . . .	.63
1.9.3. Долговременные свойства ХПВХ . . . . .	.63
1.9.4. Долговременные свойства АБС . . . . .	.64
1.9.5. Долговременные свойства ПП. . . . .	.64
1.9.6. Долговременные свойства ПЭ. . . . .	.65
1.9.7. Долговременные свойства ПВДФ. . . . .	.66
1.9.8. Расчёт срока службы при переменной нагрузке . . . . .	.66
1.10. Модуль ползучести . . . . .	.68
<b>Проектирование трубопроводных систем . . . . .</b>	<b>.73</b>
2.1. Обозначения условные, аббревиатуры, единицы измерения, таблицы пересчёта. . . . .	.74
2.1.1. Обозначения условные графические . . . . .	.74
2.1.2. Аббревиатуры. . . . .	.74
2.2. Выбор материала . . . . .	.78
2.3. Химическая стойкость . . . . .	.79
2.4. Выбор диаметров и гидравлические расчёты. . . . .	.82
2.4.1. Конструкция трубы . . . . .	.82
▶ Расчёт нагрузки на основе минимальной длительной прочности . . . . .	.82
▶ Расчёт номинального давления . . . . .	.83
▶ Расчёт стандартного размерного соотношения . . . . .	.83
▶ Расчёт серии трубы . . . . .	.84
▶ Расчёт толщины стенки. . . . .	.84
2.4.2. Диаграммы давления – температуры . . . . .	.88
▶ Диаграммы максимально допустимых значений давления – температуры . . . . .	.88
▶ Диаграммы номинальных значений давления – температуры (трубы) . . . . .	.95
▶ Диаграммы номинальных значений давления – температуры (фитинги, запорная арматура) . . . . .	.99
2.4.3. Гидравлические расчёты . . . . .	.100
▶ Расчёт распределённых потерь напора . . . . .	.101
▶ Формула Дарси – Вейсбаха . . . . .	.101
▶ Формула Хазена – Уильямса . . . . .	.103
▶ Расчёт локальных потерь напора . . . . .	.105
2.4.4. Выбор клапанов и регулирование расхода . . . . .	.110
2.4.5. Пульсации давления . . . . .	.115
▶ Явление гидроудара . . . . .	.115
▶ Кавитация . . . . .	.118



2.5. Особенности подбора запорной арматуры . . . . .	120
2.5.1. Характеристики перекачиваемой среды . . . . .	120
2.5.2. Механические нагрузки и вибрация . . . . .	121
▶ Система DUAL BLOCK® . . . . .	121
▶ Система DIALOCK® . . . . .	122
▶ Система SEAT STOP® . . . . .	122
▶ Шток из нержавеющей стали 316 . . . . .	123
2.5.3. Безопасность . . . . .	123
▶ Система маркировки LCE EASY FIT® . . . . .	123
▶ Двойное уплотнение штока . . . . .	124
▶ Система DUAL BLOCK® . . . . .	124
2.5.4. Несанкционированный доступ . . . . .	124
▶ Система DIALOCK® . . . . .	124
2.5.5. Простой монтаж . . . . .	125
▶ Система EASY FIT® . . . . .	125
2.5.6. Точное регулирование . . . . .	126
▶ Кран модели VKR DUAL BLOCK® . . . . .	126
2.6. Удаление газов из трубопровода . . . . .	126
2.6.1. Воздух в трубопроводной системе: источники и причины . . . . .	126
2.6.2. Удаление захваченного системой воздуха . . . . .	127
2.7. Проектирование вакуумных систем . . . . .	128
2.8. Проектирование систем для сжатого воздуха . . . . .	128
▶ Что такое сжатый воздух? . . . . .	128
▶ Системы подачи сжатого воздуха . . . . .	129
2.9. Методика подбора расходомеров . . . . .	131
2.9.1. Типы расходомеров . . . . .	131
▶ Датчики расхода погружного типа . . . . .	131
▶ Линейные датчики расхода . . . . .	133
▶ Расходомеры постоянного перепада давления (ротаметры) . . . . .	134
2.9.2. Монтаж расходомеров . . . . .	135
▶ Датчики расхода погружного типа . . . . .	135
▶ Линейные датчики расхода . . . . .	136
▶ Ротаметры . . . . .	136
2.10. Выбор датчиков pH и ОВП . . . . .	139
2.10.1. Устройство датчиков pH и ОВП . . . . .	139
▶ Измерение pH . . . . .	139
▶ Влияние температуры на значение pH . . . . .	141
▶ Измерение окислительно-восстановительного потенциала (ОВП) . . . . .	142
▶ Электроды pH/ОВП . . . . .	142
2.10.2. Монтаж датчиков pH и ОВП . . . . .	143
▶ Рекомендации по установке . . . . .	144
▶ Руководство по эксплуатации . . . . .	144
2.11. Выбор датчика электропроводности . . . . .	146
2.11.1. Конструкция датчиков электропроводности . . . . .	146
▶ Измерение электропроводности . . . . .	146
▶ Электроды датчиков электропроводности . . . . .	147
2.11.2. Монтаж датчиков электропроводности . . . . .	149
▶ Рекомендации по установке . . . . .	149
▶ Руководство по эксплуатации . . . . .	149

<b>Рекомендации по монтажу</b> . . . . .	<b>153</b>
3.1. Способы соединения . . . . .	154
3.1.1. Холодная сварка (сварка растворителем) . . . . .	155
▶ Монтаж трубопроводных систем из НПВХ . . . . .	155
▶ Монтаж трубопроводных систем из ХПВХ . . . . .	159
▶ Монтаж трубопроводных систем из АБС . . . . .	162
3.1.2. Сварка встык . . . . .	167
3.1.3. Сварка в раструб . . . . .	173
3.1.4. Электрофузионная (электромуфтовая) сварка . . . . .	178
3.1.5. Сварка горячим воздухом (газом) . . . . .	182
3.1.6. Фланцевые соединения . . . . .	185
3.1.7. Резьбовые соединения . . . . .	190
3.1.8. Разъёмные соединения с помощью муфт Straub . . . . .	194
3.2. Рекомендации по монтажу трубопроводных систем . . . . .	202
3.2.1. Тепловое расширение и сжатие . . . . .	202
▶ Механические компенсаторы . . . . .	203
▶ Гибкие секции . . . . .	207
▶ Компенсационные петли и изменение направления . . . . .	207
3.2.2. Тепловой контроль . . . . .	209
3.2.3. Крепление труб . . . . .	211
▶ Опоры и удерживающие устройства для труб . . . . .	212
▶ Таблицы и графики . . . . .	214
3.2.4. Подземный монтаж трубопроводов (заглублённая установка) . . . . .	223
3.3. Полевые испытания трубопровода . . . . .	227
3.4. Хранение, транспортировка и обращение . . . . .	231
<b>Линейка продукции и трубопроводные системы</b> . . . . .	<b>233</b>
4.1. Системы из НПВХ под склейку . . . . .	234
4.2. Системы FIP из ХПВХ под сварку растворителем . . . . .	236
4.3. Системы из АБС SuperFlo под сварку растворителем . . . . .	237
4.4. Системы FIP из ПП под сварку . . . . .	238
4.5. Системы из ПЭ под сварку . . . . .	240
4.6. Системы из ПВДФ под сварку . . . . .	241
4.7. Трубы с двойной защитной оболочкой . . . . .	242
4.8. Транспортировка сжатого воздуха и газов . . . . .	243
4.9. Системы PLX для перекачки топлива . . . . .	244
4.10. Дренажные системы Vulcathene . . . . .	245
4.11. Муфты соединительные Straub . . . . .	246
4.12. Бессиликеновые системы FIP . . . . .	247
4.13. КИП FLS (FIP) . . . . .	248

# «We make life flow<sup>\*)</sup>»



Компания **Aliaxis** является мировым лидером в области передовых систем проектирования и создания полимерных трубопроводов для промышленности, строительства, инфраструктуры и сельского хозяйства. Для каждого из этих сегментов предлагается широкий ассортимент высококачественных продуктов и решений, которые обеспечивают любые потребности клиентов Компании по всему миру.

Компания **Aliaxis**, насчитывающая около 15500 сотрудников по всему миру, активно работает через свои представительства и локальные бренды в более чем 45 странах, сочетая решения на местах с глобальными инновациями и операционными инновациями. Компания находится в частной собственности, её штаб-квартира расположена в Брюсселе, Бельгия.

## Здоровье и безопасность превыше всего

Обеспечение безопасных условий труда для всех сотрудников, подрядчиков и посетителей является главным приоритетом Компании **Aliaxis**. Компания повышает общие показатели безопасности, стремясь свети к нулю количество несчастных случаев на всех своих производствах во всём мире. Сообщество по вопросам безопасности, состоящее из менеджеров по охране труда и инженеров по технике безопасности из различных подразделений Компании, занимается передачей передового опыта.

## К клиентам — с открытым сердцем

Компания **Aliaxis** предоставляет монтажникам и техническим специалистам по всему миру продукты и решения для простого и надёжного запуска проектов.

Компания стремится повысить ценность для конечных пользователей: людей в их домах, фермеров, промышленных предприятий и правительств. Какими бы ни были проблемы с точки зрения размера, объёма или высоты, какими бы ни были ограничения на строительных площадках, в инфраструктурных проектах или с требованиями к орошению сельскохозяйственных земель, Компания **Aliaxis** всегда стремимся предлагать соответствующие продукты и решения.

## Забота о местных сообществах

Предприятия Компании **Aliaxis** были основаны в самом сердце регионов, в которых они работают. Они очень заботятся об этих местных сообществах и инвестируют средства в их будущее посредством различных проектов. Во многих регионах Компания **Aliaxis** помогает устанавливать или улучшать системы питьевого водоснабжения, обеспечивать соответствующие санитарные условия, осуществлять инфраструктурные проекты по сбору и хранению дождевой воды, бурить скважины для извлечения подземных вод, а также строить школы или осуществлять местные образовательные программы.

<sup>\*)</sup> «Мы создаём поток жизни»





### Инновации как ценность

Обладая более чем 50-летним опытом в области производства полимеров, Компания **Aliaxis** способна разрабатывать инновационные продукты будущего.

На всех производственных площадках и объектах по всему миру сотрудники **Aliaxis** стремятся к совершенству и эффективности в разработке продуктов и услуг. Компания всемерно способствует обмену передовым опытом и знаниями во всех странах и сегментах.

Компания **Aliaxis** постоянно оптимизирует и упрощает внутренние процессы, улучшая качество предоставляемых клиентам услуг.

### Приверженность охране окружающей среды

Анализ жизненного цикла показал, что системы полимерных труб являются не только более экологичными, но и более здоровыми альтернативами трубам, изготовленным из других материалов.

Защита окружающей среды учитывается в любом бизнес-процессе Компании **Aliaxis**. Экологическая программа определяет конкретные ключевые показатели эффективности для мониторинга выбросов CO<sub>2</sub>, переработанных отходов и потребления воды. Она также включает инициативы, направленные на обмен передовым опытом и обучение, повышение экологической осведомленности среди сотрудников.



# Вступление

Решая, какой материал лучше всего подходит для ваших нужд, а также является отличным вариантом для защиты окружающей среды, подумайте о полимерах.

В последние годы интенсивность внедрения полимеров в промышленные решения увеличивалась незначительно по двум причинам. Во-первых, основные производители недостаточно информируют общественность о преимуществах и возможностях использования полимеров в промышленных решениях, а во-вторых, промышленность не желала адаптироваться к более прогрессивным и эффективным материалам для трубопроводов или менять свои привычки.

В настоящее время системы промышленных полимерных трубопроводов являются экономически более выгодными (по сравнению с трубопроводами из альтернативных материалов), однако там, где в 70% промышленных применений труб, фитингов и запорной арматуры возможно использовать полимеры, фактически они используются лишь менее чем в 15% случаев.

Спокойная экономическая ситуация последних лет удерживала некоторые отрасли промышленности от активного перехода на полимеры, однако конкурентная среда неизбежно приведёт к этой необходимости.

Что ждёт полимеры в ближайшие сто лет, предсказать трудно, но наверняка их потребление резко увеличится: график (см. Рис. 1.1) показывает, как мировое производство полимеров росло с 1950-го года.

Преимущества использования полимеров в области промышленных трубопроводных систем можно свести к четырём основным причинам:

- долговечность;
- экологическая безопасность;
- лёгкость и безопасность монтажа;
- экономическая эффективность.

Со словом «полимер» тесно связываются слова «экология», «экологичность». Если проанализировать четыре вышеупомянутых преимущества полимеров перед другими материалами, то становится ясно, что их использование способно уменьшить выбросы парниковых газов. И вот почему.

Термин «долговечность» обозначает длительный срок службы. За десятки лет физические и химические характеристики полимерных трубопроводных систем практически не меняются, и даже теоретически в большинстве проектов срок службы этих систем неизвестен.

Кроме того, многие исследования показали, что срок службы полимерных труб значительно превышает срок службы трубопроводных систем, изготовленных из других материалов, ввиду стойкости полимеров к химическому и коррозионному воздействию, стойкости к истиранию, целостности соединений и оптимальных характеристик потока. Эти особенности полимерных трубопроводов также напрямую связаны с темой экологической безопасности: высокая степень химической и коррозионной стойкости устраняет необходимость в защитных покрытиях, которые могут потребоваться для трубопроводов из других материалов.

Кроме того, высокие антифрикционные свойства полимеров уменьшают гидравлическое сопротивление трубопроводов, что позволяет уменьшать мощность применяемых насосов.



Все эти особенности положительно влияют на экономию энергии: если используется меньше энергии, то в результате выбросы снижаются.

Поскольку при использовании полимеров происходит меньше поломок и снижается потребность в техническом обслуживании, следовательно, снижается потребность в ремонтном оборудовании с газовым и электрическим питанием. Очевидно, что заказов и доставки становится меньше, поэтому логистические расходы могут быть значительно снижены.

Что касается монтажа, то полимеры проще и безопаснее при монтаже, чем любые другие материалы трубопровода. Полимеры предполагают различные способы соединения, множество вариантов цвета и возможность нанесения нужных маркировок.

Полимерные трубы обладают малым весом: это значительно снижает потребность в дорогостоящем подъёмном оборудовании, что, следовательно, также уменьшает выбросы в окружающую среду. Ещё одно преимущество – меньшая вероятность травм при монтаже: в большинстве случаев инструменты для соединения полимерных труб недороги, просты в использовании и ускоряют время монтажа.

Говоря об экономической эффективности, следует отметить, что в большинстве случаев себестоимость полимеров ниже, чем себестоимость других материалов для производства труб. А общая экономия связана со всеми вышеперечисленными преимуществами полимеров: их низкой себестоимостью, простотой монтажа, обслуживания, транспортировки.

В заключение необходимо отметить, что при оценке материалов трубопроводов следует комплексно рассматривать полный перечень функций и преимуществ, которые можно получить в долгосрочной перспективе.

**Все эти наблюдения позволяют сделать вывод о том, что в настоящее время полимеры становятся одним из преобладающих материалов для большинства проектов трубопроводных систем.**

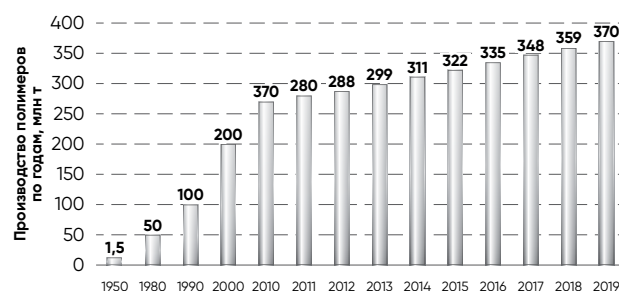


Рис. 1.1. Мировое производство полимеров по годам, в миллионах тонн



# Сегменты рынка

Следующие примеры могут быть полезны для демонстрации различного использования полимерных трубопроводов во многих отраслях промышленности и на рынках. Основные области, в которых широко используется продукция компании **Aliaxis**, кратко рассмотрены ниже.



## Водоподготовка и водоочистка

Многие районы мира уже испытывают нехватку воды, главным образом из-за ускоренного роста населения.

Компания **Aliaxis** является надёжным поставщиком решений для любых промышленных процессов очистки воды и стоков, когда требуется преобразовать сточные воды для их повторного использования или возвращения в водный цикл с минимальным воздействием на окружающую среду.

- **Очистка городских сточных вод.** Это ключевой сектор в деле повторного использования или возвращения чистой воды. Загрязнение городскими отходами является одной из главных проблем будущего, поскольку рост населения настоятельно требует создания новых и более эффективных очистных сооружений. Сточные воды содержат биологические отходы жизнедеятельности человека, органический мусор, моющие средства, масла, бумажные волокна, а также другие сильно загрязняющие химические вещества, которые необходимо нейтрализовать, чтобы свести к минимуму воздействие на окружающую среду.
- **Промышленная водоочистка.** В последнее десятилетие она стала одной из важнейших проблем в таких отраслях, как нефте- и газодобыча, нефтепереработка и нефтехимия, целлюлозно-бумажная промышленность, микроэлектроника, производство продуктов питания и напитков, производство электроэнергии и горнодобывающая промышленность. В этих отраслях промышленности обратный осмос и ультрафильтрация являются наиболее востребованными технологиями обессоливания, в

то время как деионизация в основном используется тогда, когда требуется более высокий уровень чистоты воды, например, в микроэлектронной и фармацевтической промышленности.

- **Очистка промышленных сточных вод.** Во всех промышленных процессах образуются сточные воды, которые должны быть очищены перед повторным использованием или перед возвращением в водный цикл. Чтобы заботиться об окружающей среде и защищать людей и природные ресурсы, к вопросам экологии необходимо подходить крайне ответственно. Необходимы строгие правила и ограничения на сброс сточных вод, а промышленные объекты должны предпринимать эффективные меры для соблюдения этих новых условий и требований.
- **Очистка питьевой воды.** Питьевая вода может являться продуктом предыдущих циклов очистки, но также может поступать из разных источников: из рек, озёр и водохранилищ. Вода из этих источников может содержать широкий спектр химических веществ с высоким содержанием минералов и металлов, хлоридов и твёрдых частиц. Морская вода имеет высокую концентрацию минералов и солей, подлежащих удалению.
- **Бассейны и СПА.** Компания **Aliaxis**, которую выбрали для строительства олимпийских объектов, предлагает множество опций для обеспечения равномерной циркуляции воды и поддержки системы дезинфекции бассейнов и СПА, необходимой для обеспечения безопасных и комфортных бассейнов. Материалы, клапаны и система фильтров, не подверженные коррозии, сочетают в себе инновации и технологии для обеспечения безопасной и эффективной транспортировки воды.



## Химическая промышленность

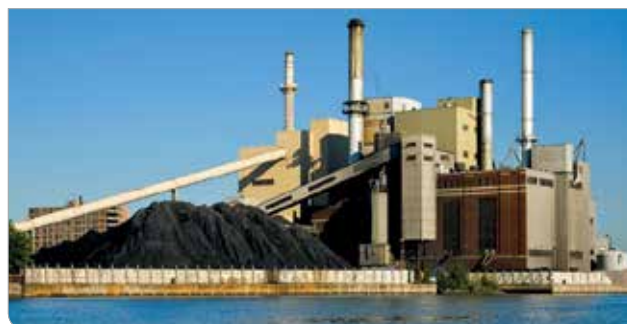
Химическая промышленность производит широчайший спектр продукции – от основных химических веществ до специальных, таких как адгезивные или целлюлозные добавки.

Линейка лидирующих на рынке изделий для полимерных трубопроводов компании **Aliaxis** является идеальным решением для широкого круга различных применений. Будь то транспортировка агрессивных кислот, специализированный дренаж или иные вспомогательные процессы, система трубопроводов **Aliaxis** может легко решить многие проблемы, связанные с более традиционными материалами для трубопроводов. Полимерные трубопроводы обеспечивают превосходную химическую стойкость, простоту монтажа, более длительный срок службы, сокращение затрат на монтаж и техническое обслуживание.

Наиболее распространённые химические производства, в которых широко используются полимерные трубопроводы:

- **хлор-щелочное производство:** доминирующей технологией является мембранная технология электролиза. Полимерные системы трубопроводов используются при производстве анолитов, католитов, при работе с газообразным хлором, а также во вспомогательных процессах;
- **производство удобрений.** На различных заводах по переработке удобрений полимерные трубопроводы используются для транспортировки диаммонийфосфата, серы и её соединений.

- **установки по производству брома.** Трубопроводы из термопластов используются после основного реактора для транспортировки химических веществ и сопутствующих побочных продуктов;
- **тонкие химические технологии и дозирование;**
- **заводы по производству аккумуляторов.** Химические вещества, требующие транспортировки, используются на различных этапах производственного процесса – как при создании автомобильных аккумуляторов, так и аккумуляторов для бытовой электроники.







## Обработка поверхности металлов

Обработка поверхности является одним из основных промежуточных этапов в производстве готовых металлических изделий. Фактически, это не отдельная отрасль, но операции по обработке поверхностей чрезвычайно широко используются при производстве комплектующих для компьютеров и мобильных телефонов, в автомобиле- и авиастроении, и многих других.

Металлы и полимеры обрабатываются для изменения свойств их поверхности: для украшения и повышения отражательной способности, а также для повышения прочности и износостойкости, предотвращения коррозии и в качестве основы для улучшения адгезии перед последующей обработкой – окраской или нанесением светочувствительного покрытия для печати.

Полимерные трубопроводы, обладающие химической стойкостью, изолирующими свойствами и гибкостью, идеально подходят для транспортировки химических веществ, которые используются для обработки поверхностей в соответствии с требованиями технологических процессов, основными из которых являются следующие:

- **электроосаждение.** Оно служит для нанесения тонкого слоя полимера на поверхность обрабатываемого изделия – металлического или полимерного. Плёнка наносится электрохимически с использованием электрического поля для переноса частиц на проводящую поверхность;
- **гальванизация.** Она служит для защиты обрабатываемой поверхности от коррозии. Плёнка наносится на изделия из стали или полимера для

обеспечения долговременной защиты от коррозии и для повышения стойкости к истиранию. Наиболее распространённый процесс (горячее цинкование) осуществляется путём погружения защищаемого изделия в ванну с расплавленным цинком с образованием защитной плёнки;

- **линии травления.** Предназначены для удаления химическим путём загрязнений и ржавчины (оксидов) с поверхности металла. Обычно применяются при производстве стали;
- **линии окрашивания.** Существует целый ряд технологий, используемых при окраске поверхности. Одной из распространённых является электрофоретическое покрытие, при котором металлическая деталь погружается в раствор на водной основе, содержащий эмульсию краски.







## Добыча полезных ископаемых и гидрометаллургия

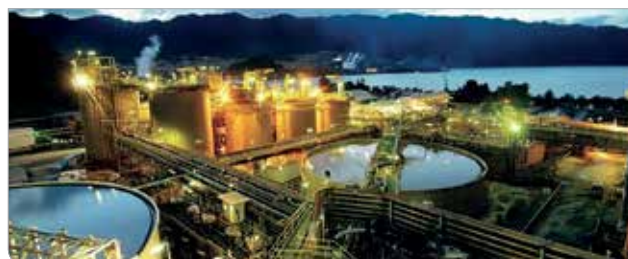
Агрессивные среды на горнодобывающих объектах представляют собой проблему для трубопроводных систем, которые десятилетиями использовались для транспортировки жидкостей и пульп.

Для транспортировки большого количества агрессивной и шламовой жидкости требуется коррозионная стойкость и экономичное решение.

Компания **Aliaxis** предлагает полный спектр технологий для решения следующих задач:

- **добыча полезных ископаемых.** Как при шахтной, так и при карьерной добыче полезных ископаемых требуется огромное количество технологической воды. Полимерные трубопроводы являются идеальным компромиссом между производительностью и простотой монтажа;
- **обогащение руды.** Этот процесс включает в себя различные этапы: измельчение с первичным, вторичным и третичным дроблением, а также повышение концентрации руды. На каждом из этих этапов можно использовать полимерные трубы;
- **гидрометаллургия.** Выделение металлов из руд, концентратов и отходов производства с помощью водных растворов определённых веществ (химических реагентов) включает в себя различные этапы: выщелачивание, адсорбцию, элюирование, электролиз, экстракцию растворителем. При адсорбции предлагается использовать трубопроводы с двойной защитной оболочкой;

- **утилизация хвостов.** Хвосты — это отходы, оставшиеся после процесса отделения ценной фракции от пустой породы. Полимерные трубопроводы представляют собой проверенное решение для транспортировки и утилизации отходов.







## Судостроение и береговая инфраструктура

В последние годы необходимость всё более быстрого и комфортного перемещения людей и товаров привела к ускоренному развитию морского сектора.

По сравнению с традиционными металлическими, полимерные трубопроводы являются идеальным вариантом в судостроении, поскольку полимеры устойчивы к коррозии и намного легче. Их также легче и быстрее монтировать.

Кроме того, строгие экологические нормы налагают ответственность за контроль над выхлопными газами и сбросом балласта, что требует эффективных и надёжных решений.

Компания **Aliaxis** предлагает надёжные и высококачественные полимерные трубопроводные системы. Они специально разработаны для снижения веса и шума на борту гражданских и военных судов. Кроме того, эти ре-

шения способствуют предотвращению пожаров и снижают риск распространения бактерий легионеллы.

Решения компании **Aliaxis** повышают комфорт и безопасность пассажиров и экипажа, обеспечивают равномерную и постоянную производительность в течение всего времени эксплуатации, а местная служба технической поддержки Компании всегда доступна для получения любых консультаций.

Основные области применения в сфере морских перевозок, где эффективно может быть применена продукция компании **Aliaxis**:

- круизные лайнеры;
- паромы;
- мегаяхты;
- рыболовный флот;
- торговый флот;
- научно-исследовательские суда;
- военно-морской флот;
- морские платформы.









# Физико-химические свойства полимеров



## 1.1. Разработка, классификация и производство полимеров

### 1.1.1. Разработка полимеров

Разработка полимеров эволюционировала от использования природных пластических материалов (натуральный каучук, шеллак) до использования химически модифицированных природных материалов (нитроцеллюлоза, коллагены, галалит) и, наконец, до полностью синтетических соединений (бакелит, эпоксидные смолы, поливинилхлорид). Первые пластмассы были биологического происхождения: белки яиц и крови. Они представляют собой органические полимеры. А ещё 3700 лет назад жители Южной Америки использовали натуральный каучук для изготовления мячей, лент и фигурок.

В XIX веке, во время промышленной революции, развивалась и химическая промышленность, появилось много новых пластических материалов. Разработка новых полимеров особенно ускорила после открытия в 1839 году Чарльзом Гудьиром вулканизации термоустойчивых материалов, полученных из натурального каучука.

Первым искусственным полимером считается паркезин (целлулоид). Этот материал был запатентован Александром Парксом в Бирмингеме (Англия) в 1856 году. Паркезин был изготовлен из целлюлозы – основного компонента стенок растительных клеток, – обработанной азотной кислотой.

В конечный продукт реакции, известный как нитрат целлюлозы или коллоксилин, добавляется пластификатор (дибутилфталат, касторовое или вазелиновое масло, синтетическая камфора) и краситель. Полученную пластичную массу можно формовать при нагревании.

В 1909 году бельгийский химик Лео Бекеланд сообщил о создании бакелита (карболит, полиоксибензилметилэногликольангидрид), первом полностью синтетическом реактопласте – полимере, который не размягчался при высокой температуре. Бакелит получается на начальном этапе синтеза фенолформальдегидной смолы.

Сейчас разработка полимеров идёт гигантскими шагами, и они играют всё большую и большую роль в нашей жизни.

### 1.1.2. Структура и характеристики полимеров

Цепи макромолекул, образованные из мономерных звеньев в результате химических реакций, образуют полимеры – фундаментальную структуру полимеров. Полиприсоединение (непрерывное или фазовое) и конденсационная полимеризация (поликонденсация), являются обычными реакциями «сборки» полимеров.

Эти цепи макромолекул состоят в основном из углерода и водорода. Молекулы на основе органического углерода являются единицами мономеров. Помимо атомов углерода и водорода, в мономерном звене в качестве компонентов могут также присутствовать кислород, азот, сера, фтор или хлор.

Тип элементов, их соотношение и расположение в молекуле мономера служат основой для производства различных полимеров.

Различные группы описываются макромолекулярным составом и температурно-зависимыми физическими свойствами полимерных материалов.

**Реактопласты** (термореактивные полимеры) обладают малой эластичностью, не плавятся, при дальнейшем нагреве разрушаются и при последующем охлаждении не восстанавливают своих исходных свойств.

**Эластомеры** обладают значительной эластичностью и не всегда способны плавиться.

**Термопласты** обладают слабой эластичностью и значительной жёсткостью и могут плавиться при воздействии механической, тепловой или радиационной энергии.

На Рис. 1.1 представлена классификация полимеров.



Рис. 1.1. Классификация полимеров

### ► Мономеры и полимеры

Пластик – это полимер. То есть не что иное, как длинная цепочка из более мелких одинаковых звеньев, соединённых вместе.

Хороший пример полимера – полиэтилен.

Этилен ( $C_2H_4$ ) является мономером, т.е. отдельным звеном. Когда многие такие звенья соединяются в цепи посредством химической реакции, разрывающей двойную связь, образуется полимер.

Мономеры получают при переработке нефти.

Мономеры содержатся в маслах или могут быть легко получены с помощью простых химических процессов. Важно, чтобы мономеры были чистыми, потому что загрязнение препятствует их полимеризации, а также может в конечном итоге привести к образованию некачественных или хрупких полимеров.

На Рис. 1.2 условно показано родство мономера (этилена) и полимера (полиэтилена).

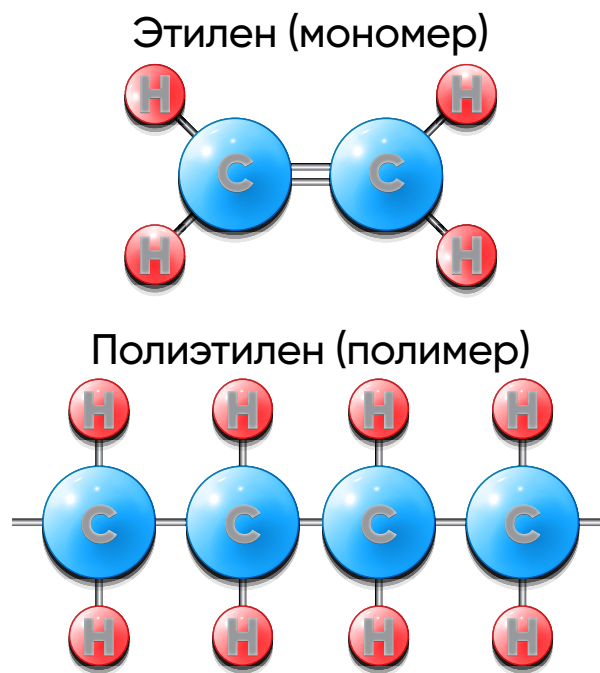


Рис. 1.2. Образование полимера из мономера



### 1.1.3. Реактопласты, эластомеры и термопласты

#### ► Реактопласты (термореактивные полимеры)

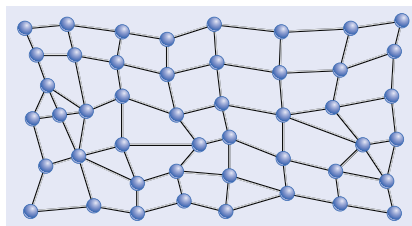


Рис. 1.3. Полимерные цепи термо-реактивных полимеров

Реактопласты это полимеры, которые после отверждении (под воздействием тепла или химических реакций) превращаются в практически неплавкий и не подлежащий вторичной переработке продукт. Термореактивные полимеры – это пластичные смолы с жёстко сшитыми полимерными цепями.

Наиболее распространены реактопласты на основе фенолформальдегидных, полиэфирных, эпоксидных и карбамидных смол. Классическим примером реактопластов является бакелит – продукт поликонденсации фенола с формальдегидом в присутствии щелочного катализатора (см. Рис. 1.4).



Рис. 1.4. Примеры изделий из бакелита (слева) и эластомеров (справа)

#### ► Механические свойства реактопластов

Реактопласты твёрдые и хрупкие, что обусловлено жёстко сшитыми молекулярными цепями. Поэтому из-за высокого сопротивления молекулярному смещению механическая прочность и эластичность реактопластов практически не зависят от температуры. Реактопласты не плавятся и соединять их сваркой нельзя. А при дальнейшем нагреве при достижении температуры разложения ( $T_p$ ) реактопласты необратимо разрушаются.

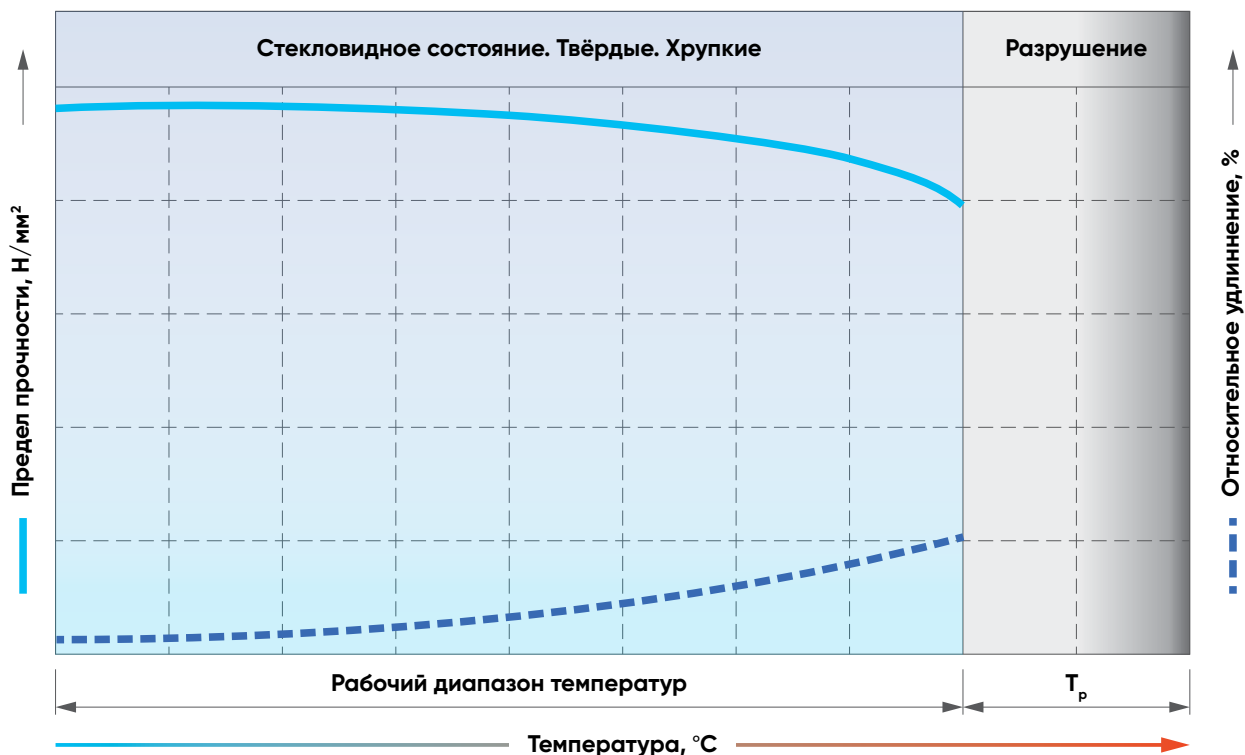


Рис. 1.5. Зависимость механических свойств реактопластов от температуры

## ► Эластомеры

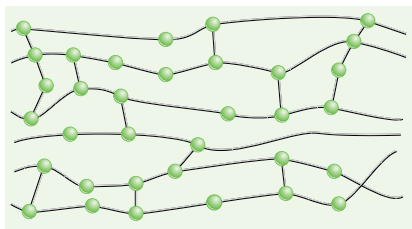


Рис. 1.6. Полимерные цепи эластомеров

Эластомер представляет собой вязкоупругий полимер и имеет слабые связи между цепочками. Как правило, у эластомеров низкий модуль продольной упругости Юнга и высокая деформация разрушения по сравнению с другими материалами. Эластомеры – это полимеры с крупными сетчатыми связями между молекулярными цепочками.

Это аморфный полимер, рабочий диапазон температур которого должен быть выше температуры его стеклования, так что возможно значительное молекулярное повторное подтверждение без разрыва ковалентных связей. Таким образом, при температуре окружающей среды эластомеры неплохо деформируются (модуль Юнга  $E$  составляет порядка 3 МПа). Их основное применение – всевозможные уплотнения, клеи и гибкие формованные детали. Области применения различных типов эластомеров весьма разнообразны: шины, подошвы для обуви, демпфирующие и изолирующие элементы (см. Рис. 1.4).

## ► Механические свойства эластомеров

Эластомеры невозможно расплавить без разрушения молекулярных цепочек. Эластомеры – это мягкие эластичные материалы, температура которых выше температуры стеклования ( $T_c$ ). То есть они эластичны выше этой температуры и хрупки ниже её. Значение температуры стеклования увеличивается с увеличением количества сшивок между нитями полимеров.

Повышение эластичности, вызванное снижением жёсткости поперечных связей и повышением стабильности молекулярных цепей, напрямую связано с повышением температуры. Однако, когда будет достигнута температура разложения ( $T_p$ ), эластомеры необратимо разрушатся.

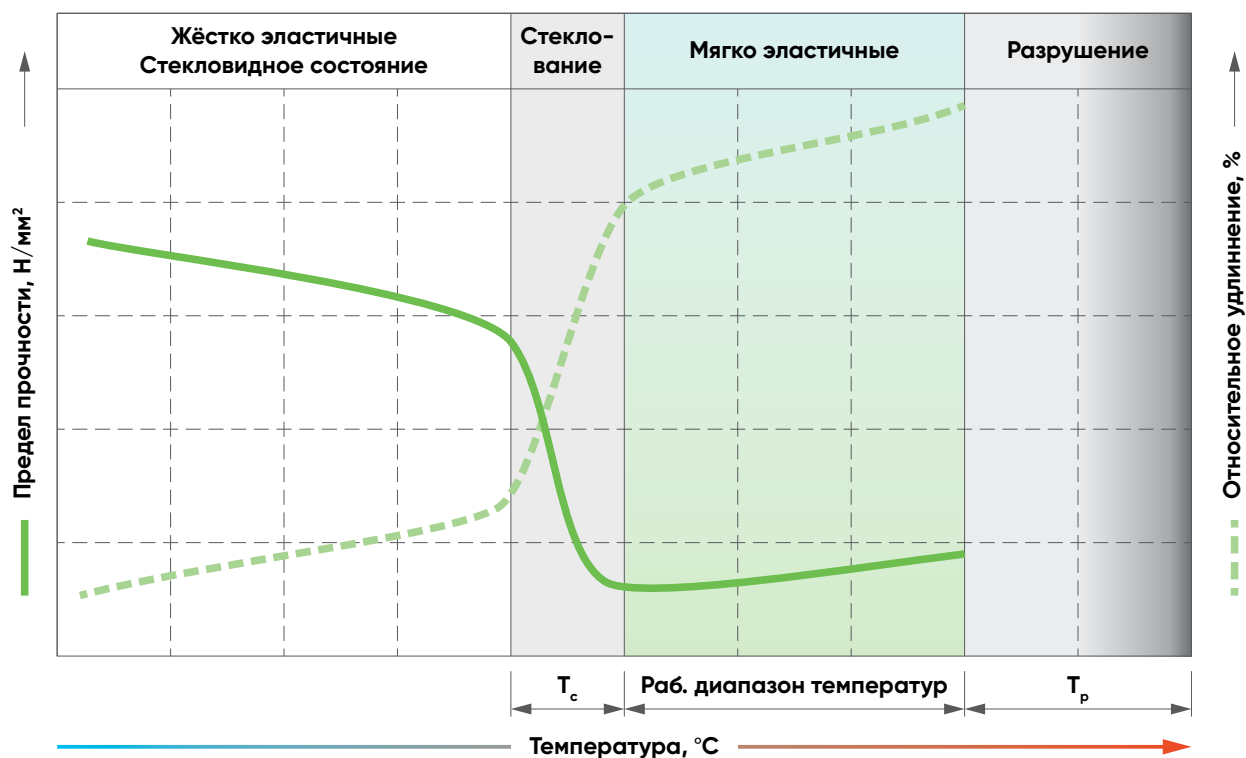


Рис. 1.7. Зависимость механических свойств эластомеров от температуры

► **Термопласты**

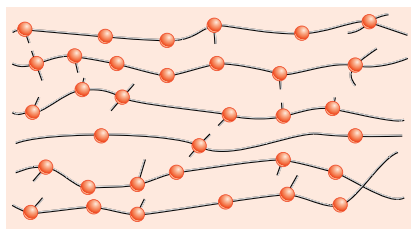


Рис. 1.8. Полимерные цепи термопластов

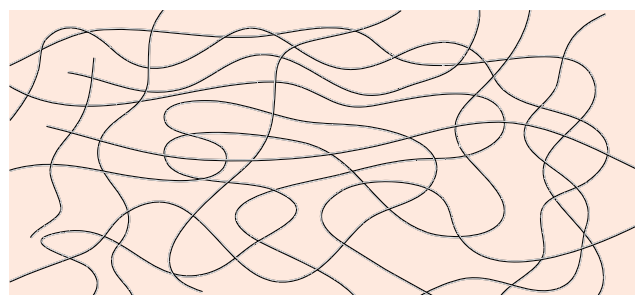
Термопласты это материалы, которые могут многократно размягчаться при нагревании и затвердевать при охлаждении в пределах рабочего температурного диапазона, различного для каждого типа полимера. В пластичном состоянии материалу может быть придана иная форма – литьём под давлением или экструзией. Термопласты состоят из практически не связанных между собой линейных полимерных цепочек.

Хорошей аналогией поведения термопластов при нагревании и охлаждении является вода. Полимеры этой группы можно многократно нагревать и охлаждать без каких-либо изменений основных свойств материала.

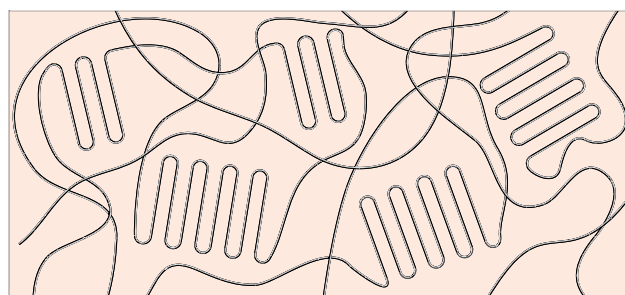
Как видно на Рис. 1.1, термопласты подразделяются на две больших группы: аморфные и полукристаллические.



Рис. 1.9. Циклический процесс фазовых переходов воды под воздействием температуры



Аморфные термопласты



Полукристаллические термопласты

Рис. 1.10. Структура полимерных нитей аморфных и полукристаллических термопластов

► **Аморфные термопласты**

Этот тип термопластов имеет беспорядочно структуру полимерных цепочек. У него отсутствует чётко обозначенная температура плавления. В результате аморфные термопласты при повышении температуры размягчаются постепенно. Эти полимеры легко набухают, а затем и растворяются при добавлении соответствующих растворителей. Поэтому в трубопроводных системах из таких полимеров отдельные элементы соединяются склеиванием.

Обычно аморфные термопласты – это полупрозрачные вещества.

В промышленности особенно широко применяются следующие аморфные термопласты:

- поливинилхлорид непластифицированный (НПВХ);
- поливинилхлорид хлорированный (ХПВХ);
- акрилонитрилбутадиенстирол (АБС).

### ► Механические свойства аморфных термопластов

Механические свойства термопластов особенно сильно зависят от температуры. Характерным является и то, что рабочий диапазон температур этой подгруппы полимеров находится **ниже** температуры стеклования ( $T_c$ ). В некотором смысле в этом диапазоне температур молекулярная структура полимерных нитей «заморожена», но сами термопласты достаточно гибкие и хрупкие.

При температурах выше температуры стеклования предел прочности термопластов будет увеличиваться ввиду того, что они становятся мягко эластичными (иначе говоря, становятся высокоэластичными либо вязкотекучими). При достижении температуры плавления ( $T_n$ ) термопласты переходят в жидкую фазу. При превышении температуры разложения ( $T_p$ ) жидкий полимер начинает необратимо разрушаться.

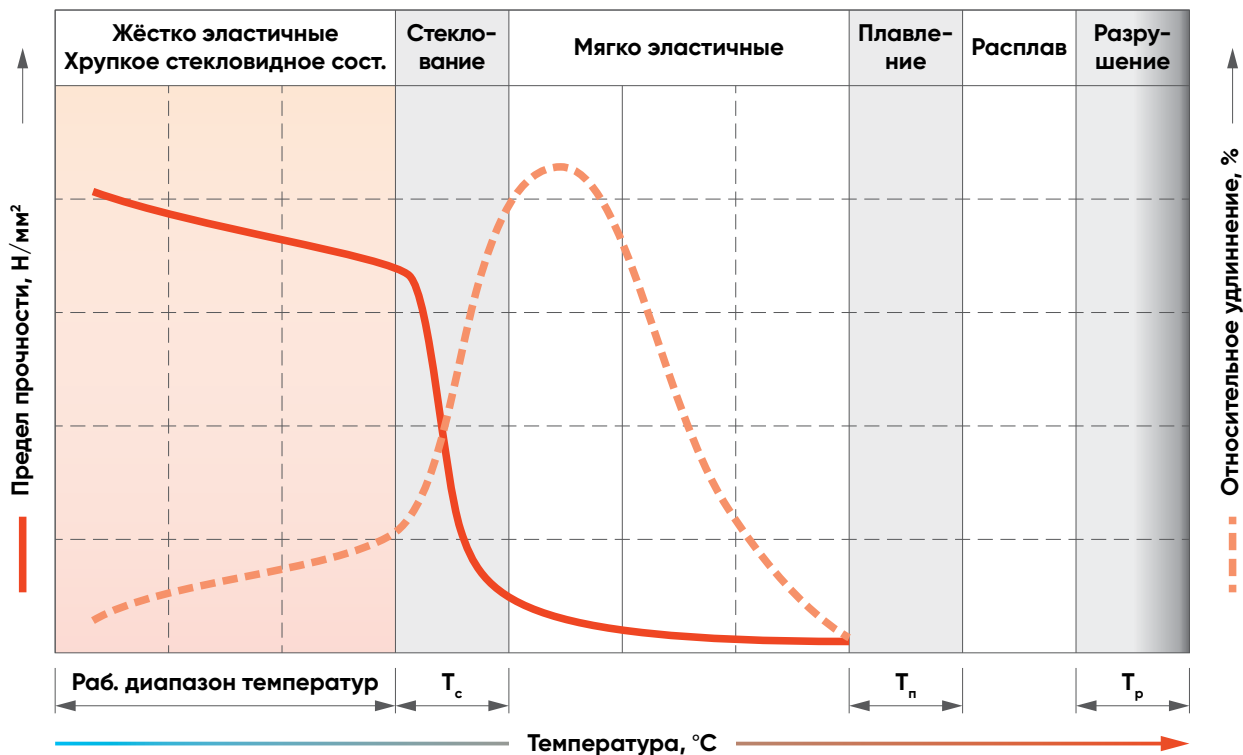


Рис. 1.11. Зависимость механических свойств аморфных термопластов от температуры

### ► Полукристаллические термопласты

В отличие от аморфных, полукристаллические термопласты имеют в своём составе кристаллические зоны упорядоченных полимерных цепочек (т.н. кристаллиты). Соответственно, у таких термопластов есть точка плавления. В то время как аморфные термопласты постепенно размягчаются при повышении температуры, полукристаллические полимеры — нет. Вместо этого они остаются твёрдыми до тех пор, пока не будет поглощено определённое количество тепла. Затем материалы быстро превращаются в жидкость с низкой вязкостью. Температура плавления у полукристаллических термопластов обычно выше, чем у аморфных.

Полукристаллические термопласты обычно непрозрачны.

В промышленности особенно широко применяются следующие полукристаллические термопласты:

- полиэтилен (ПЭ);
- полипропилен (ПП);
- поливинилиденфторид (ПВДФ);
- политетрафторэтилен или фторопласт (ПТФЭ).

► **Механические свойства полукристаллических термопластов**

Степень кристаллизации полукристаллических термопластов зависит от степени упорядоченности конфигурации полимерных цепочек, их подвижности и молекулярной массы.

Процесс кристаллизации можно контролировать с помощью условий обработки. Так, быстрое охлаждение расплава препятствует кристаллизации. Медленное охлаждение, наоборот, повышает степень кристаллизации. Полукристаллические термопласты с низкой степенью кристаллизации будут оптически более прозрачными, чем продукты с высокой степенью кристаллизации.

Ниже температуры стеклования ( $T_c$ ) полукристаллические термопласты по сути являются аморфными и представляют собой хрупкое твёрдое вещество. В этом диапазоне температур полимеры обладают максимальной жёсткостью. Выше температуры стеклования термопласт очень прочен и хорошо противостоит истиранию.

При температуре плавления кристаллов ( $T_k$ ) кристаллиты полимера плавятся, и полимер переходит в состояние расплава. При понижении температуры термопласты опять переходят в полукристаллическое состояние. А при дальнейшем повышении температуры (от  $T_p$  и выше) расплав полимера начинает необратимо разрушаться.

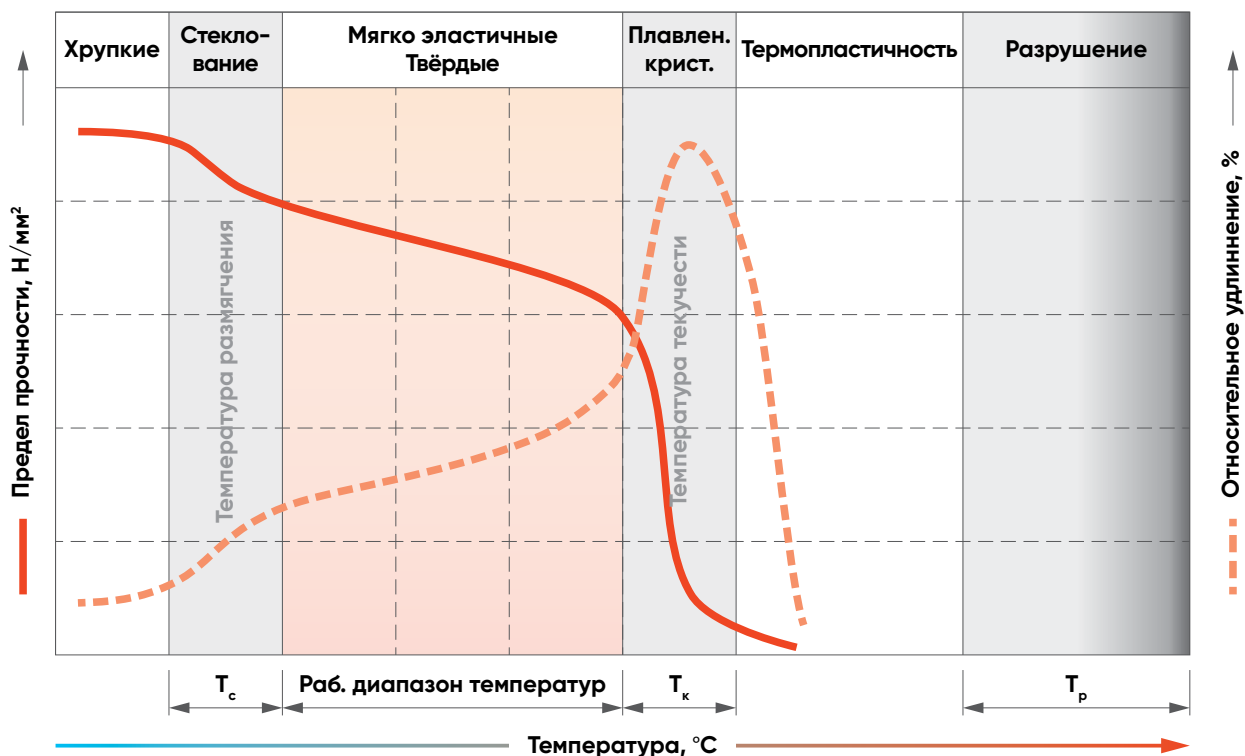


Рис. 1.12. Зависимость механических свойств полукристаллических термопластов от температуры

► **Типы разрушения термопластов**

Термопласты могут иметь два типа разрушений: вязкий и хрупкий.

Вязкие разрушения (например, труб) характеризуются большими деформациями их стенок с появлением типичных пузырьков вокруг зоны разрушения. При этом разрыв межатомных связей происходит преимущественно сдвигом или скольжением. Чем выше плотность материала, тем меньше ползучесть и выше предел прочности. Пластичное разрушение типично для полиолефиновых полимеров (полиэтилены, полипропилены, полибутилены).

Хрупкое разрушение характеризуется образованием трещин, ориентированных в осевом направлении, и не приводит к пластической деформации трубы. На молекулярном уровне эти разрывы являются результатом разрыва молекулярных цепочек, соединяющих кристаллиты. Наличие коротких боковых полимерных цепочек, упрочняющих связи между кристаллитами, замедляют процесс хрупкого разрушения. Хрупкое разрушение характерно для поливиниловых термопластов.



Рис. 1.13. Вязкое (слева) и хрупкое (справа) разрушение термопластов

### 1.1.4. Обзор физических свойств термопластов

Свойства полимеров играют важнейшую роль, когда дело доходит до их конкретного применения. Термопластичные материалы обладают широким спектром свойств. Термопласты могут быть подвергнуты вторичной переработке, при этом физические свойства материала не изменяются. Они размягчаются при нагревании и становятся более текучими. Процесс отверждения полностью обратим, поскольку не происходит химического разрушения молекулярных цепочек. Ниже приведены некоторые физические характеристики, дающие общее представление о свойствах различных термопластов.

#### Удельный вес

Удельный вес – это, по сути, характеристика того, насколько плотно упакованы полимерные цепочки. Удельный вес любого материала рассчитывается путём деления его общей массы на общий объём и обычно выражается в г/см<sup>3</sup>.

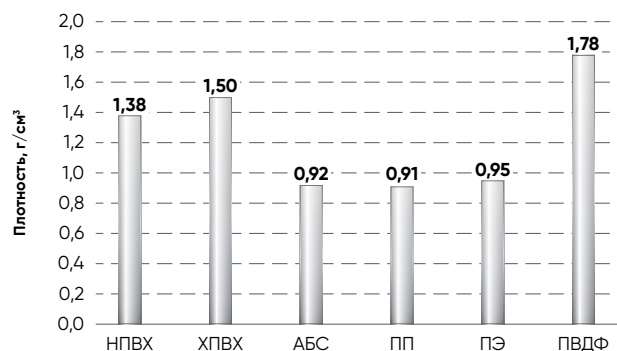


Рис. 1.14. Плотности различных термопластов

#### Модуль упругости Юнга

Модуль упругости Юнга – это механическое свойство, которое характеризует жёсткость твердого материала при растяжении. Он количественно определяет взаимосвязь между растягивающим усилием и осевой деформацией в области линейной упругости материала. Эта величина выражается в Н/мм<sup>2</sup> (или в паскалях).

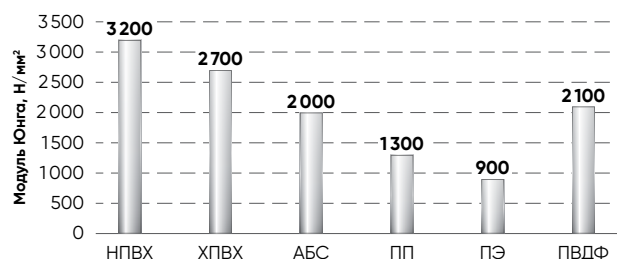


Рис. 1.15. Модуль Юнга различных термопластов

#### Ударная вязкость по Шарпи

Ударная вязкость по Шарпи является методом определения ударопрочности материалов. Условия испытания регламентируются соответствующими ГОСТами и международными стандартами. Испытательное устройство состоит из маятника, который сбрасывается с определённой высоты до контакта с образцом. Измеряя разницу в высоте маятника до и после разрушения образца, можно рассчитать энергию, передаваемую веществу. Параметр измеряется в кДж/м<sup>2</sup>.

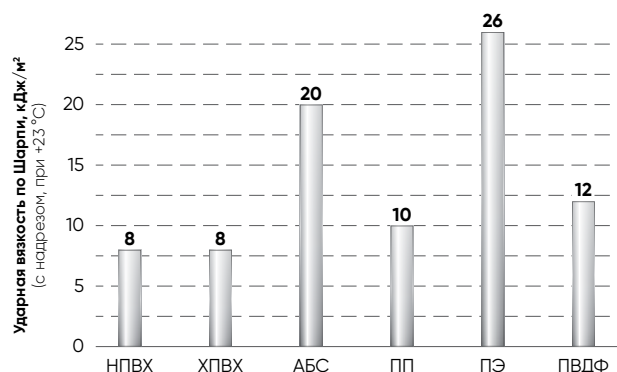


Рис. 1.16. Ударная вязкость различных термопластов

### Предел прочности (текучности) при растяжении

Подобно ударной вязкости по Шарпи, предельная вязкость при растяжении, часто называемая пределом текучести, также используется для определения энергии, которую материал способен поглотить без разрушения. Предел текучести – напряжение, при котором в материале начинают интенсивно накапливаться остаточные (пластические) деформации, причём этот процесс идёт при практически постоянном напряжении. Значение выражается в Н/мм<sup>2</sup>.

### Относительное удлинение при разрыве

Относительное удлинение материала – это процентное увеличение длины, которое происходит до того, как материал разорвётся при растяжении. Предельные значения удлинения в несколько сотен процентов являются обычными для эластомеров и полиолефинов. Пример – упаковочные плёнки. Жёсткие полимеры, особенно армированные волокном, часто имеют значения удлинения при разрыве менее 5%. Сочетание высокого предела прочности на разрыв и большого удлинения характерно для материалов с высокой вязкостью.

### Твёрдость по Шору

Твёрдость по Шору – это стандартизированный тест, состоящий в измерении глубины проникновения в материал определённого индентора под действием силы в заданных условиях. Метод этого испытания регулируется стандартами ГОСТ 24621-2015, ASTM D2240 и ISO 868. Эмпирическое значение твёрдости определяется путём проникновения ножки индентора дурометра в образец. Показатели твёрдости по Шору есть безразмерные величины, их значения находятся в диапазоне от 0 до 100. Чем больше число, тем твёрже материал.

Результирующая глубина проникновения зависит от:

- твёрдости материала;
- вязкости материала;
- упругости материала;
- формы индентора;
- продолжительности теста.

### Стойкость к истиранию

Стойкость к истиранию – это параметр, показывающий, насколько материал способен противостоять износу. Стойкость материала к истиранию помогает выдерживать механическое воздействие и, как правило, защищает удаление материалов с его поверхности. Это позволяет материалу сохранять свою целостность и сохранять свою форму. Стойкость к истиранию обычно измеряется в общей сумме потери веса (мг/цикл).

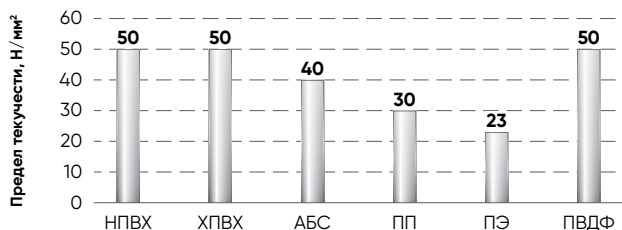


Рис. 1.17. Предел текучести при растяжении различных термопластов

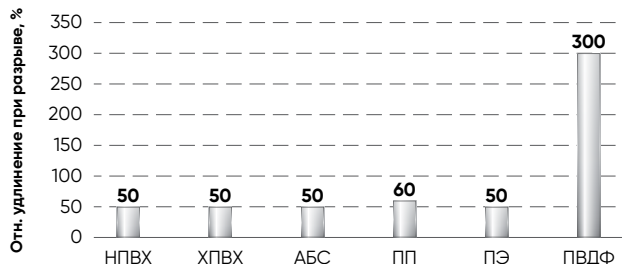


Рис. 1.18. Относительное удлинение при разрыве различных термопластов

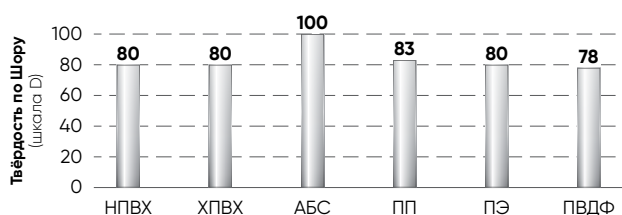


Рис. 1.19. Твёрдость по Шору различных термопластов

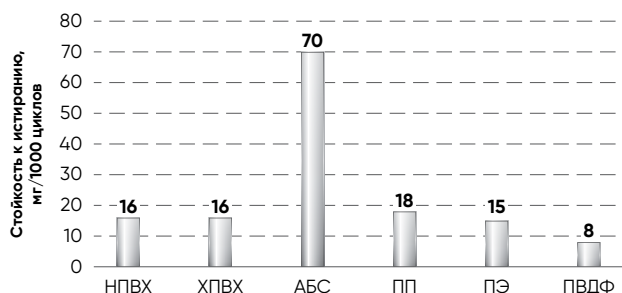


Рис. 1.20. Стойкость к истиранию различных термопластов



### Температура прогиба под нагрузкой

Температура прогиба под нагрузкой в поперечном направлении – это температура, при которой образец полимера изгибается на стандартное значение под воздействием определённой нагрузки. Методика определения температуры прогиба под нагрузкой регламентирована в стандартах ASTM D648, ISO 75.

Стандартный призматический образец подвергается трёхточечному изгибу при постоянной нагрузке. На испытуемом образце создаются поверхностные напряжения, определённые соответствующим стандартом. Начальный прогиб, вызванный приложением испытательной нагрузки, не измеряется. Образец нагревается с постоянной скоростью 120 °С/час. Значение температуры, при котором возникает стандартный прогиб, соответствующий увеличению напряжения при изгибе на 0,2%, называется температурой прогиба под нагрузкой.

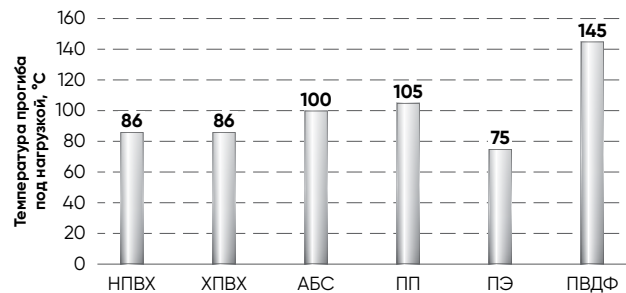


Рис. 1.21. Температура изгиба под нагрузкой различных термопластов

### Теплопроводность

Теплопроводность материала – это мера его способности проводить тепло. Она измеряется в Вт/(м × °С).

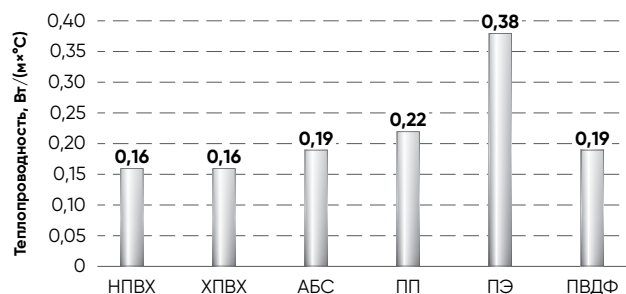


Рис. 1.22. Теплопроводность различных термопластов

### Коэффициент линейного теплового расширения

Тепловое расширение – это явление, при котором объект или тело расширяется при нагревании, увеличивая свои линейные размеры. Тепловое расширение наиболее сильно проявляет себя в газах и жидкостях, однако и твёрдые тела также расширяются, что обычно приходится учитывать при проектировании. Коэффициент теплового расширения – это относительное изменение линейных размеров тела, происходящее в результате изменения его температуры на 1 °С при постоянном давлении. Коэффициент имеет размерность обратной температуры (°С<sup>-1</sup>).

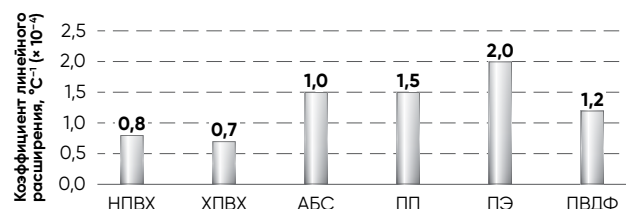


Рис. 1.23. Коэффициент линейного теплового расширения различных термопластов

### Горючесть и кислородный индекс

Поведение любого материала при горении может быть определено на основе т.н. кислородного индекса (КИ). Это минимальное объёмное процентное содержание кислорода в кислородно-азотной смеси, при котором возможно горение материала в диффузионном режиме в условиях специальных испытаний. Материалы со значениями КИ менее 21% классифицируются как горючие, материалы с КИ более 21% относятся к самозатухающим. Материалы с высоким значением КИ, как правило, обладают лучшей огнестойкостью. Как правило, термопласты достаточно огнестойки ввиду их высокой температуры вспышки, температуры самовозгорания и высокому КИ.

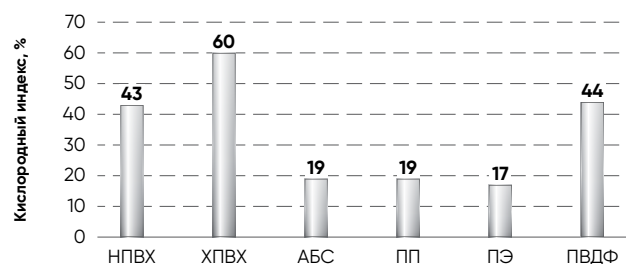


Рис. 1.24. Кислородный индекс различных термопластов



### Удельное электрическое сопротивление

Благодаря своим выдающимся диэлектрическим свойствам термопласты прекрасно подходят в качестве изоляционных материалов и широко применяются в электротехнической промышленности в этом качестве.

Удельное электрическое сопротивление материала измеряется в Ом $\times$ м.

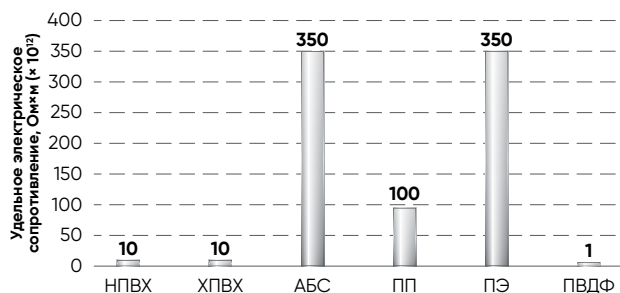


Рис. 1.25. Удельное электрическое сопротивление различных термопластов

### 1.1.5. Преимущества полимеров перед металлами

Область применения полимеров стремительно развивается. Основными преимуществами использования полимеров перед металлами являются такие свойства, как малый вес, долговечность, низкая теплопроводность и более лёгкая обработка. Благодаря тому, что полимеры обладают превосходными химическими и механическими свойствами, их значение в промышленных сегментах неуклонно повышается. С разработкой новых полимеров во многих отраслях (автомобилестроение, медицина, животноводство, авиакосмическая промышленность, гостиничный бизнес) полимеры быстро заменяют «металлические» аналоги.

Ниже приведены семь основных преимуществ использования полимеров перед металлами для различных промышленных применений:

#### i. Гибкость дизайна

Полимеры имеют разный состав и различные свойства, но в целом все полимеры обладают более высокой гибкостью по сравнению с металлами. Для отраслей, которым требуется больше возможностей с точки зрения дизайна, текстуры и геометрии, полимеры – лучший выбор. Лёгкость формовки при сохранении долговечности, подобной металлу, является ключевым преимуществом полимеров перед металлами.

Промышленные детали, требующие сложной формы, эстетичного дизайна или лёгкости, предпочтительнее изготавливать из полимера вместо металла. Современные методы, такие как литьё под давлением, позволяют создавать конструкции пресс-форм и детали очень сложной геометрии; при этом их функциональность эквивалентна аналогичным деталям, выполненным из металла.

#### ii. Рентабельность

В долгосрочной перспективе полимеры являются более экономичным вариантом по сравнению с их аналогами из металла, поскольку не подвержены коррозии и обладают большей устойчивостью к химическим воздействиям. Современные полимеры обладают высокой прочностью, что снижает вероятность их повреждения во время транспортировки или использования. Это также повышает рентабельность.

#### iii. Малый вес

Необходимость уменьшения веса деталей было одной из самых серьезных проблем в различных отраслях промышленности, таких как автомобилестроение, авиация, медицина и масса других.

Удельный вес обычно используемых металлов следующий:

- алюминий: 2,7 г/см<sup>3</sup>;
- титан: 4,5 г/см<sup>3</sup>;
- цинк: 7,1 г/см<sup>3</sup>;
- медь: 8,9 г/см<sup>3</sup>;
- латунь: 8,2...8,9 г/см<sup>3</sup>;
- сталь: 7,6...8,1 г/см<sup>3</sup>.

Полимеры имеют гораздо меньший удельный вес. Это означает, что аналогичные (металлическим) детали имеют гораздо меньшую массу:

- поликарбонат: 1,20...1,40 г/см<sup>3</sup>;
- акрил: 1,15...1,2 г/см<sup>3</sup>;
- ПВХ: 1,39...1,50 г/см<sup>3</sup>;
- АБС: 0,92 г/см<sup>3</sup>;
- полипропилен: 0,91 г/см<sup>3</sup>;
- полиэтилен: 0,95 г/см<sup>3</sup>;
- ПВДФ: 1,78 г/см<sup>3</sup>.

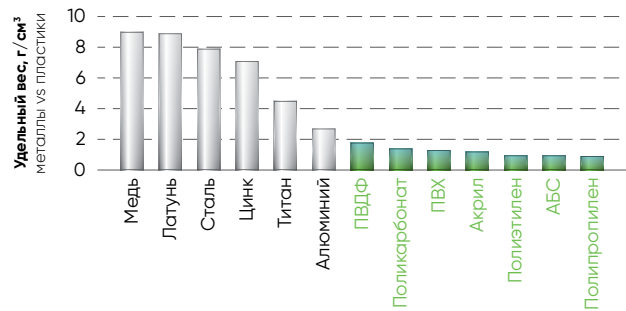


Рис. 1.26. Сравнение удельных весов некоторых металлов и полимеров

**Небольшой удельный вес полимеров по сравнению с металлами напрямую влияет на затраты: полимерные трубы обеспечивают более лёгкую транспортировку, а также более дешёвый и простой монтаж.**

**iv. Вторичная переработка**

Переработка полимеров становится все более и более популярной в связи с последними технологическими достижениями. Почти все термопласты можно использовать повторно. Использованные полимеры могут быть расплавлены и повторно использованы несколько раз, что делает их более экономичным решением для промышленности. Общая доля перерабатываемых полимеров варьируется в зависимости от региона к региону; при этом ЕС в целом занимает третье место.



**v. Срок службы**

Высокая стойкость полимеров к коррозии, химическим, физическим, погодным и иным воздействиям является одним из основных преимуществ их использования вместо аналогичных изделий из металлов, поскольку металлы очень подвержены коррозии, химическим и погодным воздействиям, что снижает их общий срок службы.

**vi. Безопасность**

Производство металлических изделий происходит при более высокой температуре, чем изделий из полимеров: температура плавления металла всегда выше температуры плавления полимера. Поэтому производство продукции из металлов требует большего внимания, нежели производство полимеров.

**vii. Скорость производства**

Процесс производства полимеров имеет более короткий цикл по сравнению с производством изделий из металла. При работе с полимерами дизайнеры могут объединять несколько деталей в одну форму, что сокращает общий производственный цикл, а также способствует повышению экономической эффективности.



## 1.1.6. Полимеры и окружающая среда

Так называемый Жизненный цикл продукции **Aliaxis** (Aliaxis's Life Cycle, **LCA**) гарантирует приверженность Компании заботе об окружающей среде.

Поскольку всё большее число клиентов хотели бы быть в полной мере осведомлены об экологических характеристиках продуктов, которые они покупают, и поскольку Компания хочет проанализировать, как она может ещё больше улучшить свою продукцию, был создан пакет **LCA**, позволяющий предприятиям извлекать выгоду из всех выполняемых работ. Компания предоставляет лицам, принимающим решения, и проектировщикам информационные пакеты по всем продуктам, позволяющие им делать выбор в пользу экологичного будущего.

Анализ **LCA** подтверждает, что системы полимерных труб являются более экологически чистыми и наилучшей альтернативой трубам, изготовленным из других материалов.

Кроме того, **Aliaxis** в сотрудничестве со специализированными компаниями и клиентами реализует пилотные проекты в Европе и Австралии по сбору отходов, их переработке и повторному использованию в производстве для получения замкнутой схемы переработки. Поступая таким образом, мы превосхищаем растущие ожидания клиентов и общества в отношении экологических характеристик нашей продукции.

### ► Энергосбережение

В дополнение к хорошо известным технологическим преимуществам (например, высочайшая коррозионная стойкость), не менее важны и экологические преимущества полимеров. Полимеры идеально подходят для широкого спектра энергоэффективных применений благодаря своему малому весу и превосходным изоляционным свойствам в автомобилестроении, в упаковочных, изоляционных и трубопроводных системах.

В своих исследованиях всеевропейская ассоциация **PlasticsEurope** количественно определила, как замена других материалов на полимерные уменьшает потребление энергии и выбросы парниковых газов.

### ► Результаты

#### Сокращение выбросов парниковых газов в процессе производства

Изделия из полимеров обычно требуют меньше энергии для производства, чем альтернативные материалы, особенно в таких областях, как транспорт, строительство, упаковка и электронная промышленность. Если бы полимеры были заменены альтернативными материалами, потребление энергии в течение их жизненного цикла увеличилось бы примерно на 57%, а выбросы парниковых газов выросли бы на 61%. Приведенные ниже диаграммы (см. Рис. 1.27 и Рис. 1.28). можно использовать в «обратном порядке»: проиллюстрировать, насколько увеличится выброс парниковых газов и потребление энергии, если полимеры заменять на альтернативные материалы.

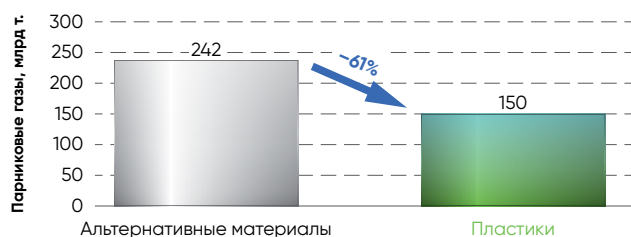


Рис. 1.27. Снижение выбросов парниковых газов при переходе на полимерные материалы

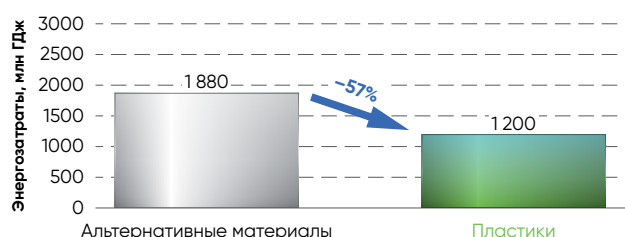


Рис. 1.28. Снижение энергопотребления при переходе на полимерные материалы

#### Полимеры: энергосбережение на транспорте

Самые энергоэффективные автомобили не могли бы работать в настоящее время и не будут существовать в будущем без полимерных материалов. В соответствии с целью сокращения в Европе выбросов CO<sub>2</sub> на транспорте на 60% к 2050 году, полимеры не только способствуют снижению общего веса транспортного средства, что приводит к снижению расхода топлива, но и обеспечивают автомобильную промышленность высокоэффективными материалами, которые играют жизненно важную роль в разработке решений с низкими выбросами парниковых газов. Это автомобили с гибридными, электрическими и водородными двигателями. Современный автомобиль среднего класса содержит до 15% полимерных материалов: от деталей кузова до внутренней отделки, подушек безопасности и шин. Полимеры также прекрасно зарекомендовали себя при производстве автобусов и поездов, что позволяет экономить энергию, инвестиции и затраты на техническое обслуживание.

## Полимеры: энергосбережение в строительстве

В ЕС на здания приходится примерно 40% энергопотребления и выбросов парниковых газов. Полимеры могут помочь снизить эти значения. 9 из 10 зданий, используемых в настоящее время, к 2050 году всё ещё будут находиться в эксплуатации; поэтому для достижения целей ЕС в этой области необходимы как реконструкция существующих зданий, так и строительство энергоэффективных новых зданий.

Полимеры могут играть ключевую роль, поскольку они обеспечивают уникальное сочетание экологических характеристик, экономической эффективности и надёжности на протяжении длительного времени.

### Эффективные изоляционные материалы

В зданиях полимеры обеспечивают эффективную изоляцию от холода и тепла. Полимерные изоляционные материалы при производстве требуют примерно на 16% меньше энергии (при этом выбрасывается на 9% меньше парниковых газов), чем при производстве утеплителей из альтернативных материалов. На протяжении всего жизненного цикла полимерные изоляционные плиты экономят в 150 раз больше энергии, чем было использовано для их изготовления.

### Возобновляемые источники энергии

Лопастей роторов ветряных турбин и фотоэлектрические панели содержат большое количество полимера, что способствует эффективному производству возобновляемой энергии. В этих двух областях применение полимеров уменьшает выбросы при производстве в 140 и 340 раз соответственно.

## 1.1.7. Методы производства полимеров

### ► Полимеризация

Полимеры изготавливаются из необработанных органических и неорганических продуктов, таких как целлюлоза, металлы, природный газ, соли и, разумеется, сырая нефть.

Производство полимеров начинается на нефтеперерабатывающем заводе с перегонки сырой нефти: перегонка расщепляет тяжёлую сырую нефть на группы более лёгких частей, называемых фракциями. Каждая фракция представляет собой смесь углеводородных цепей, которые различаются по своему молекулярному размеру и структуре.

Ключевым соединением для производства полимеров является одна из этих фракций — нефтяной спирт (иначе называемая лигроином или нефтяным спиртом). Нефтяной спирт расщепляется и превращается в этилен, пропилен, бутилен и другие углеводородные соединения в процессе термического крекинга.

Большая часть сырья, используемого для этой цели, поступает из переработки сырой нефти, но в некоторых случаях также используется сырьё из возобновляемых источников. Всего около 4% сырой нефти, поступающей с нефтеперерабатывающего завода, поступает на рынок полимеров.

Полимеры образуются путём объединения молекул-мономеров в полимерные цепочки при помощи химических связей. Реакция объединения этих мономеров с образованием длинных цепей или трехмерных сетей иначе называется полимеризацией. Существует несколько типов полимеризации, основные из которых:

- ступенчатая или конденсационная полимеризация;
- цепная или аддитивная полимеризация.

## Конденсационная полимеризация

При конденсационной полимеризации молекулы вступают в реакцию с образованием нового мономера и (обычно) побочных веществ (см. Рис. 1.29).

Тип полимеров, образующихся в результате конденсационной полимеризации, зависит от мономеров: если мономер имеет только одну реакционноспособную группу, полимеры будут иметь низкую молекулярную массу, если мономер имеет две реакционноспособные концевые группы, мы получим линейные полимеры. Мономеры с более чем двумя реакционноспособными группами приводят к получению полимера с трёхмерной сеткой. Полиэстер и нейлон являются двумя распространёнными конденсационными полимерами. Белки и углеводы также являются результатом конденсационной полимеризации.

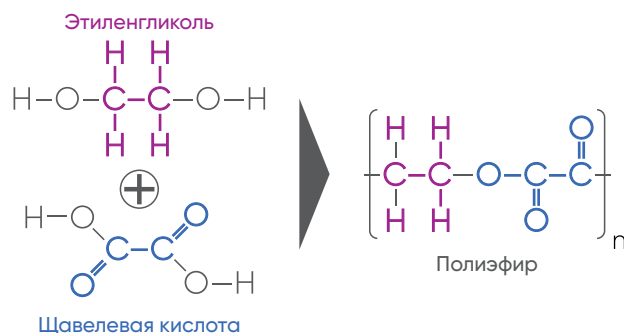


Рис. 1.29. Пример конденсационной полимеризации. Побочный продукт реакции – вода

## Аддитивная полимеризация

При аддитивной полимеризации повторяющиеся мономерные единицы перестраиваются, образуя новую линейную или разветвленную структуру в зависимости от типа мономера, но при этом не происходит образования побочных веществ (см. Рис. 1.30).

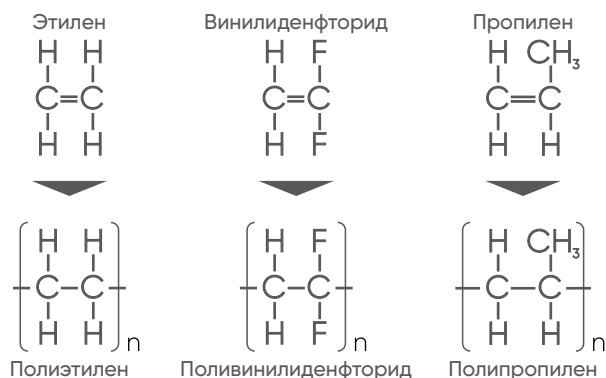


Рис. 1.30. Примеры аддитивной полимеризации, без образования побочных веществ

Существует четыре типа аддитивной полимеризации.

**Радикальная полимеризация.** Полимер образуется путём последовательного добавления свободнорадикальных мономеров («строительных блоков»). Стадия роста цепи заключается в последовательном присоединении молекул мономера к растущему макрорадикалу.

**Катионная полимеризация.** Катионный инициатор переносит заряд на мономер, который затем становится реакционноспособным. Этот реакционноспособный мономер вступает в аналогичную реакцию с другими мономерами (т.к. концевое звено растущей цепи несёт полный или частичный положительный заряд) с образованием полимера.

**Анионная полимеризация.** Это процесс образования макромолекул, в котором активные центры несут отрицательный заряд. В анионную полимеризацию вступают мономерные единицы, содержащие кратные связи C=C и C=гетероатом, а также гетероциклические соединения. Для полимеризации по анионному механизму мономерные единицы винилового и дивинилового рядов должны содержать электроноакцепторные заместители у двойной связи (акрилонитрил, метакрилонитрил, стирол, акриловые и метакриловые эфиры и др.).

**Координационная полимеризация.** Она была открыта двумя учёными: Карлом Циглером и Джулио Наттой, которые получили в 1963 году Нобелевскую премию по химии за свою работу. Они разработали катализатор, который позволил контролировать радикальную полимеризацию. Другими словами, под координационной полимеризацией понимают такой способ образования полимера, при котором мономер внедряется между фрагментом инициатора – атомом металла комплексного катализатора – и растущей цепью. Степень внедрения при этом предполагает, как правило, предварительную координацию (фиксацию) мономера на атоме металла. Координационная полимеризация позволяет получать полимеры, обладающие значительной плотностью и прочностью.

### 1.1.8. Методы производства изделий из полимеров

Термопласты, обычно в гранулированном виде, с помощью различных механизмов превращаются в полуфабрикаты или непосредственно в готовые изделия, требующие минимальной последующей обработки. В последующих разделах кратко описываются наиболее важные аппараты для обработки полимеров и в простых терминах объясняются их функции и области применения.

Для производства трубопроводных систем **Aliaxis** используются различные методы изготовления полимеров. Так, для изготовления фитингов и клапанов используется литьё под давлением, для труб – экструзионная техника.

#### ► Литьё под давлением

Литьё под давлением является одним из наиболее распространённых методов производства изделий из полимеров, особенно из термопластов. Метод основан на впрыске расплава под давлением в разборную пресс-форму.

#### Процесс

Гранулы полимера помещаются в бункер. Из него вращающийся шнек перемещает гранулы в камеру нагрева. Расплав полимера гомогенизируется и через литниковые каналы под давлением подаётся в закрытую разъёмную форму. После того, как форма заполнена, происходит частичное охлаждение отливки. Затем узел смыкания раскрывает форму и, возможно, выталкивает отливку на конвейер (см. Рис. 1.31).

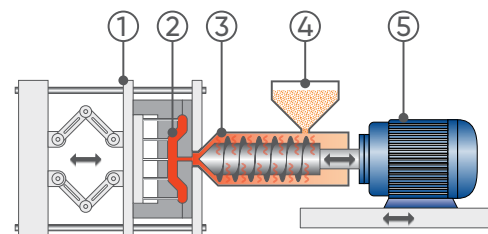
#### Преимущества метода

- Этот метод используется специально для создания объектов сложной формы;
- минимальное количество отходов и возможность вторичной переработки материала;
- возможность создания объектов очень сложной формы с высокой точностью;
- прочность детали после её формования значительно повышается.

#### Линия спая

Процесс литья под давлением часто оставляет т.н. линию спая в месте слияния потоков полимера из различных литниковых каналов. Другими словами, линия спая – это видимая линия на изделии, снаружи и внутри (если у него есть внутренние полости), место, где свариваются потоки расплава во время операции литья под давлением (см. Рис. 1.32 и Рис. 1.33).

Линию спая не следует путать с линией разъёма пресс-формы, которая также отображается на формованном фитинге: линия разъёма образована двумя половинами сопрягаемой полости пресс-формы. Разделительные линии обычно гораздо более заметны, чем линии сварки. Как правило, наличие этой линии не влияет на общую форму или габариты изделия, однако, в некоторых случаях она может быть в той или иной степени заметна. Существует множество способов сделать эту линию менее заметной на формуемой детали, но поскольку литьё под давлением происходит в форму, состоящую из двух частей, эту линию никогда нельзя полностью устранить.



- ① – разъёмная форма с механизмом выдавливания отливки;
- ② – отливка;
- ③ – шнек с подогревом расплава;
- ④ – бункер с гранулами;
- ⑤ – механизм вращения и отвода/подвода шнека.

Рис. 1.31. Принципиальная схема устройства аппаратов литья под давлением

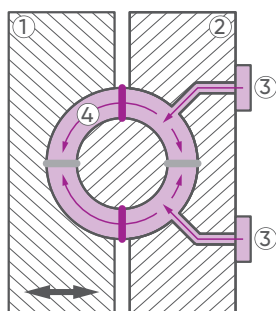


Рис. 1.32. Принцип образования линий спая и линий разъёма при изготовлении деталей методом литья под давлением

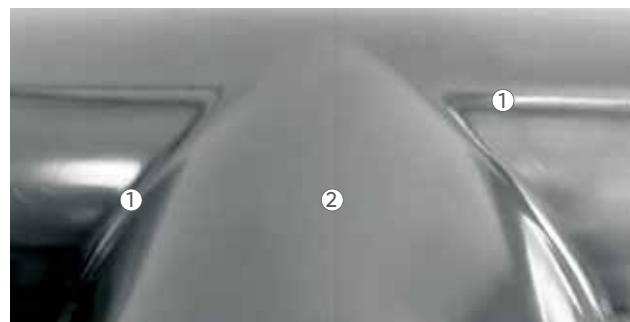
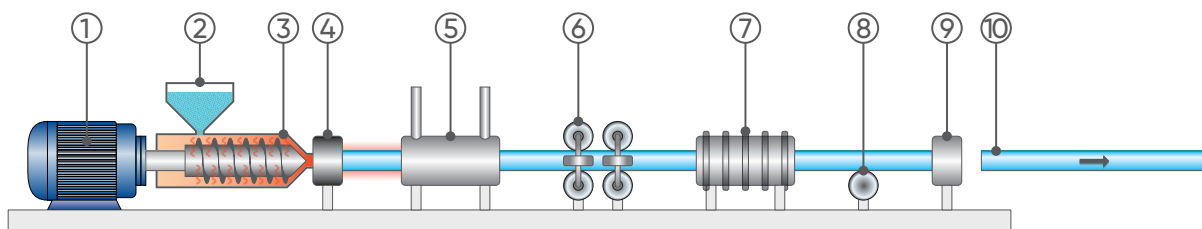


Рис. 1.33. Линии спая (1) и разъёма формы (2) на поверхности фитинга



## ► Экструзия

Экструзия – способ получения изделий или полуфабрикатов неограниченной длины из полимерных материалов путём выдавливания расплава через формующую головку (фильеру) нужного профиля. Таким методом получают трубы, оконные профили, трубочки для коктейлей и проч. (см. Рис. 1.34).



- |                                     |                                       |
|-------------------------------------|---------------------------------------|
| ① – механизм вращения шнека;        | ⑥ – тянущее устройство;               |
| ② – бункер с гранулами;             | ⑦ – блок постобработки (опционально); |
| ③ – шнек с подогревом расплава;     | ⑧ – маркирующее устройство;           |
| ④ – фильера;                        | ⑨ – резак;                            |
| ⑤ – секция охлаждения и калибровки; | ⑩ – готовая продукция на склад.       |

Рис. 1.34. Принципиальная схема устройства аппаратов для экструзии

## Процесс

Материал, подлежащий расплавлению, подаётся шнеком в экструдер, как правило, в гранулированном виде. Гранулы нагреваются и пластифицированный материал продавливается через формующую головку (фильеру), а затем охлаждается в секции калибровки и охлаждения. В результате процесса экструзии цепи макромолекул, образующих полимер, принудительно упорядочиваются и ориентируются.

**Экструзия – непрерывный процесс, позволяющий создавать линейные изделия любой длины.**

## Преимущества метода

- возможность создания деталей из твёрдых и хрупких полимеров;
- метод прекрасно подходит для создания продукции с постоянным поперечным сечением;
- метод гарантирует получение гладкой поверхности конечного продукта;
- возможна дополнительная обработка изделий после экструзии (например, перфорация труб);
- продукция может изготавливаться с различными вариациями (толщина стенок, текстура, цвет и проч.).



Рис. 1.35. В позиционере FIP чёрная сетка (за жёлтым указателем угла поворота) изготавливается методом 3D-печати



Рис. 1.36. С помощью 3D-печати удобно изготавливать прототипы новой продукции

### ► 3D-печать

3D-печать иногда называют аддитивным производством (т.е. технологией послойного наращивания и синтеза объектов). 3D-печать может быть крайне полезна при создании прототипов или единичных образцов продукции и является развивающейся технологией, предлагающей различные преимущества. Одним из ключевых преимуществ 3D-печати является возможность создания объектов очень сложной формы или строения, которые иным способом создать было бы невозможно или экономически нецелесообразно. Это, например, детали с внутренними полостями или снижающими вес внутренними ферменными конструкциями.

#### Процесс

С помощью соответствующего программного обеспечения создаётся дизайн объекта. Затем 3D-принтер послойно добавляет материал, пока объект не будет сформирован физически.

Самой распространённой технологией 3D-печати в настоящее время является технология FDM (Fused Deposition Modeling) – моделирование методом послойного наплавления.

#### Преимущества метода

- метод очень удобен для тестирования новой продукции, так как можно создать единичный образец, чтобы проверить его физические свойства или найти недостатки в дизайне;
- изделия со сложными формами и геометрией можно легко изготовить с помощью 3D-печати;
- меньше отходов производства;
- в некоторых случаях метод оказывается экономически выгодным и для серийного производства;
- экологичность: снижение выбросов CO<sub>2</sub>;
- часто этот метод оказывается дешевле любого другого производственного решения.

### ► Компрессионное формование

Компрессионное формование (или литьевое прессование) – это распространённый метод формования изделий, пригодный как для термопластичных, так и для термореактивных материалов. Однако в промышленности этот процесс в основном используется для создания изделий из термореактивных полимеров. Как правило, термореактивные соединения, такие как полиэфир, фенолы, меламины и другие, формируются прессованием с использованием чередующихся слоёв различных армирующих материалов для создания конечного продукта.

#### Процесс

Прессование осуществляется путём помещения полимерного материала (в виде гранул или порошка) в полость пресс-формы, которая затем нагревается под давлением. Нагрев и давление заставляют расплав проникать во все части формы и упрочняют сформированное изделие, которое затем удаляется (см. Рис. 1.37).

#### Преимущества метода

- создаёт чрезвычайно низкое или нулевое остаточное напряжение в изделии;
- может быть экономически выгодным при производстве крупных деталей;
- затраты на оснастку относительно невелики;
- метод прекрасно подходит для обработки термореактивных материалов.

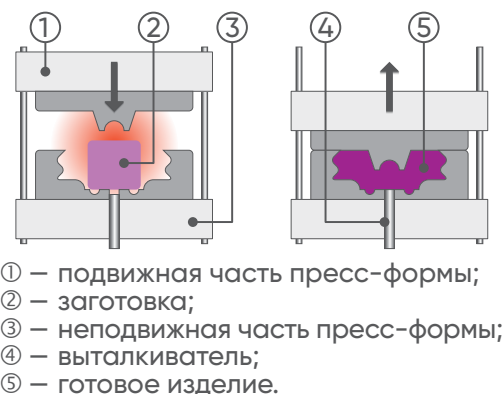


Рис. 1.37. Принципиальная схема устройства аппаратов для компрессионного формования



## 1.2. Виниловые и стирольные полимеры

### 1.2.1. Поливинилхлориды (ПВХ)

ПВХ является третьим по распространённости синтетическим полимером в мире (после полиэтилена и полипропилена). Ежегодно производится около 40 миллионов тонн ПВХ. Чистый поливинилхлорид представляет собой белое хрупкое твёрдое вещество, содержащее в своём составе примерно 56% хлора. ПВХ нерастворим в воде и спирте, но слабо растворим в тетрагидрофуране.

ПВХ был синтезирован в 1872 году немецким химиком Ойгеном Бауманном после длительных исследований и экспериментов. Полимер выглядел как белое твёрдое вещество внутри колбы с винилхлоридом, которую Бауманн в течение четырёх недель держал на полке, защищённой от солнечного света. В начале XX века русский химик Иван Иванович Остромысленский и Фриц Клатте из немецкой химической компании Griesheim-Elektron попытались использовать ПВХ в коммерческих продуктах, но трудности с обработкой жёсткого, иногда хрупкого полимера помешали их усилиям. А в 1926 году американский изобретатель Уолдо Лонсбери Семон и B.F. Goodrich Company разработали метод пластификации ПВХ путём смешивания его с различными добавками. В результате получился более гибкий и легко обрабатываемый материал, который вскоре получил широкое коммерческое применение.

В зависимости от добавления определённых ингредиентов образуются различные типы ПВХ. Различные составы, полученные путём добавления подходящих добавок и стабилизаторов, делают ПВХ наиболее универсальным из всех полимеров, позволяя адаптировать его ко многим применениям, связанным с жидкостями под давлением. ПВХ – один из наиболее экономичных способов решения проблем транспортировки агрессивных химических жидкостей. Он также крайне широко применяется в области очистки воды и водоснабжения в целом.

Компания **Aliaxis** предлагает продукцию НПВХ (непластифицированный ПВХ) и ХПВХ (хлорированный ПВХ), полностью соответствующую стандартам.



Рис. 1.38. Гранулы поливинилхлорида



Рис. 1.39. В 1954 году компания FIP выпустила первый в мире кран из НПВХ

### 1.2.2. Поливинилхлорид непластифицированный (НПВХ)

Таб. 1.1. НПВХ. Физические свойства

Параметр	Значение	Ед. изм.	Метод испытания
Плотность	1,38	г/см <sup>3</sup>	ISO 1183, ASTM D792
Модуль упругости Юнга	3200	Н/мм <sup>2</sup> (МПа)	ISO 527, ASTM D638
Ударная вязкость по Шарпи (при +23 С°)	5..8	кДж/м <sup>2</sup>	ISO 179-180, ASTM D256
Предел текучести при растяжении	50	%	ISO 527
Твёрдость по Шору	80	Шкала D	ISO 868
Прочность при разрыве	50	Н/мм <sup>2</sup> (МПа)	ISO 527, ASTM D638
Температура размягчения по методу Вика	70	°С	ISO 306
Температура прогиба под нагрузкой	86	°С	ISO 75, ASTM D648
Теплопроводность	0,16	Вт/(м × °С)	DIN 52612-1, ASTM C177
Коэффициент линейного теплового расширения	8,0×10 <sup>-5</sup>	°С <sup>-1</sup>	DIN 53752, ASTM D696
Кислородный индекс	43	%	ISO 4859-1, ASTM D2863

Таб. 1.2. Преимущества поливинилхлорида непластифицированного

Параметр		Преимущества
Устойчивость к ультрафиолету и атмосферным воздействиям		НПВХ обладает очень хорошей устойчивостью к атмосферным воздействиям. Материал практически не повреждается при активном воздействии прямых солнечных лучей, ветра и дождя. Однако было бы полезно защитить изделия из НПВХ от чрезмерного воздействия ультрафиолета. По вопросам эффективных мер безопасности обращайтесь к ответственному представителю компании <b>Aliaxis</b> .
Химическая стойкость		Поливинилхлориды обладают превосходной химической стойкостью к большинству кислот и щелочей, парафиновым/алифатическим углеводородам и соляным растворам. Не рекомендуется использовать трубы из НПВХ для транспортировки полярных органических соединений, в том числе некоторых видов хлорированных и ароматических растворителей. НПВХ также прекрасно подходит для транспортировки пищевых продуктов, деминерализованной, питьевой и чистой воды, как это предусмотрено действующими национальными и международными стандартами. Для конкретных применений см. Таблицу химической стойкости <b>Aliaxis</b> на официальном сайте Компании.
Хорошие термические и механические свойства		Изделия из НПВХ обладают хорошей термостойкостью в диапазоне температур от 0 °С до +60 °С и обычно используются в промышленности и водоснабжении, гарантируя превосходную механическую прочность, достаточную жёсткость для заявленных целей, низкий коэффициент теплового расширения и высокую безопасность при эксплуатации. НПВХ характеризуется низкой проницаемостью для кислорода и крайне малым водопоглощением (0,1% при +23 °С). Термостойкость материала в сочетании с хорошей ударопрочностью позволяет выдерживать в трубопроводах рабочее давление до 16 бар.
Устойчивость к старению		НПВХ обладает высокой прочностью при разрыве, что обеспечивает длительный срок службы системы без каких-либо признаков значительного физико-механического износа.
Устойчивость к истиранию		Смешивание НПВХ-смола, смазочных материалов, модификаторов и многочисленных добавок в сочетании с новыми технологиями экструзии приводит к получению эластичных труб с выдающейся стойкостью к истиранию. В качестве материала трубопровода для транспортировки абразивных материалов часто выбирают именно ПВХ. По сравнению с другими материалами, естественная стойкость винила к истиранию способствует значительному увеличению продолжительности жизни оборудования. Так, установка виниловых трубопроводов вместо обычных металлических или прорезиненных стальных труб для транспортировки горных и песчаных шламов привела к значительно меньшему истиранию, резко сократила техническое обслуживание и увеличила долговечность транспортной системы.
Поведение при горении		Соединения НПВХ достаточно устойчивы к открытому огню. Температура воспламенения НПВХ – +399 °С. Это обусловлено высоким содержанием хлора в материале. При воздействии открытого пламени ПВХ горит, но гаснет сразу после отвода огня. Кислородный индекс составляет 43% (полимеры поддерживают горение, если их кислородный индекс ниже 21%). Поскольку продуктом горения НПВХ является хлористый водород, который в соединении с водой образует соляную кислоту, после горения требуется немедленная очистка тех элементов конструкции, которые могут быть подвержены коррозии. Опасность соляной кислоты незначительна, зато её резкий запах позволяет быстро избавиться от ядовитых продуктов сгорания, в том числе от окиси углерода, не имеющей запаха. Благодаря низкому коэффициенту теплопроводности использование труб из НПВХ для транспортировки горячих жидкостей снижает потери тепла и практически устраняет проблемы с конденсацией.
Электропроводность		НПВХ имеет удельное сопротивление более $10^{13}$ Ом*м, т.е. обладает прекрасными изоляционными свойствами.

### 1.2.3. Поливинилхлорид хлорированный (ХПВХ)

ХПВХ — это термопласт, получаемый путём хлорирования поливинилхлорида с целью повышения растворимости и увеличения его термостойкости. Реакция хлорирования обычно инициируется применением тепловой или УФ-энергии с использованием различных подходов. В этом процессе газообразный хлор разлагается на свободнорадикальный хлор, который затем реагирует с ПВХ на стадии после производства, по существу заменяя часть водорода в ПВХ хлором.




В 1986 году **FIP** была первой европейской компанией, которая произвела из ХПВХ комплексную систему клапанов, фитингов и труб под названием TemperFIP100®. Результатом дальнейшей работы стало создание целой серии продуктов для промышленных предприятий. Сегодня в производстве линии TemperFIP экструдированных и литых под давлением труб, фитингов и клапанов используются ХПВХ-полимеры (торговая марка Corzan™), специально разработанные для промышленного применения. ХПВХ-полимеры превосходно подходят для подачи воды на очистные сооружения, а также для транспортировки очищенной и технической воды.

Система ХПВХ TemperFIP100® представляет собой одно из наиболее экономичных решений в области термопластичных материалов, способных решить проблемы, возникающие в технологических и сервисных линиях транспортировки горячих агрессивных жидкостей в промышленном секторе, а также в бытовых системах распределения горячей и холодной воды.

Таб. 1.3. ХПВХ. Физические свойства

Параметр	Значение	Ед. изм.	Метод испытания
Плотность	1,50	г/см <sup>3</sup>	ISO 1183, ASTM D792
Модуль упругости Юнга	2700	Н/мм <sup>2</sup> (МПа)	ISO 527, ASTM D638
Ударная вязкость по Шарпи (при +23 С°)	8	кДж/м <sup>2</sup>	ISO 179-180, ASTM D256
Предел текучести при растяжении	50	%	ISO 527
Твёрдость по Шору	80	Шкала D	ISO 868
Прочность при разрыве	50	Н/мм <sup>2</sup> (МПа)	ISO 527, ASTM D638
Температура размягчения по методу Вика	76	°С	ISO 306
Температура прогиба под нагрузкой	86	°С	ISO 75, ASTM D648
Теплопроводность	0,16	Вт/(м×°С)	DIN 52612-1, ASTM C177
Коэффициент линейного теплового расширения	6,7×10 <sup>-5</sup>	°С <sup>-1</sup>	DIN 53752, ASTM D696
Кислородный индекс	60	%	ISO 4859-1, ASTM D2863

Таб. 1.4. Преимущества поливинилхлорида хлорированного

Параметр		Преимущества
Устойчивость к ультрафиолету и атмосферным воздействиям		ХПВХ обладает очень хорошей устойчивостью к атмосферным воздействиям. Материал практически не повреждается при активном воздействии прямых солнечных лучей, ветра и дождя. Однако было бы полезно защитить изделия из ХПВХ от чрезмерного воздействия ультрафиолета. По вопросам эффективных мер безопасности обращайтесь к ответственному представителю компании <b>Aliaxis</b> .
Химическая стойкость		Использование полимера Corzan™, получаемого хлорированием гомополимерного ПВХ, может гарантировать высокую химическую стойкость к воздействию сильных неорганических кислот, солевых и щелочных растворов, парафиновых углеводородов. Кроме того, ХПВХ обладает превосходной стойкостью к хлору при повышенных температурах. Не рекомендуется для транспортировки полярных органических соединений, в том числе некоторых видов хлорированных и ароматических растворителей. Стойкость ХПВХ к электрохимической коррозии гарантирует превосходную надёжность при подаче горячей воды для бытовых нужд в обычных системах и системах солнечных батарей.
Хорошие термические и механические свойства		ХПВХ TemperFIP100® обычно используется при температурах 0...+85 °С и имеет весьма низкий коэффициент теплового расширения, что гарантирует превосходную механическую прочность, поэтому такие трубопроводы можно эксплуатировать при рабочих давлениях до 10...16 бар. Прекрасная термостойкость ХПВХ в сочетании с оптимальным пределом текучести при растяжении позволяет использовать его при температурах до +95 °С для специальных применений и для удовлетворения особых требований к производительности. Низкий коэффициент теплопроводности практически устраняет проблемы с конденсацией и снижает потери тепла при транспортировке горячих жидкостей.

Устойчивость к старению		ХПВХ-полимеры характеризуются низкой проницаемостью для кислорода и низким водопоглощением (0,07% при 23 °С). Физические свойства материала делают его очень устойчивым к старению и агрессивному воздействию атмосферных факторов (ультрафиолетовое излучение) благодаря наличию в составе диоксида титана. Правильное проектирование системы и её монтаж обеспечивают многолетнюю эксплуатацию без технического обслуживания. Продукция <b>Aliaxis</b> не подвержена коррозии, на внешних и внутренних сторонах труб и арматуры не будет образовываться накипь. Опыт показывает, что системы трубопроводов из термопластов в различных сложных промышленных системах могут успешно работать более 45 лет.
Устойчивость к истиранию		Смешивание ХПВХ-смола, смазочных материалов, модификаторов и многочисленных добавок в сочетании с новыми технологиями экструзии приводит к получению эластичных труб с выдающейся стойкостью к истиранию. В качестве материала трубопровода для транспортировки абразивных материалов часто выбирают именно ХПВХ. По сравнению с другими материалами, естественная стойкость винила к истиранию способствует значительному увеличению продолжительности жизни оборудования. Так, установка виниловых трубопроводов вместо обычных металлических или прорезиненных стальных труб для транспортировки горных и песчаных шламов привела к значительно меньшему истиранию, резко сократила техническое обслуживание и увеличила долговечность транспортной системы.
Поведение при горении		Соединения ХПВХ из-за высокого содержания хлора крайне устойчивы к открытому огню. Температура воспламенения ХПВХ – +482 °С. При воздействии открытого пламени ХПВХ горит, но гаснет сразу после отвода пламени. Кислородный индекс составляет 60% (полимеры поддерживают горение, если их кислородный индекс ниже 21%). Поскольку продуктом горения ХПВХ является хлористый водород, который в соединении с водой образует соляную кислоту, после горения требуется немедленная очистка тех элементов конструкции, которые могут быть подвержены коррозии. Опасность соляной кислоты незначительна, зато её резкий запах даже при низких концентрациях (1...5 частей на миллион) позволяет быстро избавиться от ядовитых продуктов сгорания, в том числе от окиси углерода, не имеющего запаха. Предпочтительными веществами для тушения ХПВХ являются вода, углекислый газ.
Электропроводность		Как и все термопласты, ХПВХ является диэлектриком. Ввиду этого не подвержен электрохимической коррозии. ХПВХ имеет удельное сопротивление более 10 <sup>13</sup> Ом×м, т.е. обладает прекрасными изоляционными свойствами.

#### 1.2.4. Акрилонитрил бутадиен стирол (АБС)

Акрилонитрил бутадиен стирол (или АБС-полимер) является распространённым термопластичным полимером. Его температура стеклования составляет приблизительно +105 °С. Поскольку АБС относится к аморфным термопластам, он не имеет точной температуры плавления.

АБС получают из акрилонитрила, бутадиена и стирола. Акрилонитрил – синтетический мономер, полученный из пропилена и аммиака; бутадиен – ненасыщенный углеводород, который получают дегидрированием бутана либо его пиролизом; мономер стирола получают дегидрированием этилбензола – углеводорода, полученного в реакции этилена и бензола (см. Рис. 1.40).

Пропорции компонентов в АБС-полимерах могут варьироваться от 15 до 35% акрилонитрила, от 5 до 30% бутадиена и от 40 до 60% стирола. Нитрильные группы из соседних цепей, будучи поляризованными, взаимодействуют друг с другом и связывают цепи вместе, делая АБС-полимеры прочнее чистого полистирола. Стирол придаёт полимеру блестящую, глянцевую поверхность. Полибутадиен, эластичное вещество, обеспечивает прочность даже при низких температурах. Для большинства применений изделия из АБС-полимеров можно использовать при температуре от –40 °С до +60 °С, однако его механические свойства меняются в зависимости от температуры. Особые свойства АБС-полимеров создаются за счёт того, что мелкие частицы эластомера распределяются по всей жёсткой матрице.



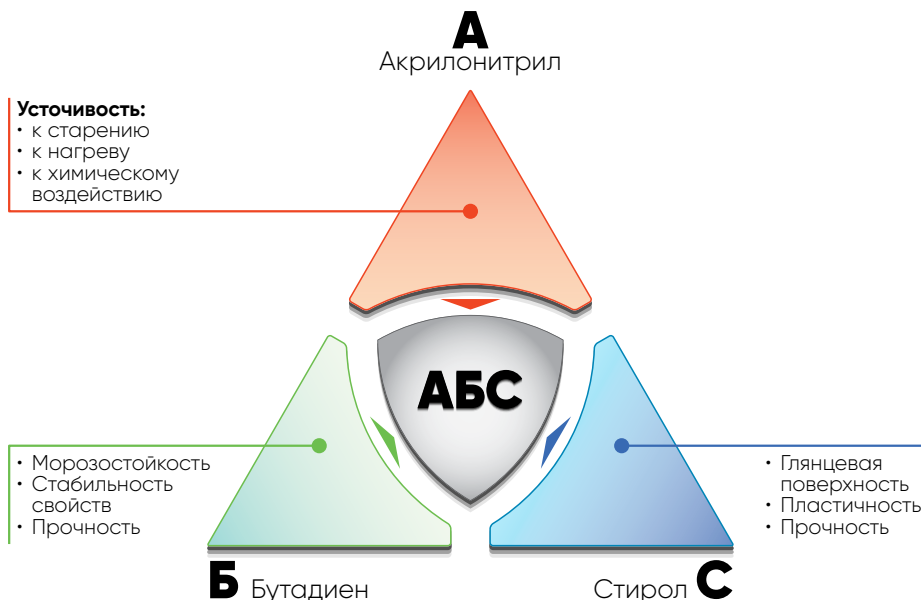






Рис. 1.40. Компоненты АБС-полимера

Таб. 1.5. АБС. Физические свойства

Параметр	Значение	Ед. изм.	Метод испытания
Плотность	0,93	г/см <sup>3</sup>	EN ISO 1183
Модуль упругости Юнга	2000	Н/мм <sup>2</sup> (МПа)	ISO 527, ASTM D638
Ударная вязкость по Шарпи (при +23 С°)	20	кДж/м <sup>2</sup>	ISO 179-180, ASTM D256
Предел текучести при растяжении	50	%	ISO 527
Твёрдость по Шору	100	Шкала D	ISO 868
Прочность при разрыве	40	Н/мм <sup>2</sup> (МПа)	ISO 527, ASTM D638
Температура размягчения по методу Вика	не менее 87	°С	ISO 306
Температура прогиба под нагрузкой	100	°С	ISO 75, ASTM D648
Теплопроводность	0,10	Вт/(м × °С)	DIN 52612-1, ASTM C177
Коэффициент линейного теплового расширения	10,0×10 <sup>-5</sup>	°С <sup>-1</sup>	DIN 53752, ASTM D696
Кислородный индекс	19	%	ISO 4859-1, ASTM D2863

Таб. 1.6. Преимущества АБС-полимеров

Параметр		Преимущества
Устойчивость к ультрафиолету и атмосферным воздействиям		Если в течение длительного периода времени трубопровод из АБС-полимера подвергается воздействию прямых солнечных лучей, его поверхность теряет блеск, а цвет меняется на светло-серый. Некоторая потеря прочности, как правило, не вызывает проблем в умеренных климатических зонах из-за очень высокой ударной вязкости АБС. Тем не менее, <b>Aliaxis</b> рекомендует защищать поверхность от ультрафиолета в экстремальных погодных условиях или при очень высоких нагрузках на трубопроводную систему.
Химическая стойкость		АБС-полимеры обладают прекрасной устойчивостью к воздействию как кислот, так и щелочей. Химическая стабильность АБС-полимеров есть следствие сильной химической связи между нитрильными группами, ароматическими цепями в стирольной группе и углеводородной основой. Прочные химические связи также обеспечивают определённую степень термостойкости полимера, предохраняя его от разрушения даже при высоких температурах. В большинстве случаев АБС-полимеры можно использовать в диапазоне -40...+60 °С.

Хорошие термические и механические свойства		Для эффективности работы охлаждающих систем крайне важна хорошая изоляция контуров охлаждения и охлаждающей жидкости. Традиционно используемые в таких системах материалы – медь или сталь – являются очень хорошими проводниками тепла (их удельная теплопроводность 300...350 Вт/(м·°С) и 50...80 Вт/(м·°С) соответственно). Это неотъемлемое свойство материала заставляет их очень эффективно проводить тепло, снижая эффективность систем охлаждения. Ещё одной распространённой проблемой при использовании теплопроводящих материалов для систем охлаждения является необходимость укутывания труб теплоизолирующим материалом для предотвращения конденсации на них влаги. АБС-полимеры имеют очень низкую удельную теплопроводность, порядка 0,10...0,25 Вт/(м·°С). Поэтому трубопроводы из АБС-полимеров обеспечивают большую эффективность охладительных систем и часто делают излишней теплоизоляцию труб. Разумеется, в случае очень большой разницы между температурой охлаждающей жидкости и температурой окружающей среды, а также при высокой относительной влажности воздуха таковая изоляция может потребоваться даже для труб из АБС-полимера.
Устойчивость к истиранию		Помимо превосходной ударной вязкости, бутадиеновый компонент придаёт АБС-полимерам отличную стойкость к истиранию. Благодаря этому свойству системы трубопроводов из АБС-полимеров уже давно используются для транспортировки твёрдых веществ и суспензий, например, в горнодобывающей промышленности. Таким образом, во многих сферах трубопроводы из АБС гораздо эффективнее традиционных стальных.
Виды повреждений		АБС-полимер это пластичный материал с режимом разрушения, напоминающим мягкую медь. Разрушение происходит из-за пластического деформирования с последующим разрывом и носит локальный характер, что сводит к минимуму потерю содержимого трубопровода. Напротив, разрушение жёсткого материала сопровождается быстрым распространением трещин и фрагментацией материала труб. В зависимости от условий, этот тип разрушения с быстрой фрагментацией может привести к разрыву многих участков трубопроводной системы, включая клапаны и фитинги. Этот тип разрушения может усугубляться неблагоприятными условиями эксплуатации, такими как гидроудар, длительное воздействие ультрафиолета, низкие температуры окружающей среды или перекачиваемого содержимого, а также неверный выбор материала трубы для конкретного применения.
Поведение при горении		АБС-полимер самовоспламеняется при температурах, превышающих +450 °С. При воздействии открытого пламени АБС горит, и материал продолжает гореть даже после удаления пламени. Кислородный индекс составляет 19%. При сгорании АБС образуются углекислый газ и вода. Испытания показали, что относительная токсичность продуктов сгорания аналогична или даже ниже, чем у натуральных продуктов, таких как древесина, хлопок и шерсть. Продукты сгорания АБС не являются коррозионными. Тем не менее, при сгорании образуется сажа. Подходящими средствами пожаротушения являются вода, пена и углекислый газ.
Электропроводность		Как и все термопласты, АБС является диэлектриком и ввиду этого не подвержен электрохимической коррозии. АБС имеет удельное сопротивление порядка $3,5 \times 10^{14}$ Ом·м, т.е. обладает прекрасными изоляционными свойствами.

## 1.3. Полиолефины и фторированные полимеры

### Полиолефины

Олефины (от латинского *oleum* – масло), иначе называемые алкенами или этиленовыми углеводородами, это ненасыщенные ароматические углеводороды, содержащие одну двойную связь  $C=C$ . Первым углеводородом в этом ряду стоит этилен ( $C_2H_4$ ).

Полиолефины – это полимеры, получаемые из мономеров олефинов. Например, полиэтилен – это полиолефин, полученный полимеризацией этилена. Полипропилен – ещё один распространённый полиолефин, который производится из пропилена ( $C_3H_6$ ).

Большинство полиолефинов, производимых в промышленных масштабах, получают путём полимеризации с использованием катализаторов. Существует четыре основных типа полиолефиновых катализаторов: катализаторы на основе хрома, катализаторы Циглера–Натта, металлоценовые и постметаллоценовые катализаторы.

Для получения полиэтилена можно использовать все четыре типа катализаторов. Для получения полипропилена используют последние три типа катализаторов.

### Фторированные полимеры

Фторполимеры или фторопласты – это полимеры на основе фторуглеродов с множественными связями углерод-фтор, в которых большая часть или даже весь водород заменён фтором.

Ввиду этого фторированные полимеры проявляют очень интересные свойства: химическая (инертность к кислотам, основаниям, растворителям и маслам) и термическая (высокий кислородный индекс означает, что эти полимеры не поддерживают горение и не являются легко воспламеняемыми) стабильность, высокая устойчивость к старению, высокий коэффициент поверхностного натяжения (что делает эти полимеры крайне гидрофобными).

Поскольку фторированные полимеры включают широкий спектр термопластичных и эластомерных материалов, начиная от полукристаллических и заканчивая полностью аморфными, они используются в самых разнообразных областях промышленности.

#### 1.3.1. Полиэтилены (ПЭ)

Полиэтилен – это полукристаллический термопластичный материал, относящийся к группе полиолефинов. Он является наиболее распространённым полимером, используемым сегодня. В мире ежегодно производится более 100 миллионов тонн полиэтиленовых смол, что составляет до 40% от всего объёма производства полимеров.

Напорные трубы **Aliaxis** из полиэтилена высокой плотности идеально подходят для применения во всех областях промышленного машиностроения. Другими основными областями применения являются транспортировка промышленных и бытовых сточных вод, очистка сточных вод и очистка воды на очистных сооружениях. Его также используют в системах обслуживания плавательных бассейнов.

**Механические свойства полиэтилена существенно зависят от плотности, степени кристаллизации и процесса производства, что отражается в разнообразии его типов. Полиэтилен низкой плотности ekstrудировается с использованием высокого давления и высокой температуры, в то время как полиэтилен высокой плотности ekstrудировается с использованием низкого давления и низкой температуры.**

Основные типы полиэтилена:


- полиэтилен высокой плотности (низкого давления), ПНД или PE-HD (плотность 0,940...0,965 г/см<sup>3</sup>);
- полиэтилен средней плотности (среднего давления), ПСД или PE-MD (плотность 0,930...0,940 г/см<sup>3</sup>);
- полиэтилен низкой плотности (высокого давления), ПВД или PE-LD (плотность 0,900...0,910 г/см<sup>3</sup>);
- сшитый полиэтилен, ПЭ-С или PE-X.

Известно много видов полиэтилена. Все они имеют химическую формулу  $[-C_2H_4-]_n$ . Полиэтилен обычно представляет собой смесь идентичных полимеров этилена с различными значениями  $n$ . Полиэтилен получают путём добавления или радикальной полимеризации мономеров этилена  $C_2H_4$  (см. Рис. 1.30, стр. 32). Полимеризация полиэтилена осуществляется с помощью катализаторов Циглера–Натта и металлоцена.



Таб. 1.7. Полиэтилен. Физические свойства

Параметр	Значение	Ед. изм.	Метод испытания
Плотность	0,900...0,965	г/см <sup>3</sup>	ISO 1183, ASTM D792
Модуль упругости Юнга	900	Н/мм <sup>2</sup> (МПа)	ISO 527, ASTM D790
Ударная вязкость по Шарпи (при +23 С°)	16...26	кДж/м <sup>2</sup>	ISO 179-180, ASTM D256
Предел текучести при растяжении	50	%	ISO 527
Твёрдость по Шору	80	Шкала D	ISO 868
Прочность при разрыве	23	Н/мм <sup>2</sup> (МПа)	ISO 527, ASTM D638
Температура размягчения по методу Вика	127	°С	ISO 306
Температура прогиба под нагрузкой	75	°С	ISO 75, ASTM D648
Теплопроводность	0,38	Вт/(м × °С)	EN 12664
Коэффициент линейного теплового расширения	20,0×10 <sup>-5</sup>	°С <sup>-1</sup>	DIN 53752, ASTM D696
Кислородный индекс	17	%	ISO 4859-1, ASTM D2863

Таб. 1.8. Преимущества полиэтиленов

Параметр		Преимущества
Устойчивость к ультрафиолету и атмосферным воздействиям		Трубы из ПНД чёрного цвета прекрасно подходят для длительного использования на открытом воздухе. Использование добавок технического углерода позволяет избежать последствий длительного воздействия интенсивного ультрафиолетового излучения. Это обеспечивает пригодность полиэтилена для использования в открытой среде.
Химическая стойкость		ПНД обладает прекрасной химической стойкостью. Благодаря своей неполярной природе, ПНД обладает хорошей устойчивостью к воде, растворам солей, кислотам, щелочам, спиртам и многим органическим растворителям даже при повышенных рабочих температурах. К ароматическим соединениям устойчивость ПНД низкая: его нельзя использовать с сильными окислителями. Химическая стойкость зависит от многих факторов: наиболее важными являются рабочая температура, продолжительность воздействия, а также концентрация и состав смесей. Для конкретных применений см. Таблицу химической стойкости <b>Aliaxis</b> на официальном сайте компании.
Хорошие термические и механические свойства		ПНД может использоваться в диапазоне температур от -40 °С до +60 °С. В этом диапазоне гарантируются превосходные механические свойства материала в широком диапазоне применений. Что касается нагрузочной способности труб, фитингов и арматуры под внутренним давлением при одновременном воздействии температуры, следует обратиться к диаграммам давления соответствующего материала.
Устойчивость к старению		Полиэтилен марки ПЭ-100 обладают высокой прочностью на разрыв по окружности (более 10,0 МПа при +20 °С) и гарантирует после монтажа длительный срок службы без каких-либо признаков значительного физико-механического износа. Новые трубы из ПНД, сертифицированные по DIN 8075 и DIN 16892, имеют срок службы не менее 100 лет.
Устойчивость к истиранию		Полиэтилен обладает очень хорошей стойкостью к истиранию при механических нагрузках, особенно при трении. Как открытые, так и заглублённые трубы из полиэтилена не очень подвержены старению. Таким образом, полиэтилен обеспечивает чрезвычайно низкие эксплуатационные расходы благодаря своему длительному сроку службы.
Виды повреждений		Как правило, полиэтилен подвержен хрупкому разрушению, с медленным ростом трещин в стенках трубы. Эти трещины могут возникать при микроскопических локальных нагрузках, превышающих напряжение, присущее изделию или, что более вероятно, из-за дефектов при изготовлении. Однако с годами производство полиэтилена эволюционировало и теперь в нём обеспечивается сочетание прочности, жёсткости, надёжности и долговечности в соответствии с долгосрочными потребностями в перекачке газов и жидкостей, нагрузки грунта и условий эксплуатации. Если полиэтилен быстро растягивать, он разрушается хрупким образом. Однако, при постепенном растягивании, он становится пластичным и может растягиваться очень сильно (относительное удлинение при разрыве – 500...800%). Последние 50 лет совершенствования производства полиэтилена сказались на его свойствах самым положительным образом. Таким образом, сейчас он обладает значительной устойчивостью к медленному росту трещин и является очень хорошим вариантом выбора для долгосрочных проектов.



Поведение при горении		Полиэтилен – это легковоспламеняющийся полимерный материал. При воздействии открытого огня полиэтилен горит, и материал продолжает гореть без сажи после удаления пламени. Кислородный индекс составляет 17% (т.е. является легковоспламеняющимся). При сгорании полиэтилена образуются углекислый газ и вода.
Электропроводность		ПНД – это неполярный углеводородный полимер с отличными изоляционными свойствами. Его удельное сопротивление $3,5 \times 10^{14}$ Ом·м. Однако, этот материал имеет тенденцию накапливать на своей поверхности статическое электричество. По этой причине полиэтилен высокого давления не следует использовать в проектах, где есть риски возгорания или взрыва. Для получения более подробной информации рекомендуется обратиться к Стандарту DIN DVS 2210–1.

## Марки полиэтиленов

Непрерывное развитие и совершенствование полимера положительно влияет на его механические свойства. Они постоянно совершенствуются благодаря многолетнему практическому опыту, а также усилиям исследовательских отделов производителей труб, направленных на повышение качества и долговечности продукции. Улучшение механических свойств полиолефинов, используемых в конструкции полимерных труб, в первую очередь касается полиэтиленов.

С изменениями характеристик материалов связаны соответствующие изменения в обозначениях материалов. Теперь в обозначении труб используется не просто аббревиатура ПНД, а указывается марка, или класс (ПЭ–63, ПЭ–80, ПЭ–100), где цифры обозначают т.н. минимальную длительную прочность материала.

**Минимальная длительная прочность (MRS – Minimum Required Strength) полиэтилена – напряжение, выраженное в мегапаскалях, которое определяет свойство композиций полиэтилена марок, применяющихся для производства полиэтиленовых труб. MRS получают путём экстраполяции на срок службы 50 лет при температуре +20 °С результатов испытаний труб на стойкость к постоянному внутреннему гидростатическому давлению воды с нижним доверительным интервалом 97,5% и округляют до ближайшего нижнего значения ряда R 10 по ГОСТ 8032.**

Значение MRS также определяется путём анализа долгосрочных испытаний труб в соответствии с ISO 9080, а затем классифицируется в соответствии с ISO 12162.

- ПЭ–63: MRS  $\geq 6,3$ ;
- ПЭ–80: MRS  $\geq 8,0$ ;
- ПЭ–100: MRS  $\geq 10,0$ .

ПЭ–63, обладающий меньшей прочностью при ползучести, чем ПЭ–80 и ПЭ–100, имеет лишь ограниченное применение в системах напорных трубопроводов. По показателям прочности ПЭ–80 в значительной степени соответствует ПНД с улучшенными характеристиками.

## Полиэтилен ПЭ–100

Из-за своей большей прочности использование ПЭ–100 становится все более распространённым при проектировании трубопроводов, особенно в областях, связанных с высоким давлением. Первоначальные сомнения в отношении качества сварки полиэтиленовых трубопроводов были развеяны, так что производители и подрядчики могут широко пользоваться преимуществами ПЭ–100.

Стандарты и основные принципы применения были обновлены таким образом, чтобы в них больше не существовало каких-либо препятствий к использованию этого материала.

Новые бимодальные марки ПЭ–80 и ПЭ–100 демонстрируют, в дополнение к улучшению прочностных свойств, большую устойчивость, чем исходный ПНД, улучшение качества которого даёт следующие преимущества:

- большая прочность при ползучести при более высоких температурах;
- повышенная устойчивость к быстрому росту трещин;
- пониженная восприимчивость к образованию надразов.

Что касается срока службы бимодальных полимеров, доказательства, подтверждающие предположение, что он составляет не менее 100 лет, определяются стандартным методом экстраполяции, указанным в стандарте ISO 9080.

Ещё одним важным фактором, связанным с более широким использованием ПЭ-100, является то, что его можно сваривать без ограничений. Сварка ПЭ-100 с ПЭ-80 также может выполняться без ограничений. В случае применения сварных фитингов необходимо учитывать нагрузку пониженного давления, создаваемую трубой.

### Устойчивость к растрескиванию (полиэтилен RC)

ПЭ-100-RC – это современная марка полиэтилена. RC (Resistant to Cracks) означает его устойчивость к растрескиванию. То есть ПЭ-100-RC устойчив к медленно распространению трещин и точечной нагрузке. На диаграмме (см. Рис. 1.41) показано различие свойств между ПЭ-100-RC и другими марками полиэтилена.

ПЭ-100-RC обладает всеми известными и выгодными свойствами ПЭ-100, и для него могут использоваться те же схемы монтажа. Основные характеристики также схожи.

Повышенная стойкость ПЭ-100-RC полезна во многих аспектах. Ниже приведены примеры, когда ПЭ-100-RC превосходит другие марки полиэтилена и является идеальным выбором:

- сложные методы монтажа: открытая траншея без песчаной подсыпки для снижения затрат, горизонтально-направленное бурение, повторная прокладка трубопровода (типа «труба в трубе»), ремонт разрыва труб и т. д.;
- области применения, когда трубопровод может подвергаться внешним повреждениям: царапины, удары камней (точечная нагрузка), трубы под внешней нагрузкой и т.д.

Использование ПЭ-100-RC приводит не только к потенциальной экономии средств, но и даёт преимущества для защиты окружающей среды и устойчивого развития.

### 1.3.2. Полипропилены (ПП)

Полипропилен представляет собой термопластичную и частично кристаллическую смолу, относящуюся к семейству полиолефинов.

Полипропилен является вторым по распространённости товарным полимером после полиэтилена.

Гомополимер полипропилена последнего поколения (ПП-Н) благодаря своим превосходным физическим и термическим характеристикам обеспечивает трубопроводным системам отличную производительность при рабочих температурах до +80 °С и высокую стойкость к химическим веществам.

Химическая формула полипропилена  $[-C_3H_6-]_n$  (см. Рис. 1.30, стр. 32). Полипропилен получают в результате полимеризации мономера пропилена  $C_3H_6$  путём:

- полимеризации с катализатором Циглера–Натта;
- полимеризации с металлоценовым катализатором.

Основываясь на процессе полимеризации и молекулярной структуре материала, полипропилены можно дополнительно разделить на множество групп. Приведённое ниже (см. Рис. 1.42) «дерево полипропилена» может быть полезно для понимания особенностей его различных разновидностей.

Положение метильной группы  $[-CH_3]$  в основной структуре полипропилена определяет, к какому типу он относится:

- атактический полипропилен;
- синдиотактический полипропилен;
- изотактический полипропилен.

У атактических полипропиленов метильная группа располагается по отношению к полимерной цепочке случайным образом. У синдиотактических полипропиленов метильной группы регулярно чередуется. И, наконец, у изотактических полимеров метильная группа расположена с одной стороны цепочки полимера (см. Рис. 1.43).

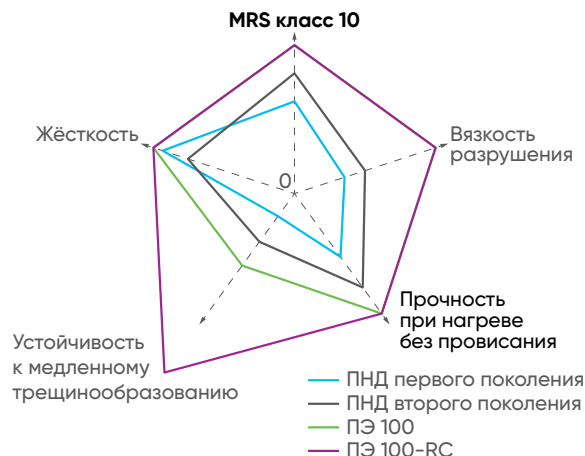


Рис. 1.41. Сравнительная диаграмма свойств различных марок полиэтилена

# Полипропилен

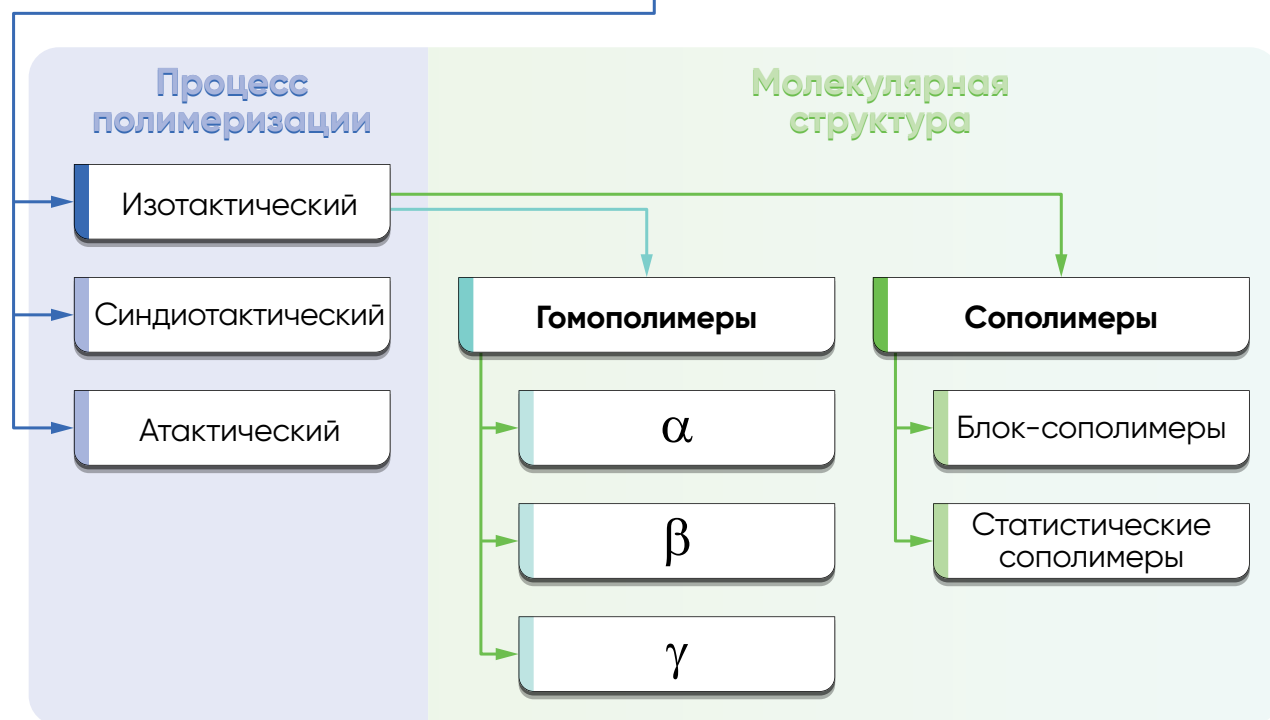


Рис. 1.42. Классификация полипропиленов по способам полимеризации и молекулярной структуре

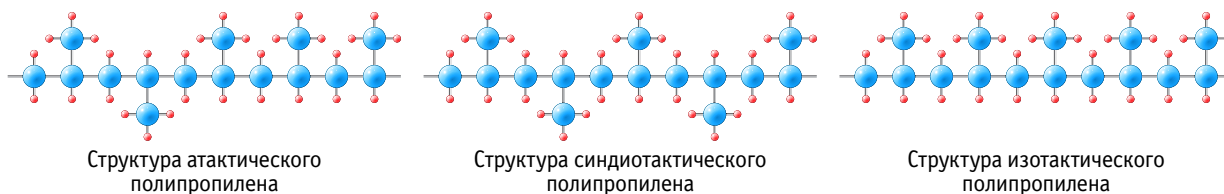


Рис. 1.43. Структура различных типов полипропилена (по способу полимеризации)

**Атактический полипропилен** аморфен и обладает механическими свойствами невулканизированной резины. Он широко используется в промышленности в качестве основы искусственных ковровых покрытий, в качестве термоплавого клея и герметизирующего состава.

**Синдиотактический полипропилен** содержит в своём составе некоторое количество кристаллов, но значительно меньшее, чем в изотактических полипропиленах. Синтез этого типа полипропилена сложен, поэтому в промышленных масштабах он не производится.

**Изотактический полипропилен** ввиду своей спиральной структуры обладает высокой степенью кристалличности. В готовых изделиях содержится 30..60% кристаллического полипропилена. Этот тип ПП широко используется в промышленности.

В зависимости от сингонии, в которой из расплава кристаллизуется изотактический полипропилен, его можно разделить на три группы:

- $\alpha$  (моноклинный). Полипропилен кристаллизуется без добавления зародышеобразующих агентов;
- $\beta$  (псевдогексагональный). Полипропилен кристаллизуется с добавлением зародышеобразующих агентов;
- $\gamma$  (триклинный). Такой тип кристаллов может возникнуть в низкомолекулярном полипропилене при высоких температурах. Он не представляет интереса для практического применения в трубопроводных системах.

Нужные группы получают путём добавления специальных зародышеобразующих агентов в формовочные смеси полипропиленовой смолы.



Рис. 1.44. Структура различных типов полипропилена (по молекулярной структуре)

В зависимости от того, входят ли в молекулярную структуру полипропилена мономеры этилена и каким образом они располагаются внутри этой структуры, полипропилены можно разделить на три группы (см. Рис. 1.44):

- гомополимеры полипропилена (только мономеры пропилена), см. стр. 48;
- блок-сополимеры полипропилена (упорядоченные группы мономеров этилена), см. стр. 48;
- статистические сополимеры полипропилена (неупорядоченные группы мономеров этилена), см. стр. 48.






Таб. 1.9. Полипропилен. Физические свойства

Параметр	Значение	Ед. изм.	Метод испытания
Плотность	0,91	г/см <sup>3</sup>	ISO 1183, ASTM D792
Модуль упругости Юнга	1300	Н/мм <sup>2</sup> (МПа)	ISO 527, ASTM D790
Ударная вязкость по Шарпи (при +23 С°)	7	кДж/м <sup>2</sup>	ISO 179-180, ASTM D256
Предел текучести при растяжении	60	%	ISO 527
Твёрдость по Шору	83	Шкала D	ISO 868
Прочность при разрыве	30	Н/мм <sup>2</sup> (МПа)	ISO 527, ASTM D638
Температура размягчения по методу Вика	152	°С	ISO 306
Температура прогиба под нагрузкой	95...105	°С	ISO 75, ASTM D648
Теплопроводность	0,22	Вт/(м × °С)	EN 12664
Коэффициент линейного теплового расширения	1,5×10 <sup>-4</sup>	°С <sup>-1</sup>	DIN 53752, ASTM D696
Кислородный индекс	17,5	%	ISO 4859-1, ASTM D2863

Таб. 1.10. Преимущества полипропиленов

Параметр		Преимущества
Устойчивость к ультрафиолету и атмосферным воздействиям		Все полиолефины разлагаются под действием ультрафиолетового излучения. Поэтому изделия из полипропилена, длительное время находящиеся под воздействием ультрафиолета, обязательно должны быть защищены. Для напорных трубопроводов, которые подвергаются ударным нагрузкам, температура стенок не должна опускаться ниже +5 °С. По вопросам эффективных мер безопасности обращайтесь к ответственному представителю компании <b>Aliaxis</b> .
Химическая стойкость		Полипропилен по своей химической устойчивости схож с полиэтиленом высокой прочности (ПНД). Из-за своей неполярной структуры полипропилен особенно устойчив к воде, растворам солей, кислотам, щелочам, спиртам и многим органическим растворителям даже при повышенных рабочих температурах. Полипропилен обладает ограниченной устойчивостью к ароматическим соединениям, поэтому не может использоваться с сильными окислителями. Полипропилен набухает в алифатических и ароматических углеводородах. Химическая стойкость зависит от многих факторов. Наиболее важные – рабочая температура, продолжительность воздействия, а также концентрация и состав перекачиваемой среды. Для конкретных применений см. Таблицу химической стойкости <b>Aliaxis</b> на официальном сайте компании.
Хорошие термические и механические свойства		Полипропилены PP-H и PP-R могут использоваться в трубопроводных системах, работающих в широком диапазоне температур. Наибольшую роль играет продолжительность температурного воздействия. Наиболее продолжительный срок службы полипропиленовых трубопроводов лежит в диапазоне рабочих температур от 0 °С до +95 °С. Что касается нагрузочной способности труб, фитингов и арматуры под внутренним давлением при одновременном воздействии температуры, следует обратиться к диаграммам давления соответствующего материала.



Устойчивость к старению		Полипропилены PP-H и PP-R обладают высокой круговой прочностью на разрыв (более 10,0 МПа при +20 °С) и гарантируют после монтажа длительный срок службы без каких-либо признаков значительного физико-механического износа.
Устойчивость к истиранию		Полиэтилен обладает очень хорошей стойкостью к истиранию при механических нагрузках, особенно при трении. Как открытые, так и заглублённые трубы из полипропилена не очень подвержены старению. Таким образом, полипропилен обеспечивает чрезвычайно низкие эксплуатационные расходы благодаря своему длительному сроку службы.
Виды повреждений		Полипропилен известен своей высокой пластичностью и ударопрочностью. Благодаря отличным пластичным свойствам, полипропилен в основном разрушается пластичным образом. Однако при повышенных температурах может произойти квазихрупкое разрушение.
Поведение при горении		Полипропилен – это легковоспламеняющийся полимерный материал. При воздействии открытого огня полиэтилен горит, и материал продолжает гореть без сажи после удаления пламени. Кислородный индекс составляет 19% (т.е. является легковоспламеняющимся). При сгорании полипропилена образуются углекислый газ и вода.
Электропроводность		Полипропилен – это неполярный углеводородный полимер с отличными изоляционными свойствами. Его удельное сопротивление $10 \times 10^{14}$ Ом·м. Однако, этот материал имеет тенденцию накапливать на своей поверхности статическое электричество. По этой причине полипропилен не следует использовать в проектах, где есть риски возгорания или взрыва.

#### ► Гомополимер полипропилена (PP-H)

Гомополимер полипропилена является наиболее часто используемым типом пропиленов. В полукристаллической стабильной форме он содержит только мономер пропилена. Основными областями применения являются упаковка, текстиль, здравоохранение, трубопроводы, автомобилестроение и электротехника. Из гомополимера полипропилена производится широкий ассортимент труб, фитингов и клапанов для систем транспортировки промышленных жидкостей под давлением для рабочих температур до +95° С.

Производство гомополимера полипропилена осуществляется в соответствии с высочайшими стандартами качества и в полном соответствии с экологическими ограничениями, установленными действующим законодательством, и в соответствии со Стандартом ISO 14001. Вся продукция производится в соответствии с Системой менеджмента качества, установленной Стандартом ISO 9001.

#### ► Блок-сополимер полипропилена (PP-B)

Блок-сополимер полипропилена содержит от 5 до 15% мономера этилена, сгруппированного в регулярные структуры. Эти структуры делают полипропилен более твёрдым и менее пористым. Этот тип полипропилена используется в изделиях, требующих повышенной прочности, например, в автомобилестроении.

#### ► Статистический сополимер полипропилена (PP-R)

Статистический сополимер полипропилена производится путём совместной полимеризации этилена и пропилена. Полимер содержит до 7% (по массе) этиленовых мономеров, случайным образом расположенных в его цепях.

Статистический сополимер полипропилена обычно применяется в изделиях, которые могут испытывать тепловые удары, то есть работать в условиях быстрого нагрева и охлаждения. Так, этот тип полипропилена идеально подходит для горячего и холодного водоснабжения. Поскольку этот тип полипропилена отличается прекрасной коррозионной стойкостью, он является отличной альтернативой медным и стальным трубам.

#### ► Полипропилен электропроводящий (PP-EL)

Этот тип полипропилена представляет собой материал, полученный на основе стабилизированного полипропилена путём введения углеродного наполнителя (графита) и синтетических каучуков. Благодаря этому данный тип полипропилена обладает пониженной возгораемостью. Он предназначен для изготовления антистатической и межоперационной тары для интегральных схем, низкотемпературных нагревательных элементов, осадительных электродов сернокислотных электрофильтров, а также других изделий, которые должны обладать электропроводными или антистатическими свойствами.

Таб. 1.11. Сравнительные свойства различных типов полипропилена

Параметр	Ед. изм.	PP-H	PP-R	PP-B
Плотность	г/см <sup>3</sup>	0,905...0,915	0,900...0,910	0,900...0,910
Минимальная длительная прочность	Н/мм <sup>2</sup> (МПа)	более 10	более 8	более 8
Модуль упругости Юнга	Н/мм <sup>2</sup> (МПа)	1300	1100	900
Ударная вязкость по Шарпи (при +23 С°)	кДж/м <sup>2</sup>	65	52	31
Твёрдость по Шору	Шкала D	72	67	62
Температура размягчения по методу Вика	°С	93	70	69
Индекс текучести расплава	г/10 мин	0,3...1,0	0,3...1,0	0,3...1,0

## 1.4. Поливинилидендифторид (ПВДФ)

Поливинилиденфторид (или фторопласт) представляет собой фторированный полукристаллический технополимер, содержащий до 59% (по массе) фтора. Этот материал получают полимеризацией винилиденфторида  $[-C_2H_2F_2-]_n$  (см. Рис. 1.30, стр. 32).

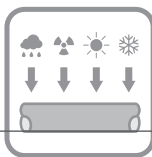

Поливинилиденфторид обладает исключительной механической, физической и химической стойкостью и гарантирует отличную термостойкость до +140 °С. Благодаря своей высокой чистоте (он не содержит, в отличие от других полимеров, остатков каталитической системы, термо- и УФ-стабилизаторов, смазочных материалов, пластификаторов) и исключительным характеристикам, поливинилиденфторид является лучшей альтернативой аналогичным изделиям из металлов и широко используется в промышленности (химической, нефтяной, фармацевтической, целлюлозно-бумажной, электронной и т. д.).







Ввиду высокой чистоты поливинилиденфторид является идеальным материалом для транспортировки сверхчистой воды и химикатов. Кроме того, поскольку он физиологически нейтрален, то прекрасно подходит для транспортировки пищевых продуктов.

Таб. 1.12. Поливинилиденфторид. Физические свойства

Параметр	Значение	Ед. изм.	Метод испытания
Плотность	1,78	г/см <sup>3</sup>	ISO 1183, ASTM D792
Модуль упругости Юнга	2100	Н/мм <sup>2</sup> (МПа)	ISO 527, ASTM D790
Ударная вязкость по Шарпи (при +23 С°)	12	кДж/м <sup>2</sup>	ISO 179-180, ASTM D256
Предел текучести при растяжении	80	%	ISO 527
Твёрдость по Шору	78	Шкала D	ISO 868
Прочность при разрыве	50	Н/мм <sup>2</sup> (МПа)	ISO 527, ASTM D638
Температура размягчения по методу Вика	138	°С	ISO 306
Температура прогиба под нагрузкой	145	°С	ISO 75, ASTM D648
Теплопроводность	0,22	Вт/(м × °С)	EN 12664
Коэффициент линейного теплового расширения	12×10 <sup>-5</sup>	°С <sup>-1</sup>	DIN 53752, ASTM D696
Кислородный индекс	44	%	ISO 4859-1, ASTM D2863

Таб. 1.13. Преимущества поливинилидендифторидов

Параметр		Преимущества
Устойчивость к ультрафиолету и атмосферным воздействиям		Поливинилиденфторид крайне устойчив ко внешним воздействиям, особенно к озону и ультрафиолетовому излучению. Это обусловлено химической стабильностью полимерных цепочек. Поэтому поливинилиденфторид крайне устойчив к естественному старению и не требует никакой защиты от ультрафиолетового излучения.
Химическая стойкость		Поливинилиденфторид демонстрирует превосходную стойкость к коррозии и истиранию при транспортировке высокоагрессивных химических веществ. Поливинилиденфторид в основном инертен к большинству неорганических кислот, органических кислот, ароматических и алифатических углеводородов, спиртов и галогеносодержащих растворителей. Однако ПВДФ не рекомендуется использовать для работы с аминами, кетонами, сильными щелочами (например, каустической содой) и олеумом (раствор серного ангидрида SO <sub>3</sub> в 100% серной кислоте). Для конкретных применений см. Таблицу химической стойкости <b>Aliaxis</b> на официальном сайте компании.

Хорошие термические и механические свойства		Поливинилиденфторид сохраняет свои характеристики в диапазоне температур от -40 °С до +140 °С. Трубы ПВДФ особенно подходят для задач, требующих высоких рабочих температур, очень низкого уровня загрязнения жидкости и высокой стойкости к старению из-за атмосферных воздействий и ультрафиолетового излучения. Превосходные механические свойства материала сохраняются даже при высоких температурах.
Устойчивость к старению		Поливинилиденфторид обладает крайне высокой круговой прочностью на разрыв (более 25,0 МПа при +20 °С) и гарантирует после монтажа длительный срок службы без каких-либо признаков значительного физико-механического износа. Кроме того, фторполимеры, как правило, обладают большей термической стабильностью, чем их углеводородные аналоги. Эта стабильность обусловлена высокой электроотрицательностью атома фтора и, следовательно, высокой энергией диссоциации связи С-Ф. Поливинилиденфторид обладает превосходной устойчивостью к термическому старению при температурах эксплуатации до +150 °С.
Устойчивость к истиранию		Согласно табер-тесту на истирание (на абразиметре Табера измеряется потеря веса материала после воздействия абразивного круга, создающего определённую нагрузку на исследуемый материал в течение определённого количества циклов), поливинилиденфторид является одним из наиболее стойких термопластов (при нагрузке 1000 г потеря веса за 1000 циклов составляет всего 5...10 мг). На Рис. 1.45 показана сравнительная стойкость различных материалов к истиранию.
Виды повреждений		Трубы из поливинилиденфторида, находящиеся под постоянным давлением при высокой температуре, подвержены двум различным режимам разрушения. При локальной деформации с образованием вздутия трубы разрушаются пластичным способом при среднем круговом напряжении, превышающем критическое значение. Поливинилиденфторид демонстрирует различное поведение при разрушении при среднем круговом напряжении, меньшем критического значения. Этот режим характеризуется постепенным и локализованным распространением очень маленьких трещин через толщину стенки трубы. Это хрупкое разрушение, поскольку вблизи зоны разрушения не обнаруживается макроскопическая пластическая деформация.
Поведение при горении		Поливинилиденфторид отличается прекрасной огнестойкостью даже без введения антипиренов в его состав. Значение кислородного индекса составляет 44%. Поливинилиденфторид по Стандарту UL-94 относится к классу горючести V-0.
Электропроводность		Поливинилиденфторид – это термопласт с отличными изоляционными свойствами. Его удельное сопротивление $1,0 \times 10^{12}$ Ом·м. Однако, этот материал имеет тенденцию накапливать на своей поверхности статическое электричество. По этой причине поливинилиденфторид не следует использовать в проектах, где есть риски возгорания или взрыва. По вопросам эффективных мер безопасности рекомендуется обращаться к ответственному представителю компании <b>Aliaxis</b> .

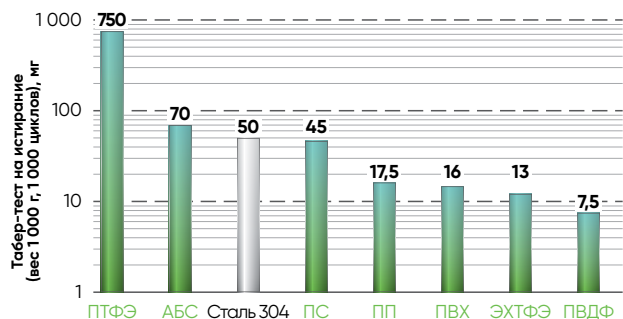


Рис. 1.45. Сравнение абразивной устойчивости термопластов и нержавеющей стали AISI 304

## 1.5. Каучуки

Каучук представляет собой органический (обычно цис-1,4-полиизопрен) полимер изопрена. Это углеводородный полимер, который содержится в соке различных растений, а также может быть синтезирован в виде латексной эмульсии.

В зависимости от способа получения, каучуки можно разделить на два типа:

- натуральный каучук;
- синтетический каучук.

### Натуральный каучук

Натуральный каучук — это и эластомер, и термопластик. Как только резина вулканизируется, она становится терморезиновой. Большая часть производимого каучука вулканизируется таким образом, что она обладает и свойствами эластомера, и свойствами термопластика.

Натуральный каучук (от индийского «кау» — дерево и «учу» — плакать, течь) — продукт полимеризации изопрена, который содержится в млечном соке некоторых тропических растений-каучуконосов — гевеи, фикуса и др.

Натуральный каучук является линейным продуктом 1,4-полиприсоединения изопрена. Наличие двойных связей в макромолекулах каучуков обуславливает возможность существования их геометрических изомеров, что сказывается на свойствах каучуков: цис-форма по сравнению с транс-формой обладает большей эластичностью. В макромолекулах цис-изомеров все метиленовые (-CH<sub>2</sub>) группы расположены строго по одну сторону от двойных связей, а в транс-изомерах — по разные. В макромолекулах природного каучука все элементарные звенья имеют цис-форму, а в макромолекулах гуттаперчи — кожеподобного продукта, полученного из сока гуттаперченосных тропических растений, — транс-форму. Гуттаперча, в отличие от натурального каучука, обладает значительно меньшей эластичностью. Эластичность, т.е. способность обратимо растягиваться под действием приложенной силы, является самым важным физическим свойством каучука. К важнейшим свойствам каучука относится также водо- и газонепроницаемость.

Натуральный каучук также содержит небольшую долю (около 5%) других компонентов, таких как жиры, жирные кислоты, смолы и неорганические продукты (соли). Конечные свойства резинового изделия зависят не только от исходного полимера, но и от модификаторов и наполнителей.

### Синтетический каучук

Синтетический каучук — это каучук, который может быть получен искусственным путём. Эластомер можно описать как вещество, обладающее свойством эластичности. Таким образом, синтетический каучук — это синтезированный тип резины, служащей заменой натуральному каучуку. Существуют различные виды полимеров, используемых для производства различных типов синтетического каучука, обладающих различными свойствами, которые адаптированы к потребностям различных отраслей промышленности.

Наиболее распространённые типы синтетических каучуков:

- акрилонитрилбутадиен (NBR);
- этиленпропилендиеновый каучук (EPDM);
- фторэластомер (FKM);
- перфтороэластомер (FFKM);
- полихлоропрен (CR);
- стирол-бутадиен (SBR);
- полисилоксан (SI);
- хлорсульфированный полиэтилен (CSM).

**В компании Aliaxis в основном применяются два типа искусственного каучука: этиленпропилендиеновый мономер (EPDM) и фторэластомер (FKM). Перфторэластомеры (FFKM) используются по запросу клиентов.**

Кроме того, компания **Aliaxis** также предлагает и перфтороэластомер (FFKM), который по запросу может быть применён в промышленной запорной арматуре для удовлетворения конкретных потребностей промышленного процесса. В некоторых из муфт Straub (см. 3.1.8, стр. 194) производства компании **Aliaxis** используются уплотнители из акрилонитрилбутадиена (NBR).



### 1.5.1. Акрилонитрилбутадиен (NBR)

Акрилонитрилбутадиеновый каучук — это синтетический каучук, полученный из акрилонитрила и бутадиена. Этот каучук содержит боковые полярные нитрильные группы на полимерной основе. Они не взаимодействуют с неполярными жидкостями, такими как бензин, масла и смазочные материалы, и поэтому материал не подвержен набуханию в этих средах. Акрилонитрилбутадиеновый каучук отличается от других каучуков своей стойкостью к воздействию достаточно агрессивных сред. Чем больше акрилонитрила содержится в каучуке, тем лучше его стойкость к воздействию химических веществ, таких как минеральные масла и топливо, а также горячая вода. Другим преимуществом этого материала являются его хорошие механические характеристики и низкая газопроницаемость.

Этот синтетический каучук не накапливает на своей поверхности статический заряд, поэтому он обычно используется для гидравлических шлангов, топливопроводов, уплотнений и уплотнительных колец в механизмах с масляной смазкой. Ещё одной важной областью применения являются нефтегазовые промыслы. В промышленности акрилонитрилбутадиен используется в основном в качестве уплотнительного материала.

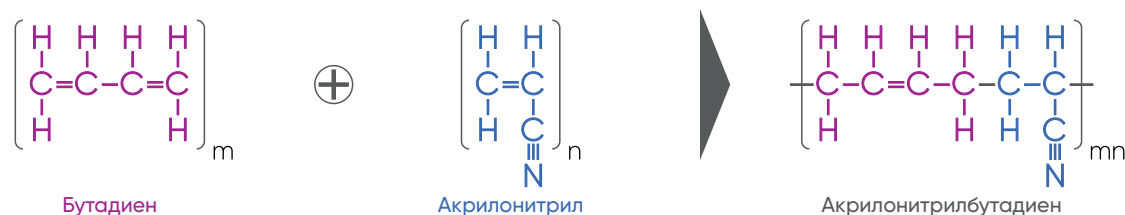


Рис. 1.46. Получение и структура акрилонитрилбутадиенового каучука

#### Преимущества акрилонитрилбутадиена

- Материал обладает хорошей химической стойкостью к минеральным маслам, топливу, смазочным материалам, спиртам, растительным и животным жирам и маслам.
- Диапазон температурного применения (в зависимости от состава): от  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
- Хорошие механические свойства.
- Хорошие антистатические свойства.

#### Области применения акрилонитрилбутадиена

- Уплотнения и уплотнительные кольца.
- Прокладки.
- Автомобильная промышленность.
- Основной материал для лабораторных и хирургических перчаток, а также для химической защиты текстильных изделий.

### 1.5.2. Этиленпропилендиеновый каучук (EPDM)

Этиленпропилендиеновый каучук — один из самых популярных видов синтетического каучука. EPDM — это эластомер, резина высокой плотности, которая имеет широкий спектр применений и очень долговечна. Он состоит из этилена, пропилена и диенового сомономера, которые могут быть «сшиты» в сетчатую структуру в процессе вулканизации. Это происходит при нагревании полимера с серой.

Это полукристаллический материал с кристаллической структурой этиленового типа. При более высоком содержании этилена (около 50% по весу) становится по существу аморфным. Есть некоторые присущие этой резине особенности, которые делают её особенно подходящей для электрической изоляции, прокладок и ламинирования. Современные технологии полимеризации и катализаторов дают возможность разрабатывать этиленпропилендиеновый каучук, точно отвечающий сложным критериям производства и переработки.

#### Преимущества EPDM-каучука

EPDM обладает исключительной стойкостью к атмосферным воздействиям (к ультрафиолетовому излучению, озону, нагреву). Он обладает высокой устойчивостью к большинству химических веществ на водной основе а также к полярным растворителям (вода, кислоты, щёлочи, эфиры фосфатные). Устойчивость EPDM к абразивам и растягивающим усилиям также хорошая. EPDM обладает отличными диэлектрическими свойствами. При высоких и низких температурах он обладает исключительной гибкостью. EPDM имеет рабочий диапазон температур от  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+120\text{...}150\text{ }^{\circ}\text{C}$  (в зависимости от условий полимеризации).

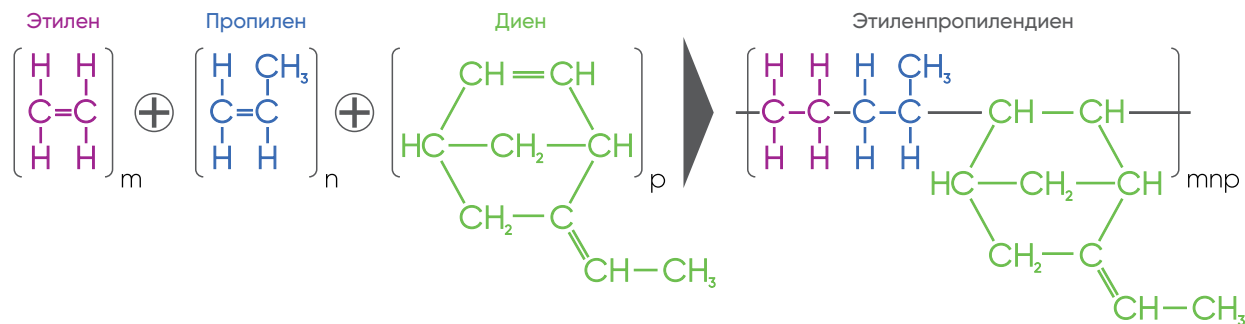


Рис. 1.47. Получение и структура акрилонитрилбутадиенового каучука

### Области применения EPDM-каучука

Поскольку EPDM на открытом воздухе ведёт себя стабильно, этот каучук обычно используется при строительстве зданий и в автомобильной промышленности в качестве уплотнительных прокладок. Шланги для подачи пара, термостойкие уплотнения и колпаки валов – также области применения этого материала. Современные технологии полимеризации и катализаторов предоставляют возможность разрабатывать резину EPDM, отвечающую точным и сложным критериям производства, позволяя впоследствии её перерабатывать.

Это способствовало широкому использованию резины EPDM в следующих областях:

- уплотнительные кольца и диафрагмы уплотнения клапанов;
- прокладки фланцев и заглушек;
- уплотнители дверей и стёкол в автомобилях;
- уплотнительные кольца трубопроводы;
- электрическая изоляция;
- кровельные мембраны и покрытия;
- резиновые механические изделия.

### 1.5.3. Фторэластомер (FKM)

Фторэластомер – синтетический каучук, относящийся к семейству фтороэластомеров. Все фтороэластомеры содержат винилиденфторид в качестве мономера. Название FKM дано материалу по классификации ASTM D1418-21a.

Фторэластомеры дороже в производстве эластомеров из неопрена или нитрила, но они обладают повышенной термо- и химической стойкостью. Основываясь на химической структуре, содержании фтора или механизме сшивания, фтороэластомеры можно разделить на типы, основными из которых являются следующие (см. Рис. 1.48).

- **Тип 1** представлен двойным сополимером и состоит из винилиденфторида и гексафторпропилена. Содержание фтора составляет около 66% по весу.
- **Тип 2** представлен тройным терполимером, состоящим из винилиденфторида, гексафторпропилена и тетрафторэтилена. По сравнению с сополимерами, терполимеры имеют более высокое содержание фтора (обычно до 69% фтора по весу), что повышает термическую и химическую стойкость материала. Низкие температуры могут отрицательно сказываться на упругости и других качествах материала.
- **Тип 3** представлен тройным сополимером, состоящим из винилиденфторида, тетрафторэтилена и перфторметилвинилового эфира. По сравнению с Типами 1 и 2, включение перфторметилвинилового эфира обеспечивает повышенную стабильность материала при низких температурах. Содержание фтора в эластомерах Типа 3 обычно колеблется в диапазоне 62...68% по весу.
- **Тип 4** представлен тройным сополимером, состоящим из пропилена, тетрафторэтилена и винилиденфторида. У этого типа увеличенная стойкость к основаниям, зато он проявляет тенденцию к набуханию, особенно в углеводородах. Содержание фтора в эластомерах Типа 4 около 67% по весу.
- **Тип 5** представлен пятиполимером, состоящим из винилиденфторида, гексафторпропилена, тетрафторэтилена, перфторметилвинилового эфира и этилена. Фторэластомеры Типа 5 отличает стойкость к основаниям и к сероводороду, даже при высоких температурах.

**Компания Aliaxis в основном использует фторэластомеры с содержанием фтора около 70%.**



Рис. 1.48. Компоненты, входящие в состав фторэластомеров

### Преимущества FKM-каучука

- Устойчивость фторэластомеров к химическому воздействию окислителей, кислот и топлива превосходна (однако их устойчивость к пару, метанолу и другим высокополярным жидкостям минимальна).
- Высокое содержание фтора, прочность фтор-углеродных связей и полная насыщенность углеродной цепи придают фторэластомерам исключительную термостойкость и отличную маслостойкость.
- Фторэластомеры устойчивы к основаниям и кетонам.
- Фторэластомеры, обработанные перекисью, обладают большей устойчивостью к воде, пару и кислоте.

### Области применения FKM-каучука

Даже в экстремальных условиях FKM обеспечивает качество и длительную надёжность. Область его применения весьма широка:

- клапаны, уплотнительные кольца и диафрагмы;
- прокладки фланцев и заглушек;
- прокладки коллекторов;
- уплотнения топливных баков;
- огнеупорные уплотнения;
- уплотнения топливной системы и системы смазки двигателей.

Компания **Aliaxis** производит фторэластомеры средней вязкости с высоким содержанием фтора (70%), отверждаемые перекисью. Они обладают превосходной устойчивостью к широкому спектру химических веществ в сочетании с превосходной технологичностью и оптимальным набором компрессии. Фторэластомеры устойчивы в широком диапазоне температур: от  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+205...+230\text{ }^{\circ}\text{C}$ , в зависимости от состава.

### 1.5.4. Перфторэластомер (FFKM/FFPM)

Перфторэластомер (FFKM/FFPM, название FFKM дано по классификации ASTM, FFPM по ISO) и изделия из него устойчивы к воздействию более 1800 различных химических веществ, включая концентрированную азотную кислоту, гидроксид натрия, этилендиамин. Перфторэластомер также устойчив к водяному пару и сохраняет свою стабильность при весьма высоких температурах (до  $+327\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).



Детали из перфторэластомера используются в агрессивных химических средах, при производстве полупроводниковых пластин, в фармацевтике, добыче нефти и газа и в аэрокосмической промышленности. Длительный срок службы изделий из FFKM означает меньшую частоту замены уплотнений, ремонта и проверок, увеличение времени безотказной работы оборудования.

Рис. 1.49. Структура перфторэластомеров

**Компания Aliaxis использует FFKM по запросу клиентов.**

### Преимущества перфторэластомеров

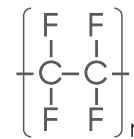
- Устойчивы к воздействию более 1800 различных химических веществ.
- Высокая термостойкость (до  $+327\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).
- Сохраняется целостность уплотнения.
- Снижение затрат на эксплуатацию и техническое обслуживание.
- Длительный срок службы уплотнения.
- Соответствует Стандартам безопасности фармацевтической и пищевой промышленности.
- Выпускается как в виде стандартных деталей, так и индивидуально, по запросу клиентов.

## Области применения перфторэластомеров

- Уплотнения и уплотнительные кольца в клапанах, насосах, реакторах и фланцевых соединениях.
- Системы уплотнения штоков клапанов.
- Высокостойкие изделия для аэрокосмической, нефтегазовой, транспортной и химической промышленности.

### 1.5.5. Политетрафторэтилен (ПТФЭ)

Политетрафторэтилен (или фторопласт) представляет собой фторполимер, имеющий высокую молекулярную массу и почти полную химическую устойчивость к большинству химических веществ.



Политетрафторэтилен

Рис. 1.50. Структура ПТФЭ

ПТФЭ состоит из углеродных цепочек. К каждому атому углерода присоединено по два атома фтора. Фтор-углеродные связи очень сильные, что и делает политетрафторэтилен крайне инертным в химическом смысле. Фторопласт условно можно назвать негорючим веществом, но при взаимодействии с кислородом фторопласт загорается, но без значительного выделения тепла. Материал тем не менее обладает

чрезвычайно высокой термостойкостью, необычайной прочностью и гибкостью даже при низких температурах.

Благодаря своим антифрикционным свойствам и высокой ударпрочности фторопласт под торговыми марками Teflon®, Fluon®, Argoflon® и другими уже много лет успешно применяется в промышленности для изготовления уплотнений, подшипников, стопорных колец и шестерней. Изделия из ПТФЭ можно использовать при рабочих температурах вплоть до +250...+260 °С. Из-за своей чрезвычайной химической инертности полимеры и сополимеры из ПТФЭ также очень часто используются в качестве прокладок в трубопроводах, в резервуарах и в другом технологическом оборудовании в химической промышленности.

#### Свойства политетрафторэтилена

- Из-за очень прочных фтор-углеродных связей политетрафторэтилен не реагирует с кислотами, щелочами и агрессивными химическими соединениями, что позволяет использовать его для транспортировки многих химических веществ по трубопроводам или в контейнерах.
- При использовании в качестве смазки PTFE устраняет трение в трущихся парах, уменьшая износ оборудования и энергопотребление. ПТФЭ широко используется в хирургии и трансплантологии.
- Из-за своих превосходных химических и термических свойств ПТФЭ используется в качестве прокладочного и изолирующего материала в тех отраслях промышленности, где требуется устойчивость к агрессивным химическим веществам, например, в химической промышленности и фармацевтике.
- ПТФЭ обладает отличными электроизоляционными и диэлектрическими свойствами.
- Это не клеящийся и водостойкий материал.
- ПТФЭ обладает прекрасной термостойкостью в широком диапазоне температур (от -30 °С до +260 °С).
- Среди всех твёрдых материалов ПТФЭ обладает самым низким коэффициентом трения.

#### Области применения политетрафторэтилена

ПТФЭ является химически инертным материалом. Кроме того, широкий диапазон рабочих температур делает его превосходной альтернативой во многих промышленных применениях. Ниже приведены некоторые области применения политетрафторэтилена:

- клапаны мембранные, уплотнения сёдел шаровых кранов;
- лента для уплотнения резьбовых соединений (т.н. ФУМ-лента);
- покрытие компонентов оборудования для химической промышленности (насосы, клапаны, приводы);
- внутренний слой трубопровода;
- прокладки.



## 1.6. Смолы. Компаунды. Добавки

### 1.6.1. Смолы

Термин «смола» относится к любому полимеру, который является основой для производства полимера. Обычно смолы – это смесь органических соединений. Смолы создаются в процессе крекинга углеводородного сырья. В зависимости от температуры крекинга получаются разные типы смол.

Далее смолы подвергаются полимеризации, происходит процесс сшивания мономеров в полимерные цепи. Контролируя этот процесс, можно получать полимеры с необходимыми свойствами для использования в самых разных областях промышленности.

### 1.6.2. Компаунды

Компаунды представляет собой смесь термопластичного полимера с другими добавками или ингредиентами, не образующими между собой химических связей. Компаунды – это материалы, изготовленные на основе полимеров, олигомеров или мономеров, например каучука, полиэфирной и/или эпоксидной смолы, силикона (смазочные компаунды) и т.д. Они также находятся в жидком состоянии и отверждаются при определённых температурах. Но также бывают и составы в виде порошков или гранул.

Чтобы полимер можно было использовать для получения конечного продукта, его сначала необходимо смешать. Компаунд – это смесь добавок с полимером для улучшения свойств последнего. В начале компаундирования полимер обычно находится в форме порошка, шариков или гранул, хотя он также может быть раствором, расплавом или суспензией. Превращение расплава в гранулы является заключительной стадией процесса.

Обычно компаундирование проходит в три этапа:

- смешивание – объединение необходимых ингредиентов;
- собственно компаундирование – полученная смесь превращается в пасту или расплав;
- гранулирование – смешанный материал превращают в гранулы.

### 1.6.3. Добавки

Современные полимеры невозможно получить без соответствующих добавок. Чтобы изменить свойства материала, требуется добавка, делающая его прочнее, долговечнее, дешевле. Также используются специальные добавки, предотвращающие деградацию конечного полимера.

Добавки можно разделить на два класса: модифицирующие и защитные.

Как следует из названия, модифицирующие добавки изменяют физические свойства полимера. Модифицирующие добавки включают:

- пластификаторы,
- наполнители,
- химикаты (сшивающие агенты, модификаторы воздействия, пенообразователи),
- пигменты.

Защитные добавки используются для защиты полимера от разрушения. Защитные добавки включают:

- антиоксиданты,
- термостабилизаторы,
- УФ-стабилизаторы,
- смазочные материалы (внутренние и внешние),
- вспомогательные средства для обработки.

## 1.7. Испытания полимеров

В жизненном цикле полимера, от сырья до компаунда, от полуфабриката до готового компонента, тестирование играет жизненно важную роль. Тестирование на каждом этапе производства помогает оценить, являются ли свойства материала на данном этапе достаточными с точки зрения запланированных характеристик, и, таким образом, позволяет перейти к следующей стадии создания конечного продукта. Качество – это совокупность как процесса производства, так и качества материала. Если в материале, входящем в изделие, есть дефект, то изделие может быть дефектным. Чтобы гарантировать превосходное качество каждого продукта, выпускаемого компанией **Aliaxis**, проводятся различные испытания. Ниже приведены типичные методики, которым подвергается всё сырьё, из которого и производится весь ассортимент продукции Компании.

### 1.7.1. Механические испытания

Эти испытания проводят для изучения ударной вязкости материала. Ударная вязкость материала является характеристикой его способности поглощать энергию во время пластической деформации. Хрупкие материалы обладают низкой ударной вязкостью и разрушаются даже при незначительной пластической деформации. Как правило, ударная вязкость уменьшается с понижением температуры. При стандартных испытаниях, например, испытаниях на растяжение и изгиб, материал поглощает энергию медленно. Реально материалы очень часто быстро поглощают энергию приложенного усилия, например, усилия от падающих предметов, ударов, столкновений, падений и т.д. Целью испытаний на прочность при ударе является имитация таких условий.

Существует два типа изучения ударной вязкости: метод маятника и метод падающей гири (падение тела определённого веса на испытуемый образец). Маятниковый метод подходит для испытания полимерных материалов, метод сбрасывания используется для испытания образцов из металлов.

Испытания на удар по методу Шарпи и методу Изода (а также испытания на растяжение) являются распространёнными методами оценки ударной вязкости материала. Этими испытаниями определяется общее количество энергии, которое материал может поглотить. Количество энергии тесно связано с хрупкостью материала. Хрупкие материалы, как правило, способны поглотить без разрушения меньше энергии, чем пластичные материалы. Энергопоглощающие свойства материала важно учитывать потому, что можно прогнозировать, какую пластическую деформацию материал может испытать до катастрофического разрушения.

#### ► Испытания по методу Изода

Испытание названо по имени Эдвина Гилберта Изода (1876...1946 гг.), английского инженера, который описал метод тестирования в 1903 году. Методика испытаний на ударную вязкость по Изоду определяется соответствующими Стандартами. Поворотный рычаг (маятниковый копёр) поднимается на определённую высоту, а затем отпускается. Копёр ударяет в зажатый в губках тисков испытуемый образец с надрезом и ломает его. Суть метода состоит в определении энергии удара, поглощённой при разрушении испытуемого образца с надрезом, отнесённой к площади первоначального поперечного сечения образца в месте надреза. Эта энергия оценивается по той высоте подъёма копра, при котором произошло разрушение.

Испытания по методу Изода (в отличие от испытаний по методу Шарпи) применимы и к металлическим образцам.

#### ► Испытания по методу Шарпи

Методика испытаний была разработана французским учёным Жоржем Огюстеном Альбером Шарпи совместно с американским исследователем С. Б. Расселом на рубеже XX века. Благодаря усилиям по стандартизации, предпринятым Шарпи, тест получил его имя. Благодаря относительной простоте изготовления образцов и получения результатов, он по сей день остаётся одной из самых популярных методик тестирования на ударное воздействие. Испытательное устройство состоит из маятникового копра определённого веса, который сбрасывается с определённой высоты для контакта с образцом. Измеряя высоту, с которой падает маятник, разрушающий образец, можно рассчитать энергию, передаваемую веществу.

Образец для испытания устанавливается на опоры горизонтально и имеет V- или U-образный надрез (концентратор). Тестирование проводится при различных температурах.

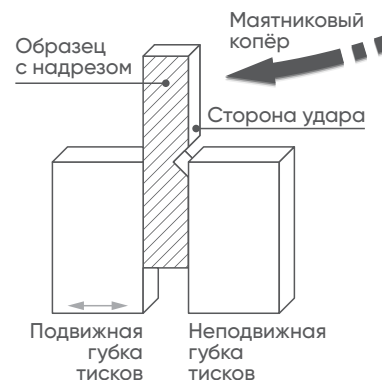


Рис. 1.51. Определение ударной вязкости по методу Изода

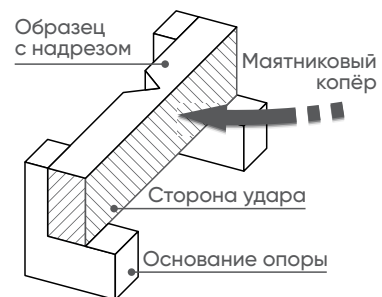


Рис. 1.52. Определение ударной вязкости по методу Шарпи

### ► Предел прочности (текучести) при растяжении

Одним из наиболее простых и распространённых видов механических испытаний является испытание на предел прочности (текучести) при растяжении. При испытании на растяжение к материалу прикладывается растягивающее усилие и измеряется реакция образца на него. При этом определяется, насколько прочен материал (до разрыва) и насколько он может изменять до разрыва свои линейные размеры. Как правило, испытания проводятся на электромеханических или универсальных испытательных машинах. В результате получается график напряжение–деформация, показывающий реакцию материала на прилагаемую силу. На диаграмме выделяется несколько ключевых точек и зон (см. Рис. 1.53).

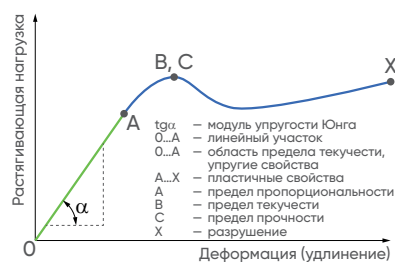


Рис. 1.53. Диаграмма напряжений при испытании образца на предел прочности

### Предел прочности при растяжении

Одним из наиболее важных свойств материала, которое можно определить посредством теста, является его предел прочности при растяжении (точка X на Рис. 1.53). Это та максимальная растягивающая нагрузка, которую образец выдерживает до своего разрушения.

### Закон Гука

Закон Гука утверждает линейную зависимость между приложенной силой (или нагрузкой) и удлинением образца в некоторой области нагрузок (см. отрезок O...A на Рис. 1.53). Т.е. по закону Гука отношение нагрузки к удлинению (или, что то же самое, тангенс угла наклона) на указанном отрезке является величиной постоянной и называется модулем упругости или модулем Юнга.

### Модуль упругости

Модуль упругости — это мера жёсткости материала, которая появляется только в начальной линейной области кривой «растяжение — деформация» (см. отрезок O...A на Рис. 1.53). В этой области материал проявляет упругие свойства, т.е. после снятия нагрузки образец восстанавливает свою первоначальную длину. На Рис. 1.54 приведены значения модуля упругости различных полимеров в соответствии с ISO 527–1.

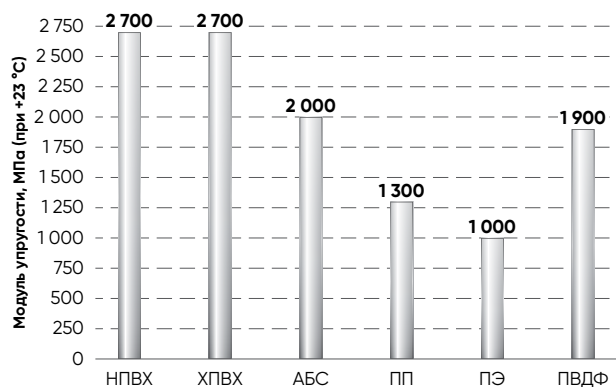


Рис. 1.54. Модуль упругости Юнга различных полимеров

### Предел текучести

Предел текучести материала определяется как напряжение, приложенное к материалу, при котором он начинает пластически деформироваться (постоянно). На Рис. 1.53 это участок A...B. Эта область называется областью пластической деформации, что означает, что после достижения этой области материал потеряет способность восстанавливать свою первоначальную форму даже после снятия приложенной нагрузки. Зона C...X (см. Рис. 1.53) называется зоной вязкого разрушения. На Рис. 1.55 приведены значения предела текучести различных полимеров в соответствии с ISO 527–1.

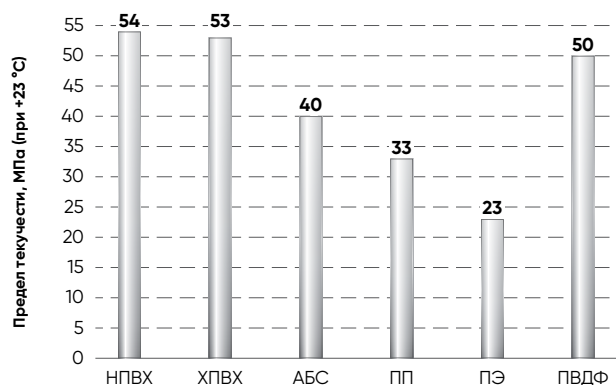


Рис. 1.55. Предел текучести различных полимеров

### 1.7.2. Реологические испытания

#### ► Испытание на показатель текучести расплава

Показатель текучести расплава (индекс текучести расплава) – условная величина, характеризующая поведение термопластичного полимера в вязкотекучем состоянии при переработке его в изделия. Показатель текучести расплава определяется количеством материала, выдавливаемого через стандартный капилляр экструзионного пластометра (вискозиметра) при определённых условиях и пересчитанного на время течения 10 мин.

Измеряются две величины: массовая текучесть (в граммах за 10 минут) и объёмная текучесть (в см<sup>3</sup> за 10 минут).

Принцип действия прибора для проведения испытаний (вискозиметра) основан на измерении скорости истечения расплава термопласта через калиброванный капилляр (поз. 8 на Рис. 1.56) при определённом значении давления и температуры. Необходимое давление на материал создаётся при помощи поршня (поз. 4) с грузом (поз. 3). Штурвал используется для того, чтобы предварительно выдавить часть пластической массы, а затем освободить поршень с набором грузов, под давлением которых и происходит вытекание пластика из капилляра. Нагревательный элемент (поз. 6) служит для поддержания заданной температуры расплава (+100...+400 °С). Температура контролируется термометром (не показан на схеме). Поворотное зеркало (поз. 9) используется для наблюдения за вытекающей массой. Измерение скорости истечения массы расплава осуществляют при помощи секундомера.

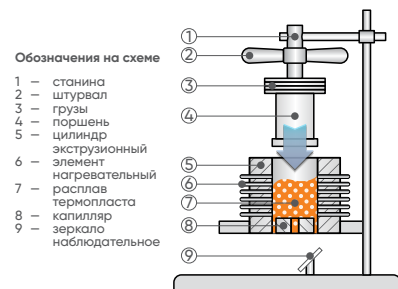


Рис. 1.56. Принципиальная схема устройства вискозиметра

### 1.7.3. Тепловые испытания

Термические испытания в основном проводятся для определения двух важных параметров полимеров: деформационной теплостойкости и теплостойкости по Вика (температуры размягчения по Вика).

#### ► Деформационная теплостойкость

Температура изгиба под нагрузкой, температура тепловой деформации или деформационная теплостойкость – это температура, при которой образец полимера изгибается на стандартное значение под воздействием определённой нагрузки. Методика определения температуры изгиба под нагрузкой регламентирована в стандартах ISO 75-2, DIN 53461, ASTM D648, ГОСТ 32657–2014.

По методике, описанной в Стандарте ASTM D648 испытуемый образец подвергается трёхточечному изгибу при постоянной нагрузке. Нагрузка составляет либо 1,80 МПа (метод А), либо 0,45 МПа (метод В), а температура повышается на 2 °С/мин до тех пор, пока прогиб образца не достигнет 0,25 мм. Это и есть температура изгиба под нагрузкой для испытуемого образца.

#### ► Теплостойкость по Вика

Эти испытания дают значение температуры, при которой полимер начинает быстро размягчаться. Круглую иглу с плоским концом, имеющую площадь поперечного сечения 1 мм<sup>2</sup>, внедряют в поверхность испытуемого образца при определённой нагрузке, и температура повышается с равномерной скоростью. Теплостойкость по Вика является температурой, при которой проникновение иглы в материал достигает 1 мм.

Процедура испытания описывается Стандартами ISO 306, ASTM D1525, DIN 53460, ГОСТ 15088.

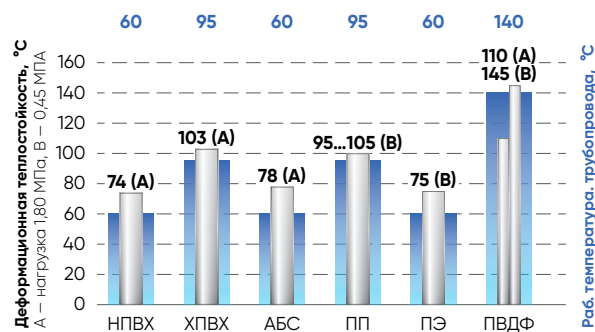


Рис. 1.57. Деформационная стойкость различных полимеров (по ASTM D648 и ISO 75-2) и раб. температуры трубопроводов из них



## 1.8. Маркировка труб и фитингов

Каждая выпущенная компанией **Aliaxis** единица продукции маркируется.

Маркировка выполняется для подачи потребителю важной информации максимально простым способом. Как правило, при маркировке печатаются основные сведения, касающиеся данной продукции: тип материала, название производителя, номинальное давление, на которое рассчитано изделие, размер, стандарт, по которому изделие произведено, дата изготовления.

Маркировочные элементы должны быть нанесены непосредственно на изделие, либо же напечатаны на приклеенной этикетке таким образом, чтобы её читаемость не нарушалась при хранении, атмосферных воздействиях, перемещениях или монтаже.

**Производитель не несёт ответственность за повреждение маркировки, вызванное покраской, механическими воздействиями (царапины, например), использованием агрессивных моющих средств и т.п., если подобные действие не санкционированы или не оговорены производителем.**

- Маркировка не должна приводить к появлению трещин или любых других дефектов, отрицательно влияющих на работоспособность изделия.
- Цвет маркировки обязан отличаться от основного цвета изделия.
- Размер маркировки должен быть таким, чтобы информация была разборчивой без необходимости использовать увеличительные стёкла или другую подобную технику.

### Методы маркировки

Маркировку можно наносить непосредственно на готовое изделие, либо печатать необходимую информацию на отдельных этикетках и наклеивать их на продукцию.

#### 1.8.1. Минимальные требования к маркировке труб

Трубы должны быть маркированы с интервалом не более 1 м, и по крайней мере один раз на каждой трубе. В качестве примера в нижеследующей таблице представлена минимальная информация, которую необходимо наносить на трубы, изготовленные по Стандарту ISO 15493. Сама маркировка на трубу обычно наносится в соответствии со Стандартом EN ISO 12201.

Таб. 1.14. Минимальная информация для маркировки трубы

Наносимая информация	Пример маркировки, кода или символа
Стандарт, по которому выпущена труба	ISO 1452-2
Производитель и/или торговая марка	FIP
Номинальный внешний диаметр	110
Номинальная толщина стенки	5,3
Серия или стандартное размерное соотношение (SDR)	S10 или SDR21
Номинальное давление	PN16
Материал	PVC-U
Информация о производителе	Дата производства (год и месяц) цифрами или кодом. Название или код производственной площадки, если производитель производит продукцию на нескольких площадках.



Рис. 1.58. Пример маркировки трубы FIP из НПВХ

## 1.8.2. Минимальные требования к маркировке фитингов

Таб. 1.15. Минимальная информация для маркировки фитингов

Наносимая информация	Пример маркировки, кода или символа
Стандарт, по которому выпущена труба <sup>1)</sup>	ISO 15493
Производитель и/или торговая марка	FIP
Номинальный внешний диаметр (диаметры)	63–32–63
Номинальная толщина стенки	5,8
Серия или стандартное размерное соотношение (SDR)	S10 или SDR 21
Номинальное давление	PN16
Номинальный диаметр трубопровода <sup>2)</sup>	DN 50
Материал	PVC-U
Информация о производителе	Дата производства (год и месяц) цифрами или кодом. Название или код производственной площадки, если производитель производит продукцию на нескольких площадках.

<sup>1)</sup> Эта информация должна быть нанесена как минимум на упаковку.

<sup>2)</sup> Только для фланцев.



Рис. 1.59. Пример маркировки фитинга FIP из НПВХ

## 1.8.3. Минимальные требования к маркировке запорной арматуры

Запорная арматура маркируется в соответствии с требованиями Стандартов ISO 16135, ISO 16136, ISO 16137, ISO 6138, ISO 16139 или ISO 21787 – в зависимости от типа арматуры.



Рис. 1.60. Пример маркировки запорной арматуры FIP

## 1.9. Долговременная прочность и долговременные свойства

Практический срок службы находящейся под внутренним давлением трубы, является одним из наиболее важных показателей полимерных трубопроводных систем. Этот параметр называется долговременной прочностью. При оценке этого параметра очень большую роль играет перекачиваемая среда и её температура.

В Европе для определения номинального давления полимерных трубопроводов используется долговременная гидростатическая прочность материалов полимерных трубопроводов, известная как минимальная длительная прочность (Minimum Required Strength или MRS). Это напряжение, рассчитанное путём экстраполяции на срок службы 50 лет в результате испытаний труб на их стойкость к внутреннему гидростатическому давлению воды при её температуре +20 °С. Напряжением (измеряется в МПа) называется сила, действующая на стенку трубы в кольцевом (радиальном) направлении и возникающая в результате воздействия внутреннего давления, отнесённая к единице площади.

Значение минимальной длительной прочности определяется путём анализа долговременных испытаний труб в соответствии со следующими стандартами:

- EN ISO 15493 (ПВХ, ХПВХ и АБС);
- EN ISO 15494 (ПЭ, ПП);
- EN ISO 10931 (ПВДФ).

Таб. 1.16. Минимальная длительная прочность трубопроводов из различных полимеров

Материал трубопровода	Минимальная длительная прочность, МПа (перекачка воды, +20 °С, 50 лет)
НПВХ	25
ХПВХ (трубы)	25
ХПВХ (фитинги)	20
АБС	14
ПП	10
ПЕ 100	10
ПЕ 80	8
ПВДФ	25

### 1.9.1. Термины, связанные с долговременными свойствами

**Ползучесть.** Все термопластичные материалы обладают свойством, известным как ползучесть, т.е. они подвергаются деформации даже при комнатной температуре и при относительно низкой приложенной нагрузке. После снятия нагрузки материал или восстанавливает свою первоначальную форму, или нет.

Деформация, при которой материал восстанавливает свою первоначальную форму, называется **упругой деформацией**. Деформация, при которой материал после снятия нагрузки не способен восстановить свою первоначальную форму, называется **пластической деформацией**.

**Долговременные испытания материала.** Определение значений механических свойств полимерных трубопроводов, которые в основном зависят от следующих трёх параметров.

- времени;
- температуры.
- нагрузки.

Механические свойства материала при определённой температуре и давлении на протяжении значительного периода времени могут быть определены путём длительного испытания. Такие испытания, определяемые Стандартом ISO 1167, позволяют экстраполировать поведение материала на весьма значительные промежутки времени.

Нижним 97,5% доверительным пределом прогнозируемой гидростатической прочности является величина с размерностью напряжения (МПа), при температуре перекачиваемой среды T и наработке на отказ t.

### 1.9.2. Долговременные свойства НПВХ

Долговременное поведение трубопроводов из НПВХ описывается диаграммами (номограммами) минимальной длительной прочности (см. Рис. 1.61) для температур перекачиваемой среды в диапазоне от +20 °С до +60 °С. Эти линии (зелёный цвет) называются линиями нижнего 97,5% доверительного предела прогнозируемой гидростатической прочности. Для построения используется стандартный экстраполяционный метод (СЭМ) определения длительной гидростатической прочности, описанный в Стандарте EN ISO 9080. Формулы для расчёта предусматривают использование многофакторных линейных регрессий.

Пользоваться номограммой просто. Допустим, для трубопровода из НПВХ прогнозируется время эксплуатации 50 лет при перекачке среды температурой +20 °С. Проводится вертикальная линия (красная) по отметке «50 лет» на горизонтальной шкале до пересечения с кривой T=20° С. От этой точки проводится горизонтальная линия (красная) до пересечения со шкалой напряжения. Значение составляет 25 МПа. По значению напряжения и параметрам трубы легко рассчитывается рабочее давление в трубопроводе. Разумеется, возможна и обратная операция: по значениям рабочего давления, характеристикам трубы и перекачиваемой среды возможно оценить срок службы системы.

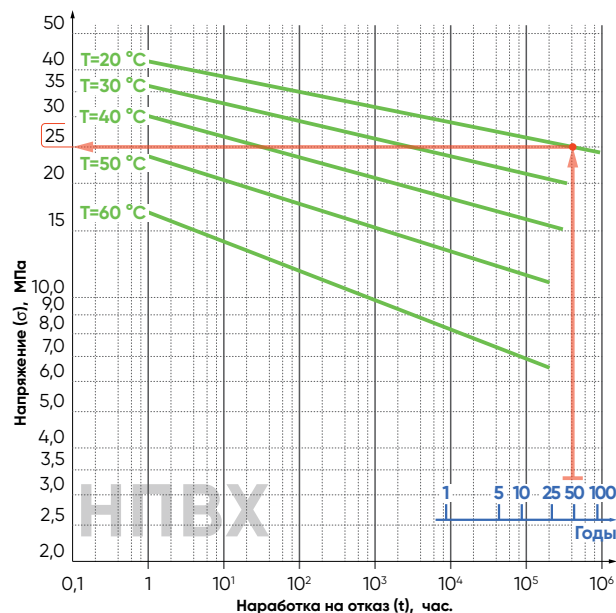


Рис. 1.61. Графики минимальной длительной прочности трубопроводов из НПВХ

Формула расчёта линий нижнего 97,5% доверительного предела прогнозируемой гидростатической прочности:  
 $\lg t = -164,461 - (29\,349,493/T \times \lg \sigma) + (60\,126,534/T) + (75,079 \times \lg \sigma)$ , где  
 t – наработка на отказ (час.);  
 T – температура перекачиваемой среды (°С);  
 σ – напряжение (МПа).

### 1.9.3. Долговременные свойства ХПВХ

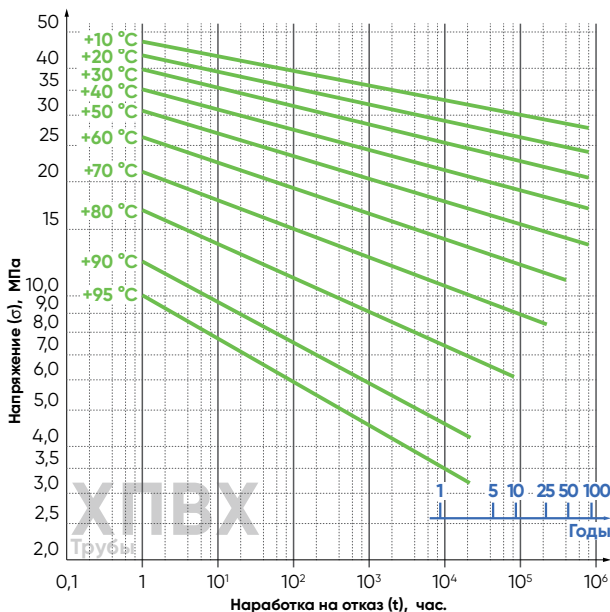


Рис. 1.62. Графики минимальной длительной прочности трубопроводов из ХПВХ

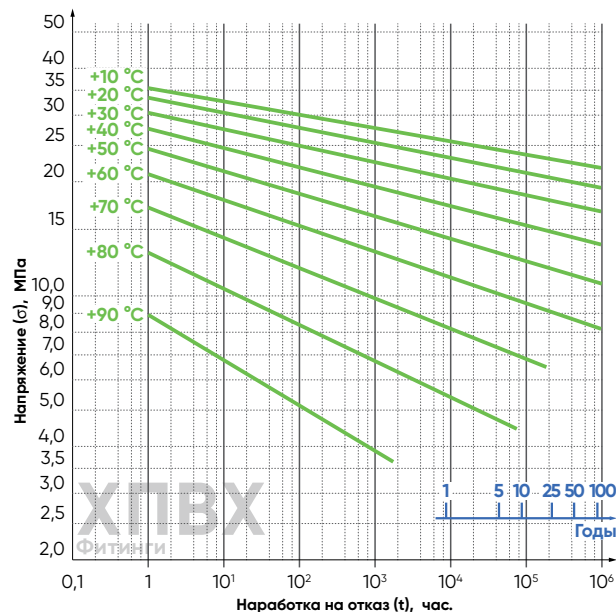


Рис. 1.63. Графики минимальной длительной прочности фитингов из ХПВХ

Формула расчёта линий нижнего 97,5% доверительного предела для трубопроводов из ХПВХ:  
 $\lg t = -164,461 - (29\,349,493/T \times \lg \sigma) + (60\,126,534/T) + (75,079 \times \lg \sigma)$ .

Формула расчёта линий нижнего 97,5% доверительного предела для фитингов из ХПВХ:  
 $\lg t = -121,699 - (25\,985,000/T \times \lg \sigma) + (47\,143,180/T) + (63,035 \times \lg \sigma)$ .

Обозначения см. Раздел 1.9.2.

### 1.9.4. Долговременные свойства АБС

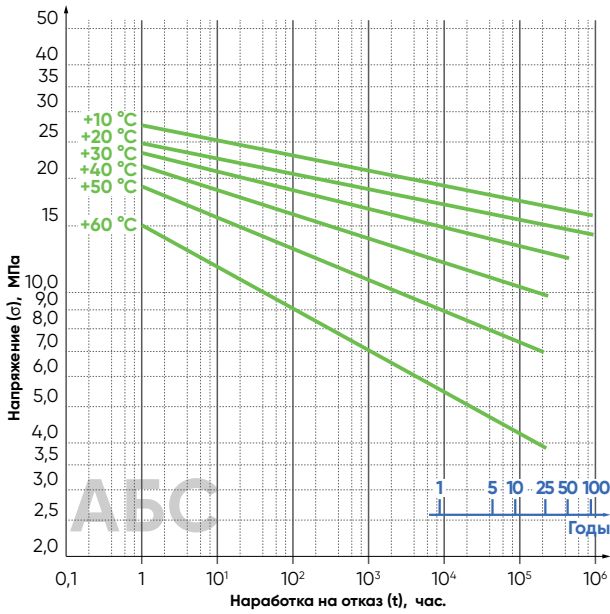


Рис. 1.64. Графики минимальной длительной прочности трубопроводов из АБС

Формула расчёта линий нижнего 97,5% доверительного предела для трубопроводов из АБС:  
 $\lg t = -154,896 - (35\,935,570/T \times \lg \sigma) + (55\,180,340/T) + (98,737 \times \lg \sigma)$ .

Обозначения см. Раздел 1.9.2.

### 1.9.5. Долговременные свойства ПП

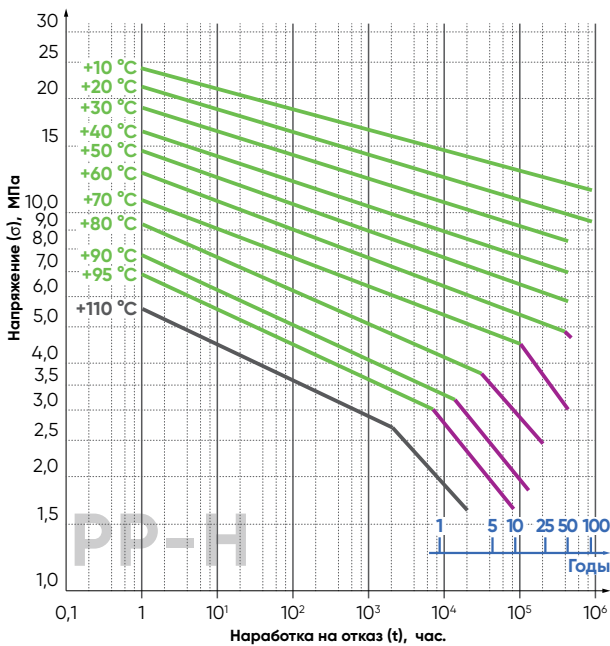


Рис. 1.65. Графики минимальной длительной прочности трубопроводов из PP-H

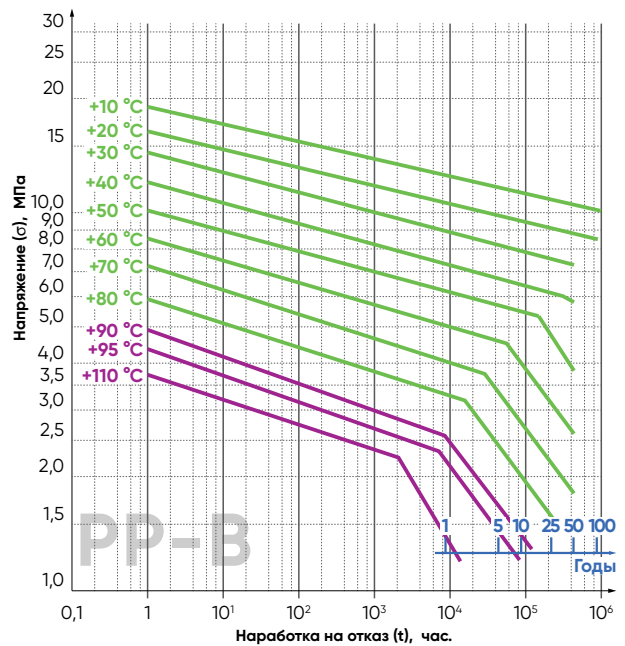


Рис. 1.66. Графики минимальной длительной прочности трубопроводов из PP-B

Формула расчёта линий нижнего 97,5% доверительного предела для трубопроводов из PP-H (см. Рис. 1.65):  
 $\lg t = -46,364 - (9601,100/T \times \lg \sigma) + (20\,381,500/T) + (15,240 \times \lg \sigma)$  (левая ветка)  
 $\lg t = -18,387 - (8918,500/T) - (4,100 \times \lg \sigma)$  (правая ветка)

Формула расчёта линий нижнего 97,5% доверительного предела для трубопроводов из PP-B (см. Рис. 1.66):  
 $\lg t = -56,086 - (10157,800/T \times \lg \sigma) + (23\,971,700/T) + (13,320 \times \lg \sigma)$  (левая ветка)  
 $\lg t = -13,699 - (6970,300/T) - (3,820 \times \lg \sigma)$  (правая ветка)

**Внимание.** Линия +110 °С получена экспериментально при условиях «вода внутри, воздух снаружи» и не может быть выведена из указанных уравнений. Обозначения см. Раздел 1.9.2.



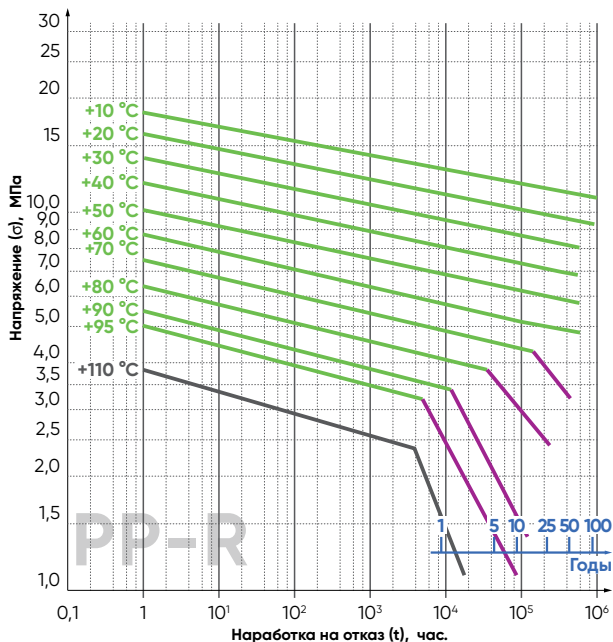


Рис. 1.67. Графики минимальной длительной прочности трубопроводов из PP-R

Формула расчёта линий нижнего 97,5% доверительного предела для трубопроводов из PP-R:

$$\lg t = -55,725 - (9484,100/T \times \lg \sigma) + (22\,502,200/T) + (6,390 \times \lg \sigma) \quad \text{(левая ветка)}$$

$$\lg t = -19,980 - (9507,000/T) - (4,110 \times \lg \sigma) \quad \text{(правая ветка)}$$

**Внимание.** Линия +110 °С получена экспериментально при условиях «вода внутри, воздух снаружи» и не может быть выведена из указанных уравнений. Обозначения см. Раздел 1.9.2..

### 1.9.6. Долговременные свойства ПЭ

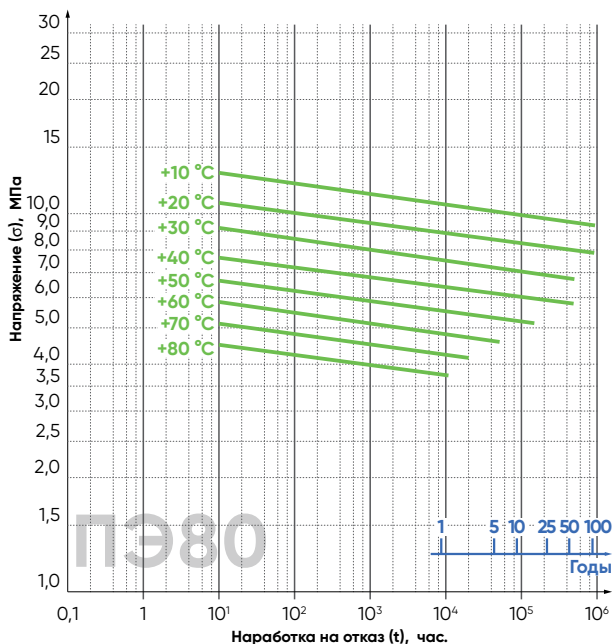


Рис. 1.68. Графики минимальной длительной прочности трубопроводов из ПЭ-80

Формула расчёта линий нижнего 97,5% доверительного предела для трубопроводов из ПЭ-80 (см. Рис. 1.68):

$$\lg t = -42,549 + (24\,074,825/T) - (37,576 \times \lg \sigma)$$

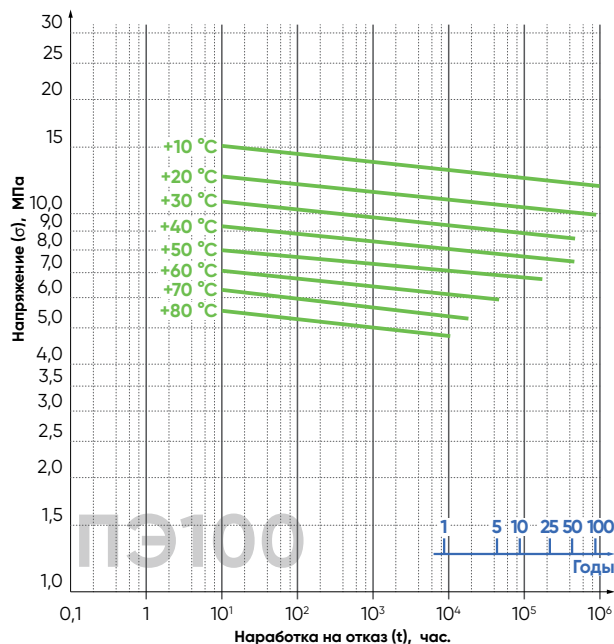


Рис. 1.69. Графики минимальной длительной прочности трубопроводов из ПЭ-100

Формула расчёта линий нижнего 97,5% доверительного предела для фитингов из ПЭ-100 (см. Рис. 1.69):

$$\lg t = -45,401 + (28\,444,735/T) - (45,989 \times \lg \sigma)$$

Обозначения см. Раздел 1.9.2.

### 1.9.7. Долговременные свойства ПВДФ

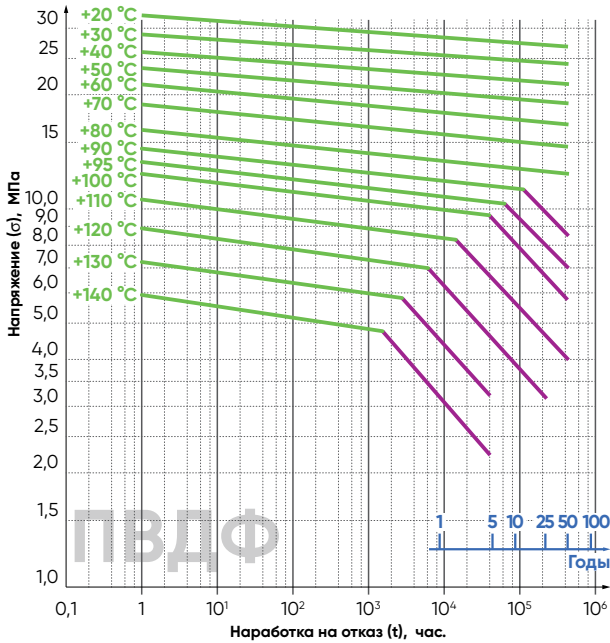


Рис. 1.70. Графики минимальной длительной прочности трубопроводов из ПВДФ

Формула расчёта линий нижнего 97,5% доверительного предела для трубопроводов из ПВДФ  
 $\lg t = -165,496 - (36518,700/T \times \lg \sigma) + (78465,650/T) + (57,047 \times \lg \sigma)$  (левая ветка)  
 $\lg t = -23,194 - (1611,690/T \times \lg \sigma) + (12100,000/T) - (0,405 \times \lg \sigma)$  (правая ветка)

Обозначения см. Раздел 1.9.2.

### 1.9.8. Расчёт срока службы при переменной нагрузке

В случае проектирования систем, работающих в условиях переменных нагрузок, для определения срока службы в различных условиях используется теория линейного суммирования повреждений (также называемая правилом Пальмгрена – Майнера).

Согласно немецкому Стандарту DVS 2205, ожидаемый срок службы определяется путём сложения коэффициентов повреждения для переменных условий эксплуатации.

В соответствии с этим правилом к механической нагрузке применяется следующее уравнение:

$$\sum (a_i \times T_m) / (100 \times t_i) = 1 \quad [1]$$

Для двухрежимной нагрузки, например, формула приобретает следующий вид:

$$t_m = (100 \times t_{m1} \times t_{m2}) / ((a_1 \times t_{m2}) + (2 \times t_{m1}))$$

Поскольку допустимый срок службы компонентов зависит не только от механической нагрузки, но и от теплового старения, влияние старения ( $t_a$ ) также должно учитываться и рассчитываться отдельно от воздействия механических нагрузок. Тепловое старение определяется следующим уравнением:

$$\sum (a_i \times T_a) / (100 \times t_i) = 1 \quad [2], \text{ где}$$

- $xx_1, xx_2, \dots, xx_n$  – количество режимов нагрузки;
- $a_1, a_2, \dots, a_n$  – доля времени n-го режима нагрузки (%);
- $t_{m1}, t_{m2}, \dots, t_{mn}$  – рассчитанный срок службы n-го режима нагрузки;
- $t_{a1}, t_{a2}, \dots, t_{an}$  – время теплового старения при соответствующей температуре;
- $T_m$  – рассчитанный срок службы при механических нагрузках;
- $T_a$  – рассчитанный срок службы под воздействием температурного старения.

**Практический пример**

Таб. 1.17. Условия эксплуатации и пропорции повреждений для PP-H (механические нагрузки)

Номер нагрузки	Нагрузка, МПа	Температура, °С	Доля времени нагрузок, %	Рассчитанный срок службы ( $t_m$ ), лет	Доля повреждения, %
1	6	50	75	33,30	82
2	2	80	25	50,25	18

Срок службы  $T_m$  при механических нагрузках вычисляется по формуле [1].

$$T_m = (100 \times 33,30 \times 50,25) / ((75 \times 50,25) + (25 \times 33,30)) = 36,37 \text{ года}$$

Таб. 1.18. Условия эксплуатации и пропорции повреждений для PP-H (тепловое старение)

Номер нагрузки	Температура, °С	Доля времени нагрузок, %	Начало температурно-го старения ( $t_a$ ), лет	Доля повреждения, %
1	50	75	91,23	35,7
2	80	25	16,90	64,3

Срок службы  $T_a$  под воздействием теплового старения вычисляется по формуле [2].

$$T_a = (100 \times 91,23 \times 16,90) / ((75 \times 16,90) + (25 \times 91,23)) = 43,45 \text{ года}$$

## 1.10. Модуль ползучести

Полимерные материалы под нагрузкой подвержены т.н. явлению ползучести. Явление ползучести представляет собой зависящую от времени деформацию материала, находящегося под постоянной нагрузкой. Величина деформации даже при постоянных нагрузках (напряжениях) и температурах увеличивается с течением времени. Модуль ползучести зависит от нагрузки, температуры, времени их воздействия, а также может зависеть от среды.

Конкретное значение модуля ползучести для данной температуры и нагрузки (напряжения) может быть получено из т.н. кривых модуля ползучести. Это значение используется:

- в расчётах устойчивости по следующей формуле:

$$E_{c(AI)St} = E_c / (A_{2E} \times S) \quad [3], \text{ где}$$

- $E_{c(AI)St}$  — допустимый модуль ползучести при расчётных условиях устойчивости с учётом всех параметров (температура, напряжение, время, влияние среды, коэффициент запаса прочности) (МПа);
- $E_c$  — модуль ползучести при расчётных условиях (температура, напряжение, время) (МПа);
- $A_{2E}$  — понижающий коэффициент, учитывающий влияние окружающей среды на модуль упругости;
- $S$  — коэффициент запаса прочности.

- в расчётах деформаций по следующей формуле:

$$E_{c(AI)D} = E_c / A_{2E} \quad [4], \text{ где}$$

- $E_{c(AI)D}$  — допустимый модуль ползучести при расчётных условиях деформации с учётом всех параметров (температура, напряжение, время, влияние среды) (МПа);
- $E_c$  — модуль ползучести при расчётных условиях (температура, напряжение, время) (МПа);
- $A_{2E}$  — понижающий коэффициент, учитывающий влияние окружающей среды на модуль упругости;

Коэффициент  $A_{2E}$  принимается равным 1, если среда не вызывает набухания материала трубопроводов. Для сред, вызывающих набухание, коэффициент  $A_{2E}$  должен определяться соответствующими тестами.

Коэффициент запаса прочности  $S$  означает, что при использовании компонента в соответствии со спецификациями в любое время в течение его расчётного срока службы этот запас прочности обеспечивается в отношении устойчивости материала к ползучести. Поэтому коэффициент запаса прочности также учитывает упрощения, сделанные при оценке нагрузки, конструкции или при экспериментальной проверке прочности.

### Коэффициент запаса прочности лежит в диапазоне 1,3...2,0.

- Коэффициент 1,3 относится к сценарию статической нагрузки на трубопровод при комнатной температуре и постоянных условиях эксплуатации. Опасность для людей, объектов и окружающей среды в случае аварии отсутствует.
- Коэффициент 2,0 относится к сценарию переменной нагрузки на трубопровод (изменение температуры, уровня заполнения и проч.). Опасность для людей, объектов и окружающей среды в случае аварии.

В каждом конкретном случае необходимо решить, какой сценарии лучше всего подходит для проектируемого компонента. В случае сомнений разумно использовать коэффициент  $S$  равный 2. При проектировании также следует учитывать несоосность и некруглость труб и других компонентов.

Далее приводятся кривые модуля ползучести для разных значений напряжения, температуры и проектируемого срока службы трубопроводной системы. Кривые построены в соответствии со Стандартами EN 1778 и DVS 2205-1.

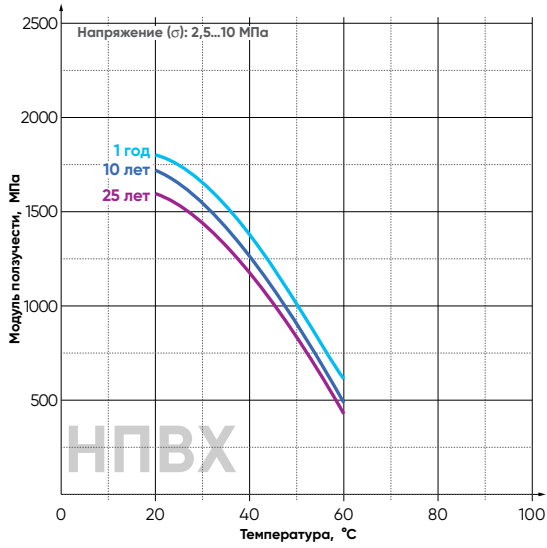


Рис. 1.71. Кривые модуля ползучести для трубопроводов из НПВХ

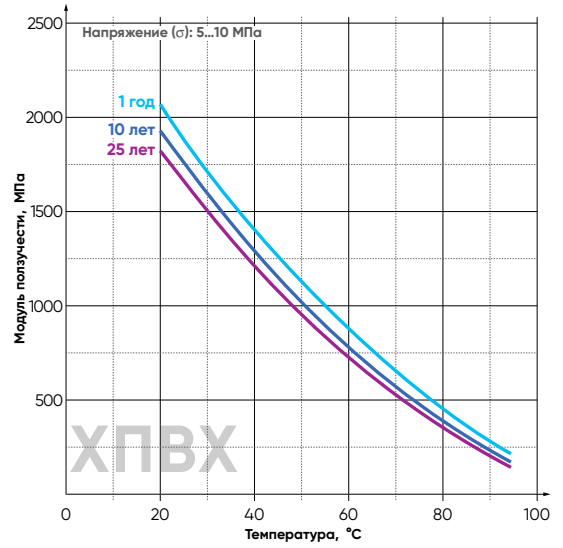


Рис. 1.72. Кривые модуля ползучести для трубопроводов из ХПВХ

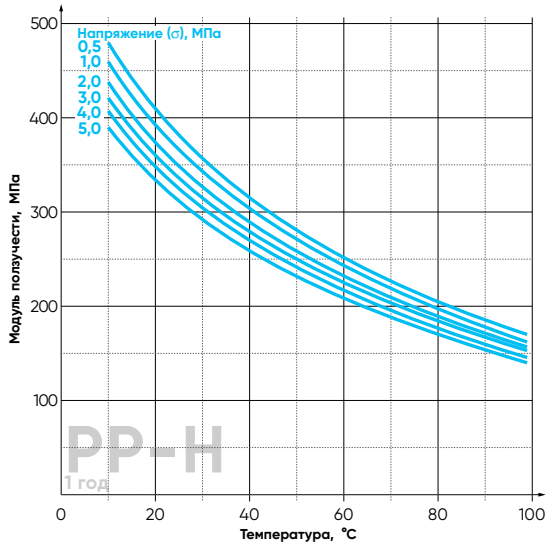


Рис. 1.73. Кривые модуля ползучести для трубопроводов из PP-H. Интервал времени – 1 год.

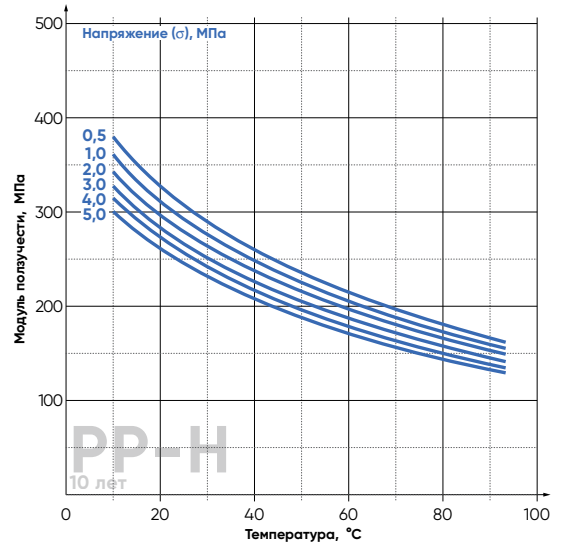


Рис. 1.74. Кривые модуля ползучести для трубопроводов из PP-H. Интервал времени – 10 лет.

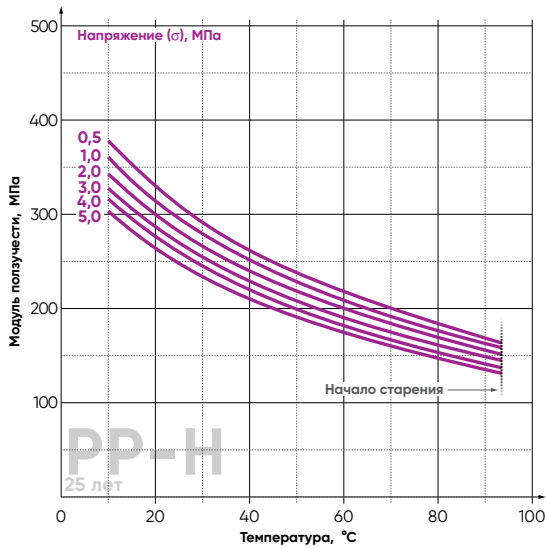


Рис. 1.75. Кривые модуля ползучести для трубопроводов из PP-H. Интервал времени – 25 лет.



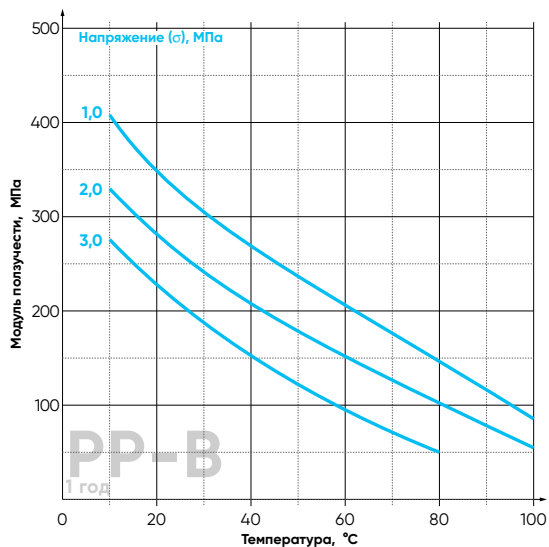


Рис. 1.76. Кривые модуля ползучести для трубопроводов из PP-B. Интервал времени – 1 год.

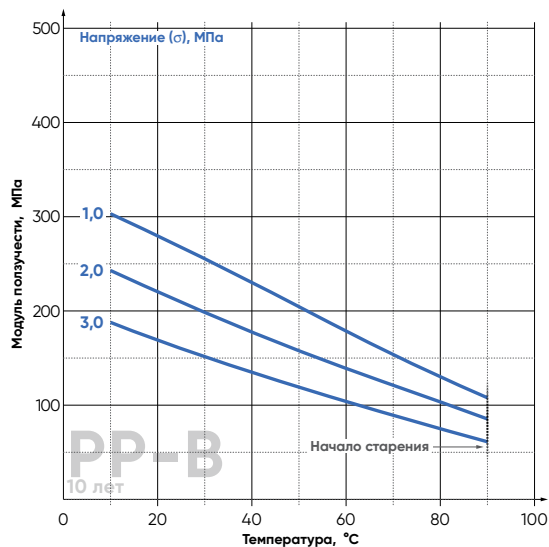


Рис. 1.77. Кривые модуля ползучести для трубопроводов из PP-B. Интервал времени – 10 лет.

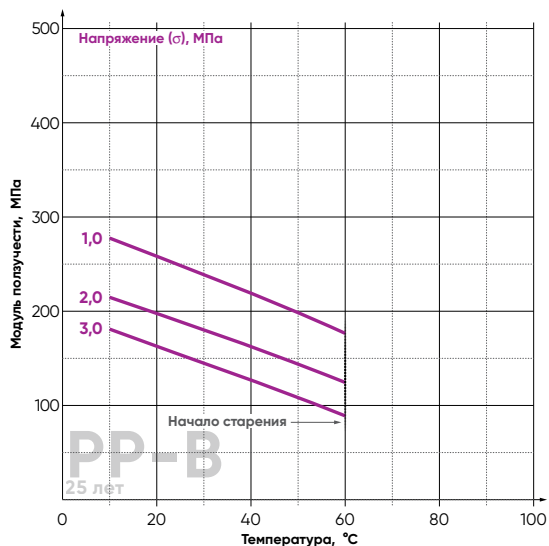


Рис. 1.78. Кривые модуля ползучести для трубопроводов из PP-B. Интервал времени – 25 лет.

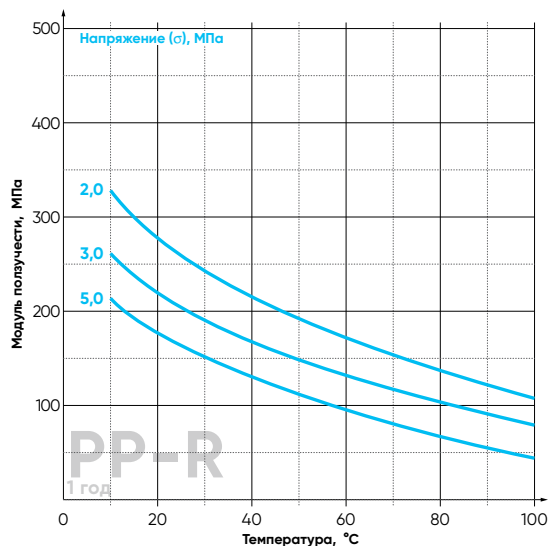


Рис. 1.79. Кривые модуля ползучести для трубопроводов из PP-R. Интервал времени – 1 год.

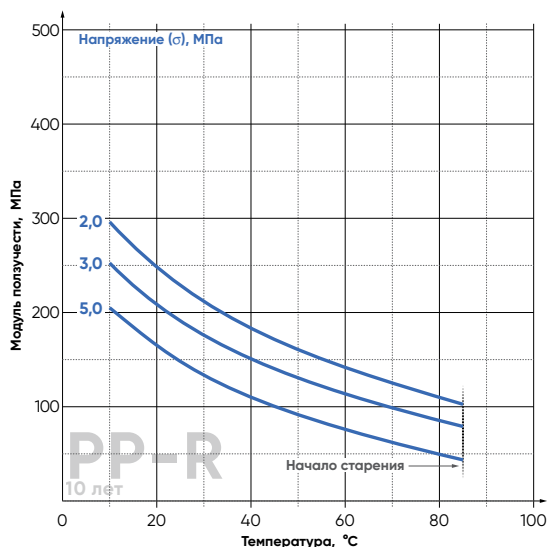


Рис. 1.80. Кривые модуля ползучести для трубопроводов из PP-R. Интервал времени – 10 лет.

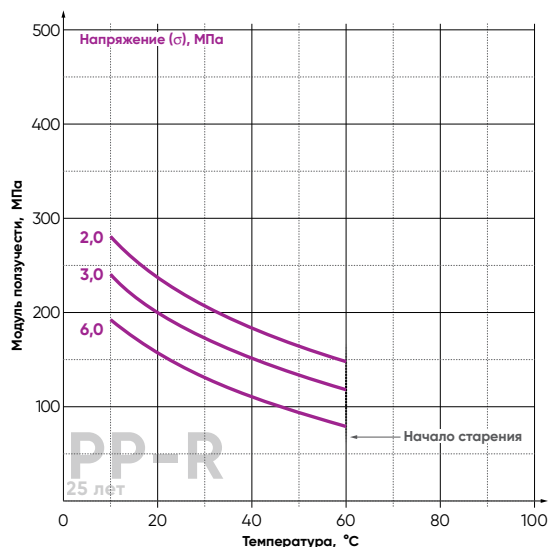


Рис. 1.81. Кривые модуля ползучести для трубопроводов из PP-R; Интервал времени – 25 лет.

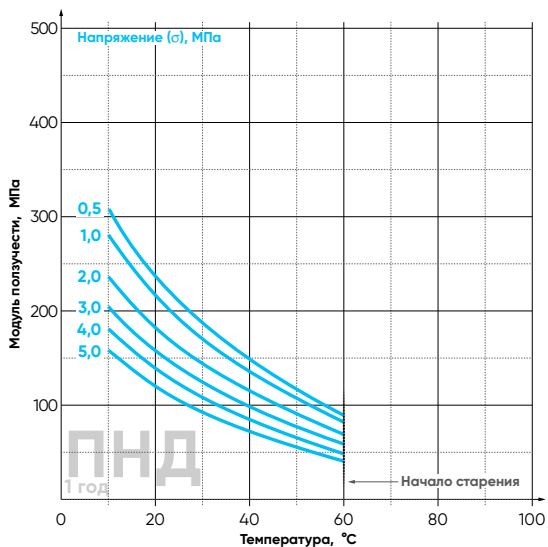


Рис. 1.82. Кривые модуля ползучести для трубопроводов из ПНД. Интервал времени – 1 год.

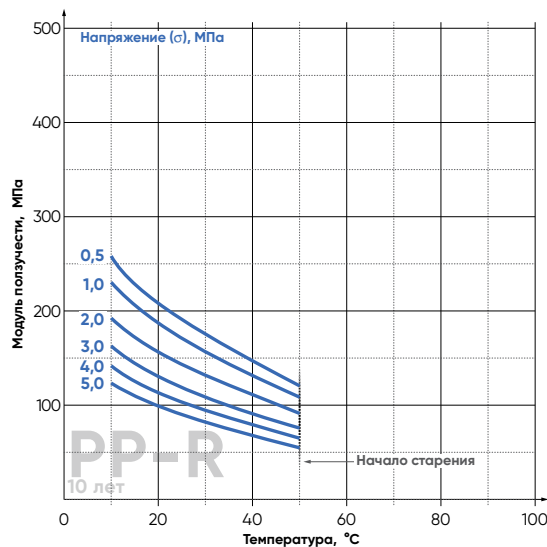


Рис. 1.83. Кривые модуля ползучести для трубопроводов из ПНД. Интервал времени – 10 лет.

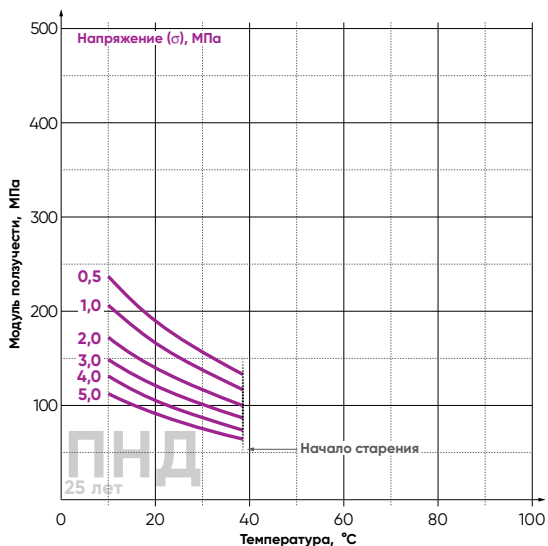


Рис. 1.84. Кривые модуля ползучести для трубопроводов из ПНД. Интервал времени – 25 лет.

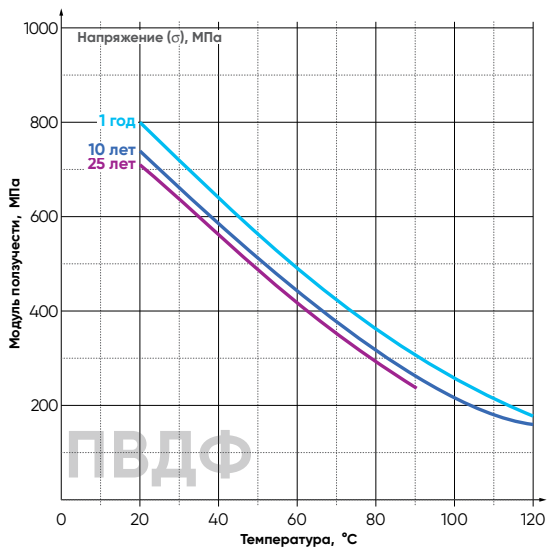


Рис. 1.85. Кривые модуля ползучести для трубопроводов из ПВДФ.



# Проектирование трубопроводных систем





## 2.1. Обозначения условные, аббревиатуры, единицы измерения, таблицы пересчёта

### 2.1.1. Обозначения условные графические

В таблице показаны основные символы, используемые для обозначения соединений, запорной арматуры и проч. в общей проектной документации, на схемах прокладки трубопроводов и расположения контрольно-измерительной аппаратуры или на общих чертежах.

Таб. 2.1. Обозначения условные графические (по DIN 2429, ISO 14617)

Обозначение условное	Обозначение условное	Обозначение условное	Обозначение условное
	Труба (общее обозначение)		Клапан мембранный
	Труба с теплоизоляцией		Клапан, кран с фланцевым присоединением
	Соединение труб		Затвор дисковый
	Переход трубопровода через препятствия, без соединения		Клапан обратный
	Тройник		Клапан обратный откидной
	Присоединение фланцевое		Насос
	Шланг		Привод
	Изменение диаметра условного (сгон)		Ёмкость, контейнер с фланцевым присоединением
	Кран, клапан (общее обозначение)		Уклон
	Кран шаровой		

### 2.1.2. Аббревиатуры

Таб. 2.2. Аббревиатуры материалов

Аббревиатура английская	Аббревиатура русская	Название
UPVC	НПВХ	Поливинилхлорид не пластифицированный
CPVC	ХПВХ	Поливинилхлорид хлорированный
PMMA	ПММА	Полиметилметакрилат
ABS	АБС	Акрилонитрил-бутадиен-стирол
PP	ПП	Полипропилен
PP-H	ПП-гомо	Полипропилена гомополимер
PP-B	ПП-блок	Полипропилена блок-сополимер
PP-R	ПП-рандом	Полипропилена рандом-сополимер
PP-EL	ПП-Э	Полипропилен электропроводящий
PP-GR	ПП-ТП	Полипропилен теплопроводящий
PE	ПЭ	Полиэтилен
PE-RC	ПЭ-RC	Полиэтилен ударопрочный
PE-X	ПЭ-Х	Полиэтилен сшитый
PVDF	ПВДФ	Поливинилиденфторид
PA	ПА	Полиамид
PB	ПБ	Полибутадиен
EPDM	СКЭП	Синтетический каучук этилен-пропиленовый
FKM	СКФ	Синтетический каучук фторированный
FFKM	—	Перфторэластомер фторированный
PTFE	ПТФЭ	Политетрафторэтилен
NBR	БНК	Бутадиен-нитрильный каучук



Таб. 2.3. Аббревиатуры

Аббревиатура	Значение
MRS	Минимальная длительная прочность
$\sigma$	Расчётная (проектная) нагрузка
C	Расчётный коэффициент
C <sub>min</sub>	Минимальный расчётный коэффициент
F <sub>j</sub>	Соединительный фактор
F <sub>c</sub>	Химический фактор
F <sub>t</sub>	Фактор ударной вязкости
PN	Давление номинальное
DN	Диаметр номинальный
D <sub>i</sub>	Диаметр внутренний
D <sub>e</sub>	Диаметр внешний
SDR	Стандартное размерное соотношение
T	Температура
t	Толщина стенки
r	Радиус изгиба трубы
t <sub>m</sub>	Срок службы при механической нагрузке
t <sub>a</sub>	Срок службы под воздействием старения
Q	Расход объёмный
V	Вязкость потока
V <sub>a</sub>	Средняя скорость
V <sub>m</sub>	Максимальная скорость
Re	Число Рейнольдса
$\mu$	Вязкость динамическая
$\nu$	Вязкость кинематическая
h	Падение давления
g	Ускорение свободного падения
$\lambda$	Коэффициент трения
A	Сечение трубы
Chw	Коэффициент Хазена – Вильямса
$\Delta P_{RF}$	Потери давления в фитинге
$\Delta P_{RV}$	Потери давления в месте соединения труб
$\Delta P_{geod}$	Перепад давления по высоте
$\Delta P_{valv}$	Потери давления в кране (клапане, затворе, задвижке)
$\epsilon_{RF}$	Коэффициент сопротивления фитинга
$\epsilon_{RV}$	Коэффициент сопротивления соединения
$\Delta h_{geod}$	Перепад высот линии трубопровода
K <sub>v</sub>	Коэффициент пропускной способности
t <sub>c</sub>	Время распространения гидроудара
V <sub>pw</sub>	Скорость распространения волны (фронта) давления
P <sub>k</sub>	Внешнее давление на трубу
$\sigma$	Проектная нагрузка
$\sigma_k$	Изгибающее усилие
E <sub>c</sub>	Модуль ползучести
f	Частота
E <sub>p</sub>	Электрический потенциал между электродами
E <sub>0</sub>	Потенциал стандартный
n	Заряд иона
F	Постоянная Фарадея
R	Сопротивление
K	Постоянная ячейки
d	Расстояние между электродами
S	Площадь поверхности электрода
S <sub>m</sub>	Длина фаски
k	Электропроводность
E	Модуль упругости (модуль Юнга)
$\epsilon$	Коэффициент шероховатости
t <sub>f</sub>	Время до отказа
$\alpha$	Угловое отклонение
f <sub>m</sub>	Величина максимального прогиба
L	Расстояние между опорами
L <sub>p</sub>	Длина зачищенного конца трубы

Li	Длина вставляемой части
M	Глубина траншеи
m	Минимальная ширина траншеи
I	Момент инерции
k	Коэффициент упругого прогиба
W	Статическая нагрузка
P <sub>p</sub>	Вес трубы
P <sub>f</sub>	Вес транспортируемой жидкости
s	Удельный вес жидкости в условиях эксплуатации
L <sub>A</sub>	Ширина пролёта между опорами трубы
T <sub>B</sub>	Температура рабочая
T <sub>R</sub>	Температура в помещении
R <sub>p</sub>	Расстояние между концами трубы
X	Значение некруглости трубы

Единицы измерения

Таб. 2.4. Основные единицы измерения в системе СИ

Физическая величина	Символ	Единица измерения	Обозначение
Длина	<i>l</i>	Метр	м
Масса	<i>m</i>	Килограмм	кг
Время	<i>t</i>	Секунда	с
Сила тока	<i>I</i>	Ампер	А
Температура	<i>T</i>	Градус Кельвина	К
Количество вещества	<i>n</i>	Моль	моль
Сила света	<i>In</i>	Кандела	кд

Таб. 2.5. Приставки в системе СИ

Название	Префикс		Символ		Степень 10	Значение
	Русск.	Intern.	Русск.	Intern.		
Квинтиллион	экса	exa	Э	E	10 <sup>18</sup>	1 000 000 000 000 000 000
Квадриллион	пета	peta	П	P	10 <sup>15</sup>	1 000 000 000 000 000
Триллион	тера	tera	Т	T	10 <sup>12</sup>	1 000 000 000 000
Миллиард	гига	giga	Г	G	10 <sup>9</sup>	1 000 000 000
Миллион	мега	mega	М	M	10 <sup>6</sup>	1 000 000
Тысяча	кило	kilo	к	k	10 <sup>3</sup>	1 000
Сто	гекта	hecto	г	h	10 <sup>2</sup>	100
Десять	дека	deca	да	da	10 <sup>1</sup>	10
Одна десятая	деци	deci	д	d	10 <sup>-1</sup>	0,1
Одна сотая	санти	centi	с	c	10 <sup>-2</sup>	0,01
Одна тысячная	милли	milli	м	m	10 <sup>-3</sup>	0,001
Одна миллионная	микро	micro	мк	μ	10 <sup>-6</sup>	0,000 001
Одна миллиардная	нано	nano	н	n	10 <sup>-9</sup>	0,000 000 001
Одна триллионная	пико	pico	п	p	10 <sup>-12</sup>	0,000 000 000 001
Одна квадриллионная	фемто	femto	ф	f	10 <sup>-15</sup>	0,000 000 000 000 001
Одна квинтиллионная	атто	atto	а	a	10 <sup>-18</sup>	0,000 000 000 000 000 001

Таб. 2.6. Некоторые физические величины. В системе СИ и внесистемные

Физическая величина	Обозначение			Преобразование к СИ и взаимосвязи единиц	Другие единицы вне системы СИ
	СИ	SI	Внесист.		
Длина	м	m			1" = 0,0254 м 1 миля морская = 1852 м
Площадь	м <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>			1 барн = 10 <sup>-28</sup> м <sup>2</sup> 1 ар = 10 <sup>2</sup> м <sup>2</sup> 1 гектар = 10 <sup>4</sup> м <sup>2</sup>
Объём	м <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	л	1 л = 10 <sup>-3</sup> м <sup>3</sup>	
Угол телесный	ср	sr		1 ср = 1 м <sup>2</sup> /м <sup>2</sup>	1 кв. град. = 3,046 × 10 <sup>-4</sup> ср 1 град (гон) = 2,467 × 10 <sup>-4</sup> ср
Время	с	s	мин ч д	1 мин = 60 с 1 ч = 3600 с 1 д = 86400 с	

Физическая величина	Обозначение			Преобразование к СИ и взаимосвязи единиц	Другие единицы вне системы СИ
	СИ	SI	Внесист.		
Частота	Гц	Hz		1 Гц = 1/с	
Угловая скорость вращения	с <sup>-1</sup>	s <sup>-1</sup>	мин <sup>-1</sup>	1 мин <sup>-1</sup> [1/60 с <sup>-1</sup> ]	
Частота вращения			об/мин	1 об/мин = 1 мин <sup>-1</sup>	
Скорость	м/с	m/s	км/ч	1 км/ч = 1/3,6 м/с	
Ускорение	м/с <sup>2</sup>	m/s <sup>2</sup>			1 Гал = 10 <sup>-2</sup> м/с <sup>2</sup>
Масса	кг	kg	т	1 т = 1000 кг	1 квинтал = 50 кг
Плотность	кг/м <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	т/м <sup>3</sup> кг/л	1 т/м <sup>3</sup> = 1000 кг/м <sup>3</sup> 1 кг/л = 1000 кг/м <sup>3</sup>	
Момент инерции	кг·м <sup>2</sup>	kg·m <sup>2</sup>			1 кгс·м·с <sup>2</sup> = 9,81 кг·м <sup>2</sup>
Сила	Н	N		1 Н = 1 кг·м/с <sup>2</sup>	1 дин = 10 <sup>-5</sup> Н 1 гс (понд) = 9,80665×10 <sup>-3</sup> Н 1 кгс (килопонд) = 9,80665 Н
Крутящий момент	Н·м	N·m			
Давление	Па	Pa	бар	1 Па = 1 Н/м <sup>2</sup> 1 бар = 105 Па	1 атм = 1,01325 бар 1 ат = 0,980665 бар 1 торр = 1,333224×10 <sup>-3</sup> бар 1 м вод. ст. = 98,0665×10 <sup>-3</sup> бар 1 мм рт.ст. = 1,333224×10 <sup>-3</sup> бар
Механическое напряжение	Н/м <sup>2</sup> Па	N/m <sup>2</sup> Pa		1 Н/м <sup>2</sup> = 1 Па	1 кгс/м <sup>2</sup> = 9,80665 Н/м <sup>2</sup> 1 кгс/см <sup>2</sup> = 98,0665×10 <sup>-3</sup> Н/м <sup>2</sup> 1 кгс/мм <sup>2</sup> = 9,80665×10 <sup>-6</sup> Н/м <sup>2</sup>
Вязкость динамическая	Па·с	Pa·s		1 Па·с = 1 Н·с/м <sup>2</sup>	1 П = 10 <sup>-1</sup> Па·с
Вязкость кинематическая	м <sup>2</sup> /с	m <sup>2</sup> /s		1 м <sup>2</sup> /с = 1 Па·с×м <sup>3</sup> /кг	1 Ст = 10 <sup>-4</sup> м <sup>2</sup> /с
Работа, энергия	Дж	J	Вт·ч эВ	1 Дж = 1 Н·м = 1 Вт·с 1 Вт·ч = 3,6 кДж	1 кал <sub>IT</sub> = 4,1868 Дж 1 кгс·м = 9,80665 Дж 1 эрг = 10 <sup>-7</sup> Дж
Электрический заряд	Кл	C		1 К = 1 А·с	
Напряжение электрическое	В	V		1 В = 1 Вт/А	
Сила тока	А	A			
Сопротивление электрическое	Ом	Ω		1 Ом = 1 В/А	1 Ом абс. = 1 Ом
Мощность	Вт	W		1 Вт = 1 Дж/с = 1 Н·м/с 1 Вт = 1 В×А	1 л. с. = 735,498 Вт 1 Ккал/ч = 1,163 Вт 1 кгс·м/с = 9,80665 Вт
Ёмкость электрическая	Ф	F		1 Ф = 1 Кл/В	
Напряжённость магнитного поля	А/м	A/m			1 Э = 79,5775 А/м
Магнитный поток	Вб	Wb		1 Вб = 1 В×с	1 Мкс = 10 <sup>-8</sup> Вб
Магнитная индукция	Тл	T		1 Т = 1 Вб/м <sup>2</sup>	1 Гс = 10 <sup>-4</sup> Тл
Индуктивность	Гн	H		1 Гн = 1 Вб/А	
Электропроводность	См	S		1 См = 1/Ом	
Температура термодинамическ.	°К	°K		Δ1 °С = Δ1 °K	0 °С = 273,15 °K
Температура по Цельсию	°С	°C		Δ1 °С = Δ1 °K 0 °K = -273,15 °С	
Теплоёмкость	Дж/К	J/K			1 Ккал/°K = 4,1868×10 <sup>3</sup> Дж/°K

Таб. 2.7. Таблица преобразований объёмного расхода

м³/ч	л/мин	л/с	м³/с	галлон/мин (UK)	галлон/мин (USA)	фут³/ч	фут³/с
1,0	16,67	0,278	2,78×10 <sup>-4</sup>	3,667	4,404	35,311	9,81×10 <sup>-3</sup>
0,06	1,0	0,017	1,67×10 <sup>-5</sup>	0,220	0,264	2,119	5,89×10 <sup>-4</sup>
3,6	60	1,0	1,00×10 <sup>-3</sup>	13,20	15,853	127,12	3,53×10 <sup>-2</sup>
3600	60000	1000	1,0	13200	15838	127118	35,311
0,2727	4,55	0,076	7,58×10 <sup>-5</sup>	1,0	1,201	9,629	2,67×10 <sup>-3</sup>
0,2272	3,79	0,063	6,31×10 <sup>-5</sup>	0,833	1,0	8,0238	2,23×10 <sup>-3</sup>
0,0283	0,47	0,008	7,86×10 <sup>-6</sup>	0,104	0,125	1,0	2,78×10 <sup>-4</sup>
101,94	1699	28,32	2,83×10 <sup>-2</sup>	373,77	448,8	3600	1,0

Таб. 2.8. Таблица преобразований единиц давления

бар	кг/см²	фунт-фут/дюйм²	атм	фут вод. столба	метр вод. столба	мм ртутн. столба	дюйм ртутн. столба	кПа
1,0	1,0197	14,504	0,9869	33,455	10,197	750,06	29,530	100
0,9807	1,0	14,223	0,9878	32,808	10	735,56	28,959	98,07
0,0689	0,0703	1,0	609	2,3067	0,7031	51,715	2,036	6,89
1,0133	1,0332	14,696	1,0	33,889	10,332	760,0	29,921	101,3
0,0299	0,0305	0,4335	0,0295	1,0	0,3048	22,420	0,8827	2,99
0,0981	0,10	1,422	0,0968	3,2808	1,0	73,356	2,896	9,81
13,3×10 <sup>-4</sup>	0,0014	0,0193	13,2×10 <sup>-4</sup>	0,0446	0,0136	1,0	0,0394	0,133
0,0339	0,0345	0,4912	0,0334	1,1329	0,3453	25,40	1,0	3,39
1,0×10 <sup>-5</sup>	10,2×10 <sup>-6</sup>	14,5×10 <sup>-5</sup>	9,87×10 <sup>-6</sup>	3,34×10 <sup>-4</sup>	10,2×10 <sup>-5</sup>	75,0×10 <sup>-4</sup>	29,5×10 <sup>-5</sup>	1,0

## 2.2. Выбор материала

Правильный выбор пластика является решающим для получения эффективного и успешного проектирования, поскольку он позволяет достичь желаемой функциональности, безопасности и заданного минимального срока службы системы. Материал выбирается с учётом общепринятых методов прокладки трубопроводов и влияющих факторов, которые можно суммировать словом «**STAMP**»: Size (Рабочий диаметр) – Temperature (Рабочая температура) – Application (Область применения) – Media (Перекачиваемая среда) – Pressure (Рабочее давление).



Таким образом, чтобы правильно выбрать материал и правильно его использовать, важно прежде всего ответить на основные вопросы:

- какова область применения материала?
- Среду с какой концентрацией предполагается перекачивать?
- Каков планируемый объём и скорость перекачки?
- Каково рабочее давление?
- Какова рабочая температура перекачиваемой среды?
- Предполагается наземная или подземная прокладка трубопровода?
- Существуют ли Нормы и Стандарты, разрешающие или ограничивающие использование полимеров?

Для получения правильных ответов можно учитывать некоторые факторы, в первую очередь состав перекачиваемой среды. В частности, необходимо изучить её химические характеристики и подумать о нежелательных изменениях состава, чтобы выбрать правильное решение.

Возможно, было бы полезно начать с определения химической стойкости желаемого материала трубопровода: как правило, термопластичные пластики характеризуются высокой стойкостью к широкому спектру жидкостей, но это может изменяться в зависимости от химического агента, изменения температуры или нагрузки, поэтому важно обратить внимание на каждый фактор, который может повлиять на окончательный выбор.

Затем следует принять во внимание параметры, связанные с технологическими характеристиками потока: требуемый расход может быть установлен в соответствии с желаемой скоростью и максимальным рабочим давлением. Для этого также необходимо учитывать любые возможные изменения давления, поскольку они могут повлиять на габариты всей системы.

Что касается падения давления в трубопроводе, то оно может быть как распределено в самих трубах, так и быть сконцентрировано в фитингах, соединениях или запорной арматуре. Следует учитывать, что при резкой остановке потока может произойти локальное повышение давления, называемое гидравлическим ударом. Его воздействие должно быть оценено заранее, чтобы получить правильные габариты трубопроводной системы.

Ещё одним важным фактором, который может повлиять на процесс проектирования системы, является местоположение и окружающая среда: необходимо использовать различные материалы в зависимости от того, находится ли система под землёй или расположена над землёй или на потолке производственных помещений.

Необходимо учитывать и температуру внешней среды из-за её возможных колебаний. Например, при переходе от чрезвычайно жаркого лета к холодной зиме (и наоборот) в пластиковых трубопроводах происходит ряд изменений, связанных с тепловым расширением и сжатием материала. Этими явлениями следует управлять и учитывать их в ходе проектных работ.

Что касается компоновки системы, то должно быть предусмотрено достаточно места: трубы не должны создавать никаких препятствий для персонала или транспорта. Конструкции не должны мешать доступу к другому оборудованию и техническому обслуживанию. Очевидно также, что следует избегать появления потенциально пожароопасных зон.

И последнее, но не менее важное соображение, касающееся бюджета. Каждый ранее обсуждавшийся фактор должен учитывать затраты на материалы, монтаж и техническое обслуживание.

**Правильный выбор материала и тщательный учёт всех вышеперечисленных особенностей на этапе проектирования гарантирует чрезвычайно длительный жизненный цикл спроектированной системы.**

### 2.3. Химическая стойкость

Каждый пластик можно классифицировать в соответствии с теорией химической стойкости и понять его поведение при взаимодействии с различными видами химических реагентов.

Термопластичные смолы, в зависимости от их молекулярной структуры, характеризуются высокой стойкостью к широкому спектру жидкостей. Но в любом случае на эту инертность существенно влияют условия эксплуатации, которым подвергается термопластичный материал: изменения в составе химического агента, температура, статические и динамические напряжения. Эти причины могут вызывать деградацию материала трубопровода и, соответственно, снижать срок его эксплуатации.

Как было сказано ранее, на химическую стойкость материала влияет температура. Поэтому полезно обсудить взаимосвязь между скоростью химической реакции и её температурой. Эту тему можно обобщить всего в одной формуле, в уравнении Аррениуса, которое описывает, как константа скорости химической реакции экспоненциально возрастает с повышением температуры.

Уравнение Аррениуса можно записать в виде:

$$k = k_0 \times e^{\left(-\frac{E_a}{R \times T}\right)} \quad [1], \text{ где:}$$

- $k$  – константа скорости (частота столкновений, приводящих к реакции), используемая для расчёта скорости химической реакции;
- $k_0$  – предэкспоненциальный множитель (фактор частоты), который характеризует частоту столкновений реагирующих молекул;
- $E_a$  – минимальная энергия активации молекул для начала реакции (Дж/моль);
- $R$  – универсальная газовая постоянная (Дж/моль  $\times$  °K);
- $T$  – температура (°K).

Следует помнить, что для проведения химической реакции молекулы реагентов должны сталкиваться с достаточной энергией, чтобы преодолеть так называемую энергию активации, то есть минимальную энергию, необходимую системе для начала реакции. При данной температуре не все молекулы обладают достаточной кинетической энергией, чтобы превысить значение энергии активации, но по мере её повышения увеличивается доля молекул, кинетическая энергия которых превышает энергию активации.



С другой стороны, прологарифмировав обе части уравнения Аррениуса, его можно записать в виде:

$$\ln k = \ln k_0 - \frac{E_a}{R \times T} \quad [2]$$

Легко заметить, что с повышением температуры  $\ln k$  уменьшается, что и видно на графике (см. Рис. 2.1).

Поэтому, чтобы сделать точный выбор необходимого материала, необходимо знать поведение термопластичных материалов при воздействии на них химических соединений.

Обобщая информацию по каждому отдельному пластику, можно сделать вывод, что, например, ПВХ подходит для большинства сильных кислот, щелочей, водных растворов, алифатических углеводородов и фторидов, но, как правило, не рекомендуется для сложных эфиров, кетонов, простых эфиров и ароматических или хлорированных углеводородов.

ХПВХ – это один из пластиков с наиболее интересными характеристиками. Он устойчив к агрессивным химическим веществам (которые могут разрушать и сокращать срок службы трубопроводов из некоторых металлов), таких как серная и соляная кислоты, сульфаты и гидроксиды. Кроме того, ХПВХ также выдерживает большие колебания pH перекачиваемых жидкостей. Поэтому данный пластик используется в широком спектре промышленных операций, таких как нанесение покрытий на металлы, производство хлорно-щелочных веществ, очистка сточных вод.

Полиолефины устойчивы к воздействию водных растворов солей, разбавленных кислот, щелочей и электролитов, которые могут привести к коррозии металлов. Лишь длительное воздействие на материал сильных окислителей (высококонцентрированные пероксиды и кислоты или галогены), приводит к его деградации.

ПВДФ переносит большинство неорганических кислот и солей, органические кислоты, алифатические и ароматические углеводороды, сырую нефть и топливо, спирты и эфиры, галогены (за исключением фтора).

АБС устойчив к воздействию водных кислот, щелочей, концентрированных соляной и фосфорной кислот, но он может подвергаться воздействию концентрированной серной и азотной кислоты. Этот пластик растворим в сложных эфирах, кетонах и дихлорэтаноле.

FKM и FFKM – это фторированные эластомеры, абсолютный эталон для резиновых уплотнений с точки зрения их химической стойкости. Они используются в высокотехнологичных областях, например, в аэрокосмической промышленности, в военных целях, для изготовления полимерных оптических волокон или в системах трубопроводов для особо агрессивных сред: чистый кислород, фтор, водород, сероводород, кислоты. По сравнению с обычными каучуками они обладают высокой устойчивостью к воздействию химических веществ, ультрафиолетовых лучей и окислителей.

Другим эластомером, являющимся одним из наиболее популярных видов синтетического каучука, является EPDM (синтетический каучук этилен-пропиленовый), который обладает очень хорошей устойчивостью к атмосферному окислению, то есть к озону, химическим веществам на водной основе, а также к кислотам и щелочам.

Даже если на первый взгляд выбор материала на основе химической стойкости к транспортируемой жидкости может показаться тривиальным, на самом деле это очень сложная и избирательная процедура, поскольку, как видно из нижеследующей таблицы (см. Таб. 2.9), трудно найти материал, который может быть использован сразу с большим спектром перекачиваемых сред. Поскольку температура сильно влияет на химическую стойкость материала, эту таблицу следует рассматривать только как общий пример.

Для получения подробной информации рекомендуется ознакомиться с базой данных по химической стойкости на веб-сайте компании **Aliaxis**.

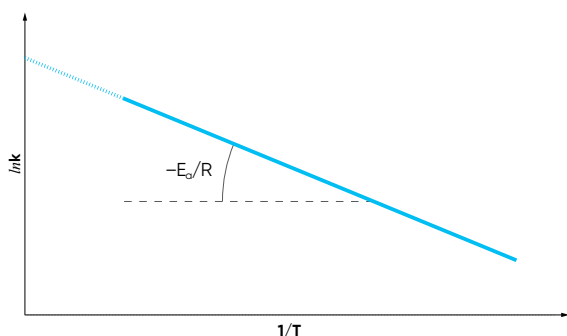


Рис. 2.1. Графический вид уравнения Аррениуса



Рис. 2.2. Признаки химической деградации пластика из-за неверного выбора материала для перекачиваемой среды

Таб. 2.9. Стойкость пластиков и каучуков к некоторым веществам

Среда	Пластик, каучук							
	НПВХ	ХПВХ	АБС	ПЭ	ПП	ПВДФ	EPDM	FKM
Хлор газообразный (сухой)	Усл.	Усл.	✗	✗	✗	Усл.	✗	✓
Хлор газообразный (влажный)	Усл.	Усл.	✗	✗	✗	Усл.	✗	Усл.
Вода, насыщенная хлором	✓	✓	✗	Усл.	✗	Усл.	✓	✓
Хлор жидкий	✗	✗	✗	✗	✗	Усл.	✗	✓
Гипохлорит натрия (12,5%)	✓	✓	✗	Усл.	Усл.	Усл.	Усл.	✓
Вода хлорированная	✓	✓	✗	Усл.	✓	✓	✓	✓
Диоксид хлора, насыщенный	✓	✓	✗	✗	Усл.	Усл.	✗	✓
Вода озонированная	✓	✓	✗	Усл.	Усл.	✓	✓	✓
Озон газообразный	Усл.	Усл.	✗	✗	✗	Усл.	✓	✓

Поэтому, чтобы получить общее представление о теме и о более точном перечне химических веществ, с которыми могут взаимодействовать пластики, рекомендуется изучить Руководства по промышленной химической стойкости, доступные на веб-сайте компании **Aliaxis** или в соответствующих мобильных приложениях Компании. В этих таблицах приведены классы химической стойкости термопластичных и эластомерных материалов, которые чаще всего применяются для производства клапанов и фитингов, используемых для транспортировки различных жидкостей.

Перечисленные данные основаны на опыте применения в промышленности, а также на результатах лабораторных испытаний.

Другими авторитетными источниками по химической стойкости являются два широко признанных стандарта:

- Стандарт ISO 10358;
- DIBt Media List 40 (Каталог сред Deutsches Institut für Bautechnik).

Как говорилось ранее, изменения в химическом составе перекачиваемых сред или в условиях эксплуатации (давление, температура, а также механические нагрузки), могут значительно изменить фактическую химическую стойкость материалов трубопровода: в лабораторных испытаниях обычно используется чистая среда, но необходимо помнить, что химическая стойкость ухудшается и часто снижается при работе с рядом химических веществ или соединений, содержащих примеси. Поэтому, когда рассматриваются конкретные области применения того или иного пластика, часто бывает целесообразно проводить испытания с использованием фактической рабочей среды, которая будет использоваться в процессе эксплуатации.

В Руководствах по химической стойкости обычно используются три класса степени химической стойкости.

- **Класс 1.** Высокопрочный материал. Материалы, относящиеся к этому классу, полностью устойчивы к воздействию транспортируемой жидкости в соответствии с заданными условиями эксплуатации.
- **Класс 2.** Материалы с ограниченной стойкостью. Материалы, относящиеся к этому классу, частично подвержены воздействию транспортируемого продукта. Таким образом, средний срок службы материала короче. Поэтому рекомендуется использовать более высокий коэффициент безопасности, чем тот, который принят для материалов Класса 1.
- **Класс 3.** Нестойкие материалы. Все материалы, относящиеся к этому классу, подвержены воздействию транспортируемого продукта, поэтому использовать их не следует.

Таким образом, просто выполнив поиск нужного пластикового материала и промышленной жидкости, можно понять, является ли сопротивление хорошим или нет.

Чтобы завершить тему о химической стойкости, необходимо рассмотреть также и механическую устойчивость труб и фитингов, и, главное, устойчивость мест соединения, которые часто является наиболее уязвимым местом промышленной трубопроводной системы.

Практика показала, что стыки труб имеют высокую стойкость при применении таких методов как клеевое соединение растворителем (иначе называемое просто склейкой), стыковая и электрофузионная сварка.

В частности, склеивание посредством растворителей – это процесс монтажа, в котором используются растворители и пластиковые смолы для химического соединения трубы и фитинга вместе. При нанесении растворитель размягчает и растворяет верхний слой материала труб и фитингов, ослабляя их молекулярную структуру. При этом создаётся область термопластичного материала. Соответственно, при этом само место соединения сохраняет ту же химическую стойкость, что и сам материал трубопровода, поскольку это один и тот же материал, а не посторонний компонент, добавленный в изделие. Более того, растворитель в процессе склеивания заполняет все имеющиеся пустоты, повышая таким образом общую стойкость места соединения.

## 2.4. Выбор диаметров и гидравлические расчёты

В этом разделе изложены некоторые технические требования по безопасной конструкции труб, изготовленных из НПВХ, ХПВХ, ПВДФ, АБС, ПП-гомо, ПЭ для транспортировки воды или неагрессивных жидкостей.

### 2.4.1. Конструкция трубы

Первым шагом в проектировании системы трубопроводов является принятие решения о том, какие диаметры следует использовать. Для этого важно понять и изучить несколько факторов, некоторые из которых напрямую связаны с давлением:

- проектная нагрузка;
- давление номинальное;
- стандартное размерное соотношение (SDR);
- серия труб;
- толщина стенки.

#### ► Расчёт нагрузки на основе минимальной длительной прочности

Наибольшим напряжением, присутствующим в любой находящейся под давлением трубе, является кольцевая нагрузка (см. Рис. 2.3), определяемая как сила, действующая по окружности на каждую частицу в стенке цилиндра, перпендикулярно оси трубы, в обоих направлениях.

Это напряжение и является определяющим фактором при определении давления, которое может выдержать участок трубы. Обычно его называют расчётной (проектной) нагрузкой, обозначаемой как  $\sigma$ .

Проектная нагрузка  $\sigma$  (в МПа) рассчитывается по следующей формуле:

$$\sigma = MRS/C \quad [3]$$

MRS – минимальная длительная прочность (в МПа), то есть минимальное гарантированное значение разрывной нагрузки материала при перекачке воды с температурой +20 °С непрерывно в течение 50 лет.

C – расчётный коэффициент (безразмерный, всегда больше 1).

В некоторых случаях следует учитывать дополнительные факторы, обычно в зависимости от свойств перекачиваемой среды, материала и температуры или метода соединения, как описано в следующей таблице из Стандарта DVS 2205.

Таб. 2.10. Дополнительные факторы для расчёта проектной нагрузки

Материал трубопровода	Химический фактор ( $F_c$ )	Фактор ударной вязкости ( $F_t$ )	Соединительный фактор ( $F_j$ )
НПВХ	Зависит от особенностей химического состава перекачиваемой среды	Зависит от материала трубопроводной системы и температуры перекачиваемой среды	Зависит от метода соединения труб и арматуры
ХПВХ (труба)			
ХПВХ (фитинг)			
АБС			
ПП-гомо			
ПЭ100			
ПВДФ			

С учётом этих факторов (коэффициентов) формула [3] приобретает следующий вид:

$$\sigma = (MRS \times F_j) / (C \times F_c \times F_t) \quad [4]$$

Значения кольцевой нагрузки для каждого материала при различном давлении и сроке службы можно определить по кривыми прочности, описанным в Стандартах ISO 15494, ISO 15493 и ISO 10931.

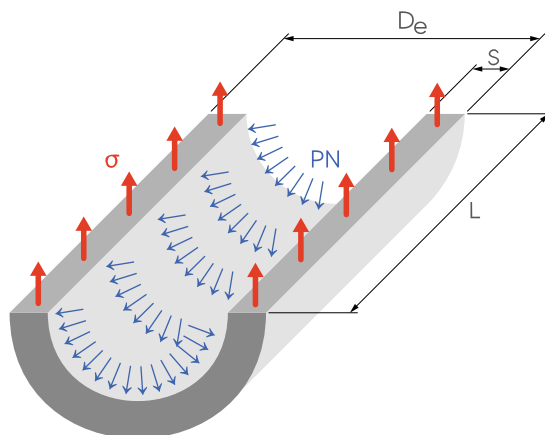


Рис. 2.3. Кольцевая нагрузка в трубе под внутренним давлением

Что касается расчётного коэффициента  $C$ , используются различные его значения – в зависимости от материала трубы и того, по какому Стандарту ведётся проектирование. В Таб. 2.11 приведены различные минимальные значения расчётного коэффициента ( $C_{\min}$ ), перечисленные в Стандарте DIN и одобренные DIBt и EN ISO 12162.

DIN – это национальный Стандарт, EN – европейский Стандарт, DIBt Approval – разработка Deutsches Institut für Bautechnik. DIBt – это государственное учреждение Германии, которое публикует сертификаты, подтверждающие, что рассматриваемая продукция соответствует немецким требованиям безопасности и иным нормативным требованиям.

Таб. 2.11. Минимальные значения расчётного коэффициента  $C_{\min}$

Материал трубопровода	Стандарт DIN	Требования DIBt	Стандарт ISO 12162
НПВХ	2,0...2,5	2	1,60
ХПВХ	–	2	1,60
АБС	–	2	1,60
ПП-гомо	1,60 (+10...+40 °C)	2	1,60
	1,40 (+40...+60 °C)		
	1,25 (<+60 °C)		
ПЭ100	1,25...1,60...2,00	2	1,25
ПВДФ	–	2	1,60

Стандарт EN ISO 12162 основан на испытаниях трубчатых форм и даёт значения  $C_{\min}$ , полезные для расчёта допустимого рабочего давления в проектируемой системе. С другой стороны, номинальное (рабочее) давление в системе должно рассчитываться с использованием расчётных коэффициентов ( $C$ ), предлагаемых каждой компанией-производителем. Поскольку эти коэффициенты  $C$  по соображениям безопасности выше, чем значения  $C_{\min}$ , указанные в EN ISO 12162, рабочее давление в системе всегда устанавливается несколько ниже расчётного.

#### ► Расчёт номинального давления

Для систем пластиковых трубопроводов номинальное давление PN рассчитывается как максимальное рабочее давление (в барах) при температуре +20 °C, обеспечивающее непрерывную перекачку воды в течение 50 лет. Для систем, предназначенных для транспортировки иных сред, номинальное давление рассчитывается исходя из срока службы 25 лет.

Это положение может быть выражено следующим уравнением:

$$PN = 20 \times \sigma / (SDR - 1) \quad [5], \text{ где}$$

PN – номинальное давление (бар);

$\sigma$  – проектная нагрузка (МПа);

SDR – стандартное размерное соотношение (см. ниже).

Как уже говорилось, важно помнить, что проектная нагрузка  $\sigma$  вычисляется по расчётному коэффициенту  $C$ , заданному компанией **Aliaxis** и обычно применяемому в промышленности.

#### ► Расчёт стандартного размерного соотношения

Нагрузка труб и фитингов под давлением выражается значением SDR или т.н. стандартным размерным соотношением – соотношением между наружным диаметром трубы и толщиной её стенки:

$$SDR = D_e / t \quad [6], \text{ где}$$

SDR – стандартное размерное соотношение;

$D_e$  – наружный диаметр трубы (мм);

$t$  – толщина стенки трубы (мм).

SDR также может быть рассчитано на основе известного номинального давления:

$$SDR = (20 \times \sigma) / (PN + 1) \quad [7], \text{ где}$$

SDR – стандартное размерное соотношение;

$\sigma$  – проектная нагрузка (МПа);

PN – номинальное давление (бар).

**✦ Практический пример**

При наружном диаметре трубы  $D_e = 110$  мм и толщине стенки  $t = 10$  мм

$$SDR = 110/10 = 11$$

**► Расчёт серии трубы**

Стандарт ISO 4065 классифицирует трубы по сериям в соответствии с их номинальным давлением, поэтому трубы с одинаковым номером серии имеют одинаковые рабочие давления.

Серия обозначается буквой S и рассчитывается по формуле:

$$S = (SDR - 1)/2 \quad [8], \text{ где}$$

SDR – стандартное размерное соотношение;  
S – серия.

**✦ Практический пример**

Для трубы с  $SDR = 11$

$$S = (11 - 1)/2 = 5$$

**► Расчёт толщины стенки**

Габариты пластиковой трубы, находящейся под внутренним давлением, зависит от требований к её прочности. Все размеры труб, указанные в Стандартах, связаны уравнением:

$$t = (D_e \times PN)/(20 \times \sigma + PN) \quad [9], \text{ где}$$

t – толщина стенки (мм);  
 $D_e$  – наружный диаметр трубы (мм);  
PN – номинальное давление (бар).

Таб. 2.12. НПВХ. Значения толщин стенки труб t для различных серий S

S	20,0	16,0	12,5	10,0	8,0	6,3	5,0
SDR	41,0	33,0	26,0	21,0	17,0	13,6	11,0
Ø нар., $D_e$	Толщина стенки t						
12	–	–	–	–	–	–	1,5
16	–	–	–	–	–	–	1,5
20	–	–	–	–	–	1,5	1,9
25	–	–	–	–	1,5	1,9	2,3
32	–	–	1,5	1,6	1,9	2,4	2,9
40	–	1,5	1,6	1,9	2,4	3,0	3,7
50	–	1,6	2,0	2,4	3,0	3,7	4,6
63	–	2,0	2,5	3,0	3,8	4,7	5,8
75	–	2,3	2,9	3,6	4,5	5,6	6,8
90	–	2,8	3,5	4,3	5,4	6,7	8,2
110	2,7	3,4	4,2	5,3	6,6	8,1	10,0
125	3,1	3,9	4,8	6,0	7,4	9,2	11,4
140	3,5	4,3	5,4	6,7	8,3	10,3	12,7
160	4,0	4,9	6,2	7,7	9,5	11,8	14,6
180	4,4	5,5	6,9	8,6	10,7	13,3	16,4
200	4,9	6,2	7,7	9,6	11,9	14,7	18,2
225	5,5	6,9	8,6	10,8	13,4	16,6	–
250	6,2	7,7	9,6	11,9	14,8	18,4	–
280	6,9	8,6	10,7	13,4	16,6	20,6	–
315	7,7	9,7	12,1	15,0	18,7	23,2	–
355	8,7	10,9	13,6	16,9	21,1	26,1	–
400	9,8	12,3	15,3	19,1	23,7	29,4	–



Таб. 2.13. ХПВХ. Значения толщин стенки труб  $t$  для различных серий S

S	10,0	6,3	5,0	4,0
SDR	21,0	13,6	11,0	9,0
Ø нар., D <sub>e</sub>	Толщина стенки t			
12	–	1,4	1,4	1,4
16	–	1,4	1,5	1,8
20	–	1,5	1,9	2,3
25	–	1,9	2,3	2,8
32	1,6	2,4	2,9	3,6
40	1,9	3,0	3,7	4,5
50	2,4	3,7	4,6	5,6
63	3,0	4,7	5,8	7,1
75	3,6	5,6	6,8	8,4
90	4,3	6,7	8,2	10,1
110	5,3	8,1	10,0	12,3
125	6,0	9,2	11,4	14,0
140	6,7	10,3	12,7	15,7
160	7,7	11,8	14,6	17,9
180	8,6	13,3	–	–
200	9,6	14,7	–	–
225	10,8	16,6	–	–

Таб. 2.14. АБС. Значения толщин стенки труб  $t$  для различных серий S

S	5,0	16,0	12,5	10,0	8,0	6,3	5,0	4,0
SDR	11,0	33,0	26,0	21,0	17,0	13,6	11,0	9,0
Ø нар., D <sub>e</sub>	Толщина стенки t							
12	–	–	–	–	–	–	1,5	1,5
16	–	–	–	–	–	1,5	1,5	1,8
20	–	–	–	–	–	1,5	1,9	2,3
25	–	–	–	–	1,5	1,9	2,3	2,8
32	–	–	–	1,6	1,9	2,4	2,9	3,6
40	–	–	1,6	1,9	2,4	3,0	3,7	4,5
50	–	1,6	2,0	2,4	3,0	3,7	4,6	5,6
63	1,6	2,0	2,5	3,0	3,8	4,7	5,8	7,1
75	1,9	2,3	2,9	3,6	4,5	5,6	6,8	8,4
90	2,2	2,8	3,5	4,3	5,4	6,7	8,2	10,1
110	2,7	3,4	4,2	5,3	6,6	8,1	10,0	12,3
125	3,1	3,9	4,8	6,0	7,4	9,2	11,4	14,0
140	3,5	4,3	5,4	6,7	8,3	10,3	12,7	15,7
160	4,0	4,9	6,2	7,7	9,5	11,8	14,6	17,9
180	4,4	5,5	6,9	8,6	10,7	13,3	16,4	20,1
200	4,9	6,2	7,7	9,6	11,9	14,7	18,2	22,4
225	5,5	6,9	8,6	10,8	13,4	16,6	20,5	25,2
250	6,2	7,7	9,6	11,9	14,8	18,4	22,7	27,9
280	6,9	8,6	10,7	13,4	16,6	20,6	25,4	31,3
315	7,7	9,7	12,1	15,0	18,7	23,2	28,6	35,2
355	8,7	10,9	13,6	16,9	21,1	26,1	32,2	39,7
400	9,8	12,3	15,3	19,1	23,7	29,4	36,3	44,7

Таб. 2.15. ПП. Значения толщин стенки труб  $t$  для различных серий S

S	20,0	16,0	12,5	8,3	5,0	3,2	2,5
SDR	41,0	33,0	26,0	17,6	11,0	7,4	6,0
Ø нар., D <sub>e</sub>	Толщина стенки t						
12	–	–	–	–	1,8	1,8	2,0
16	–	–	–	–	1,8	2,2	2,7
20	–	–	–	1,8	1,9	2,8	3,4
25	–	–	–	1,8	2,3	3,5	4,2
32	–	–	–	1,9	2,9	4,4	5,4
40	–	–	1,8	2,3	3,7	5,5	6,7
50	1,8	1,8	2,0	2,9	4,6	6,9	8,3

<b>S</b>	<b>20,0</b>	<b>16,0</b>	<b>12,5</b>	<b>8,3</b>	<b>5,0</b>	<b>3,2</b>	<b>2,5</b>
<b>SDR</b>	<b>41,0</b>	<b>33,0</b>	<b>26,0</b>	<b>17,6</b>	<b>11,0</b>	<b>7,4</b>	<b>6,0</b>
<b>Ø нар., D<sub>e</sub></b>	<b>Толщина стенки t</b>						
63	1,8	2,0	2,5	3,6	5,8	8,6	10,5
75	1,9	2,3	2,9	4,3	6,8	10,3	12,5
90	2,2	2,8	3,5	5,1	8,2	12,3	15,0
110	2,7	3,4	4,2	6,3	10,0	15,1	18,3
125	3,1	3,9	4,8	7,1	11,4	17,1	20,8
140	3,5	4,3	5,4	8,0	12,7	19,2	23,3
160	4,0	4,9	6,2	9,1	14,6	21,9	26,6
180	4,4	5,5	6,9	10,2	16,4	24,6	29,9
200	4,9	6,2	7,7	11,4	18,2	27,4	33,2
225	5,5	6,9	8,6	12,8	20,5	30,8	37,4
250	6,2	7,7	9,6	14,2	22,7	34,2	—
280	6,9	8,6	10,7	15,9	25,4	38,3	—
315	7,7	9,7	12,1	17,9	28,6	43,1	—
355	8,7	10,9	13,6	20,1	32,2	48,5	—
400	9,8	12,3	15,3	22,7	36,3	54,7	—
450	11,0	13,8	17,2	25,5	40,9	—	—
500	12,3	15,3	19,1	28,3	45,4	—	—
560	13,7	17,2	21,4	31,7	50,8	—	—
630	15,4	19,3	24,1	35,7	—	—	—
710	17,4	21,8	27,2	40,2	—	—	—
800	19,6	24,5	30,6	45,3	—	—	—
900	22,0	27,6	34,4	51,0	—	—	—
1000	24,5	30,6	38,2	—	—	—	—
1200	29,4	36,7	45,9	—	—	—	—
1400	34,3	42,9	53,5	—	—	—	—
1600	39,2	49,0	61,2	—	—	—	—

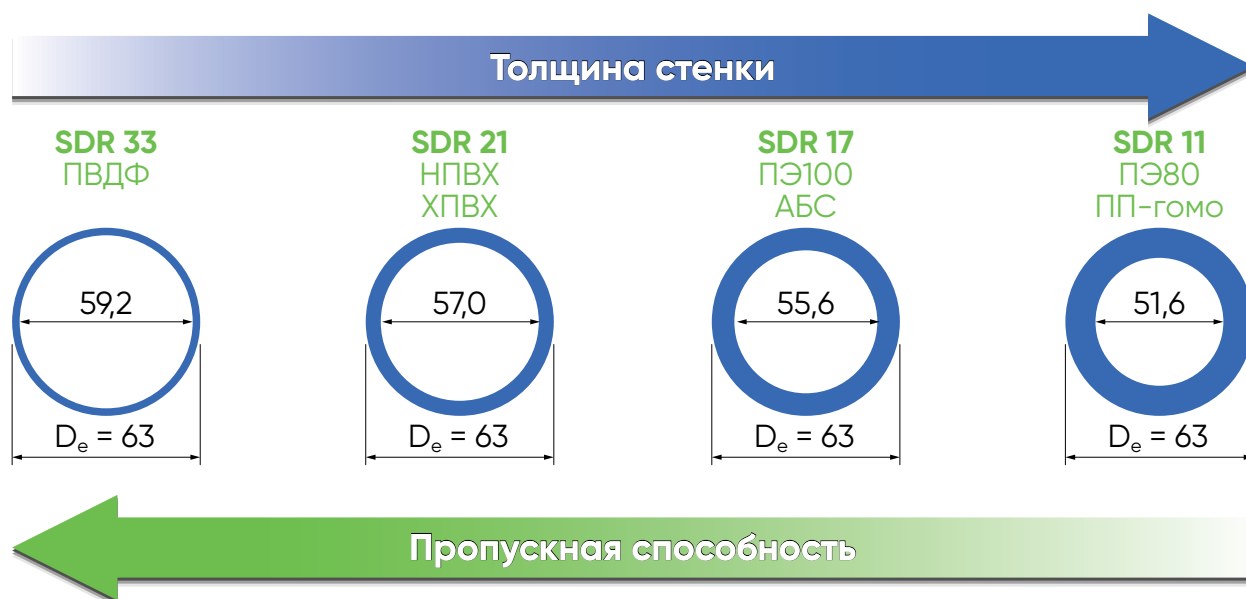
Таб. 2.16. ПЭ. Значения толщин стенки труб t для различных серий S

<b>S</b>	<b>20,0</b>	<b>16,0</b>	<b>12,5</b>	<b>8,3</b>	<b>5,0</b>	<b>3,2</b>	<b>2,5</b>
<b>SDR</b>	<b>41,0</b>	<b>33,0</b>	<b>26,0</b>	<b>17,6</b>	<b>11,0</b>	<b>7,4</b>	<b>6,0</b>
<b>Ø нар., D<sub>e</sub></b>	<b>Толщина стенки t</b>						
16	—	—	—	—	1,8	2,2	2,7
20	—	—	—	1,8	1,9	2,8	3,4
25	—	—	—	1,8	2,3	3,5	4,2
32	—	—	—	1,9	2,9	4,4	5,4
40	—	—	1,8	2,4	3,7	5,5	6,7
50	1,8	1,8	2,0	3,0	4,6	6,9	8,3
63	1,8	2,0	2,5	3,8	5,8	8,6	10,5
75	1,9	2,3	2,9	4,5	6,8	10,3	12,5
90	2,2	2,8	3,5	5,4	8,2	12,3	15,0
110	2,7	3,4	4,2	6,6	10,0	15,1	18,3
125	3,1	3,9	4,8	7,4	11,4	17,1	20,8
140	3,5	4,3	5,4	8,3	12,7	19,2	23,3
160	4,0	4,9	6,2	9,5	14,6	21,9	26,6
180	4,4	5,5	6,9	10,7	16,4	24,6	29,9
200	4,9	6,2	7,7	11,9	18,2	27,4	33,2
225	5,5	6,9	8,6	13,4	20,5	30,8	37,4
250	6,2	7,7	9,6	14,8	22,7	34,2	41,5
280	6,9	8,6	10,7	16,6	25,4	38,3	46,5
315	7,7	9,7	12,1	18,7	28,6	43,1	52,3
355	8,7	10,9	13,6	21,1	32,2	48,5	59,0
400	9,8	12,3	15,3	23,7	36,3	54,7	—
450	11,0	13,8	17,2	26,7	40,9	61,5	—
500	12,3	15,3	19,1	29,7	45,4	—	—
560	13,7	17,2	21,4	33,2	50,8	—	—
630	15,4	19,3	24,1	37,4	57,2	—	—
710	17,4	21,8	27,2	42,1	64,5	—	—
800	19,6	24,5	30,6	47,4	72,6	—	—
900	22,0	27,6	34,4	53,3	81,7	—	—

S	20,0	16,0	12,5	8,3	5,0	3,2	2,5
SDR	41,0	33,0	26,0	17,6	11,0	7,4	6,0
Ø нар., D <sub>e</sub>	Толщина стенки t						
1000	24,5	30,6	38,2	59,3	90,8	—	—
1200	29,4	36,7	45,9	71,1	—	—	—
1400	34,3	42,9	53,5	83,0	—	—	—
1600	39,2	49,0	61,2	94,8	—	—	—
1800	44,0	55,1	68,8	106,6	—	—	—
2000	48,9	61,2	76,4	118,5	—	—	—
2250	55,0	68,9	86,0	—	—	—	—
2500	61,2	76,5	95,5	—	—	—	—

Таб. 2.17. ПВДФ. Значения толщин стенки труб t для различных серий S

S	16,0	10,0
SDR	33,0	21,0
Ø нар., D <sub>e</sub>	Толщина стенки t	
8	—	—
12	—	—
16	—	—
20	—	—
25	—	—
32	—	—
40	—	—
50	—	—
63	2,0	3,0
75	2,3	3,6
90	2,8	4,3
110	3,4	5,3
125	3,9	6,0
140	4,3	6,7
160	4,9	7,7
180	5,5	8,6
200	6,2	9,6
225	6,9	10,8
250	7,7	11,9
280	8,6	13,4
315	9,7	—
355	10,9	—
400	12,3	—



**✦ Практический пример**

Каково допустимое давление в трубе SDR 17 из ПЭ100, транспортирующей воду при температуре +20 °С?

По диаграмме прочности ПЭ100 при +20 °С (сроке службы 50 лет), значение минимальной длительной прочности (MRS) составляет 10 МПа (см. Рис. 2.4). Согласно Стандарта ISO 12162  $C_{min}$  для ПЭ100 составляет 1,25.

Проектная нагрузка  $\sigma$  рассчитывается по формуле:

$$\sigma = MRS/C_{min} = 10/1,25 = 8 \text{ МПа} \quad [10]$$

Отсюда номинальное давление PN получается по формуле:

$$PN = 20 \times \sigma / (SDR - 1) = 20 \times 8 / (17 - 1) = 10 \text{ бар} \quad [11]$$

**2.4.2. Диаграммы давления – температуры**

Способность термопластичного материала сопротивляться нагрузке сильно зависит от температуры. Номинальное давление определяется при температуре окружающей среды +20 °С. При более высоких или более низких температурах изменяется и допустимое давление: соотношение между номинальным давлением и температурой и допустимым давлением и температурой показано на диаграммах, для различных значений SDR.

Необходимо отметить, что эти кривые построены для воды или неопасных жидкостей, к которым пластик считается химически стойким. В других случаях требуется соответствующее снижение давления. Специалисты компании **Aliaxis** рекомендует работать со значениями допустимого давления, расположенными ниже соответствующей кривой, но никак не выше и не на самой кривой.

**► Диаграммы максимально допустимых значений давления – температуры**

Выше была объяснена разница между номинальным давлением и максимально допустимым давлением. В соответствии со Стандартом ISO 12162 можно использовать минимальные расчетные коэффициенты ( $C_{min}$ ); для конкретных условий может быть применено более высокое теоретическое давление, чем номинальное.

На диаграммах показано максимально допустимое значение давления в зависимости от температуры для различных значений SDR, при минимальном расчётном коэффициенте  $C_{min}$  для соответствующего срока эксплуатации.

**Для промышленного применения всегда рекомендуется использовать номинальное давление (PN) вместо максимально допустимого.**

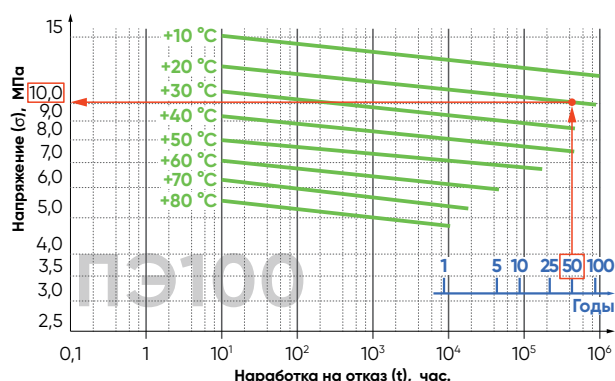


Рис. 2.4. Диаграмма прочности ПЭ100

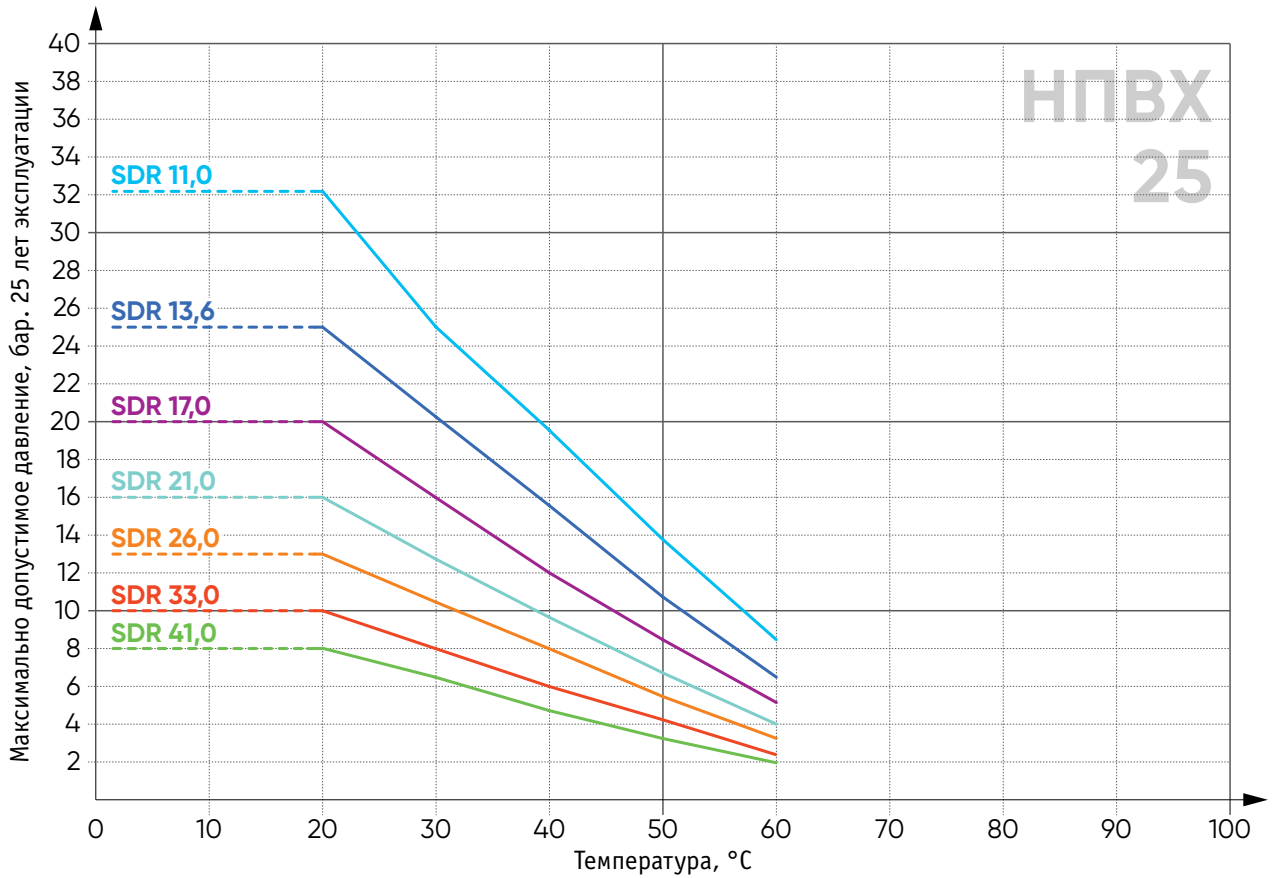


Рис. 2.5. НПВХ. Диаграмма максимально допустимого давления (срок эксплуатации – 25 лет)

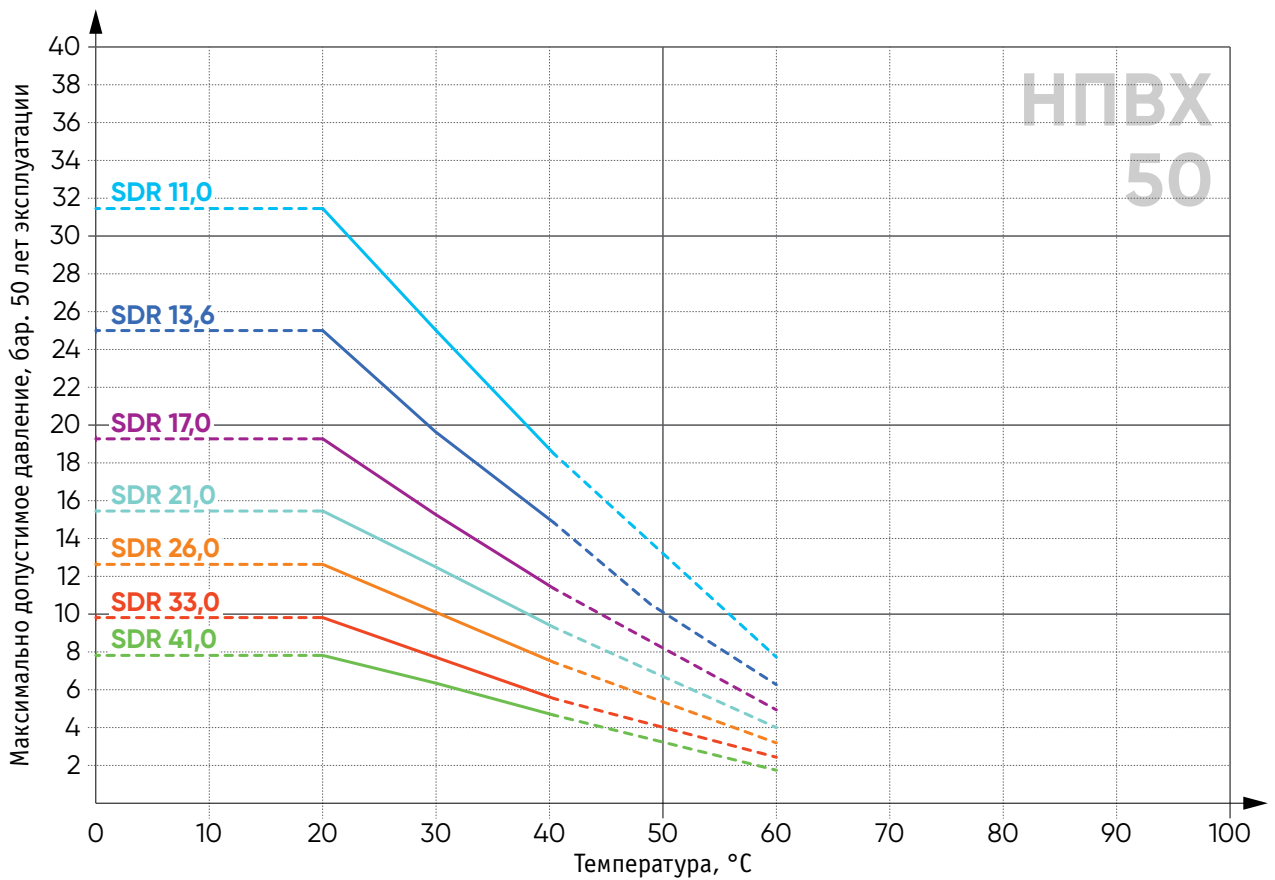


Рис. 2.6. НПВХ. Диаграмма максимально допустимого давления (срок эксплуатации – 50 лет)



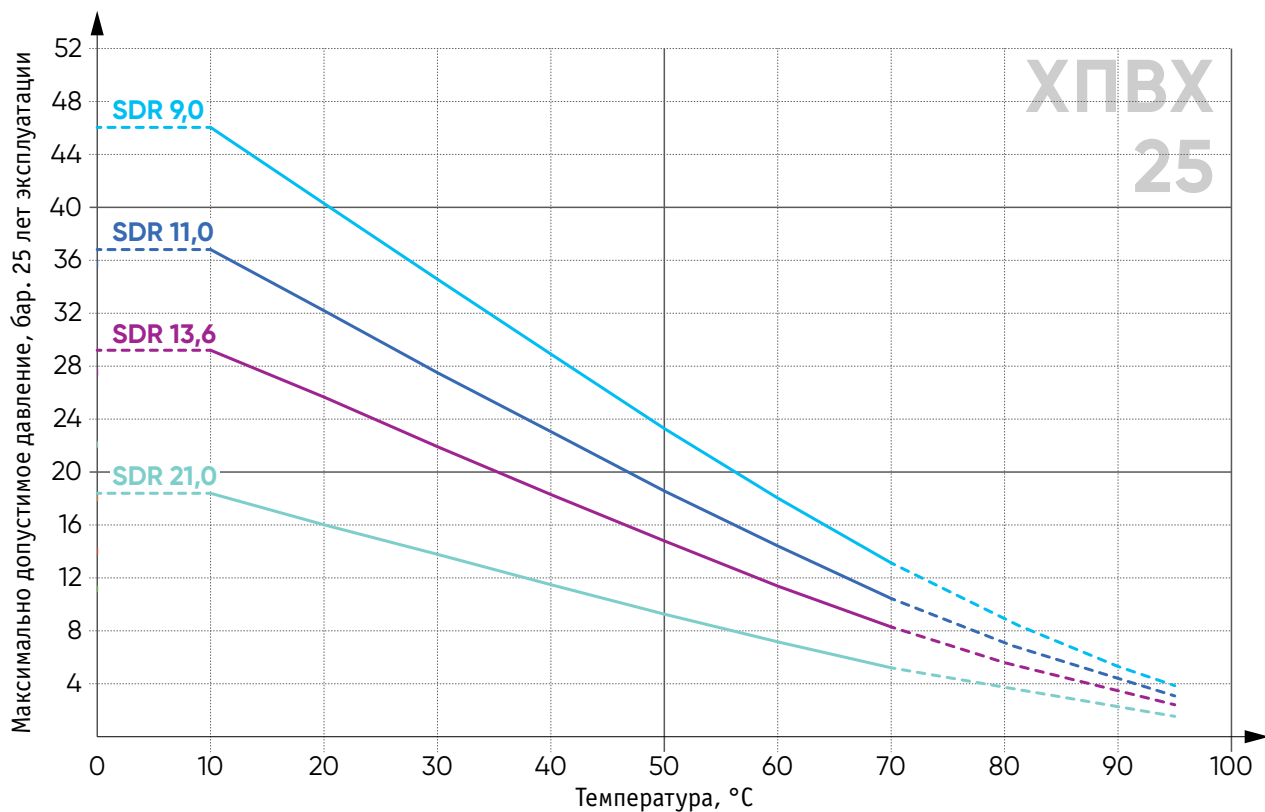


Рис. 2.7. ХПВХ. Диаграмма максимально допустимого давления (срок эксплуатации – 25 лет)

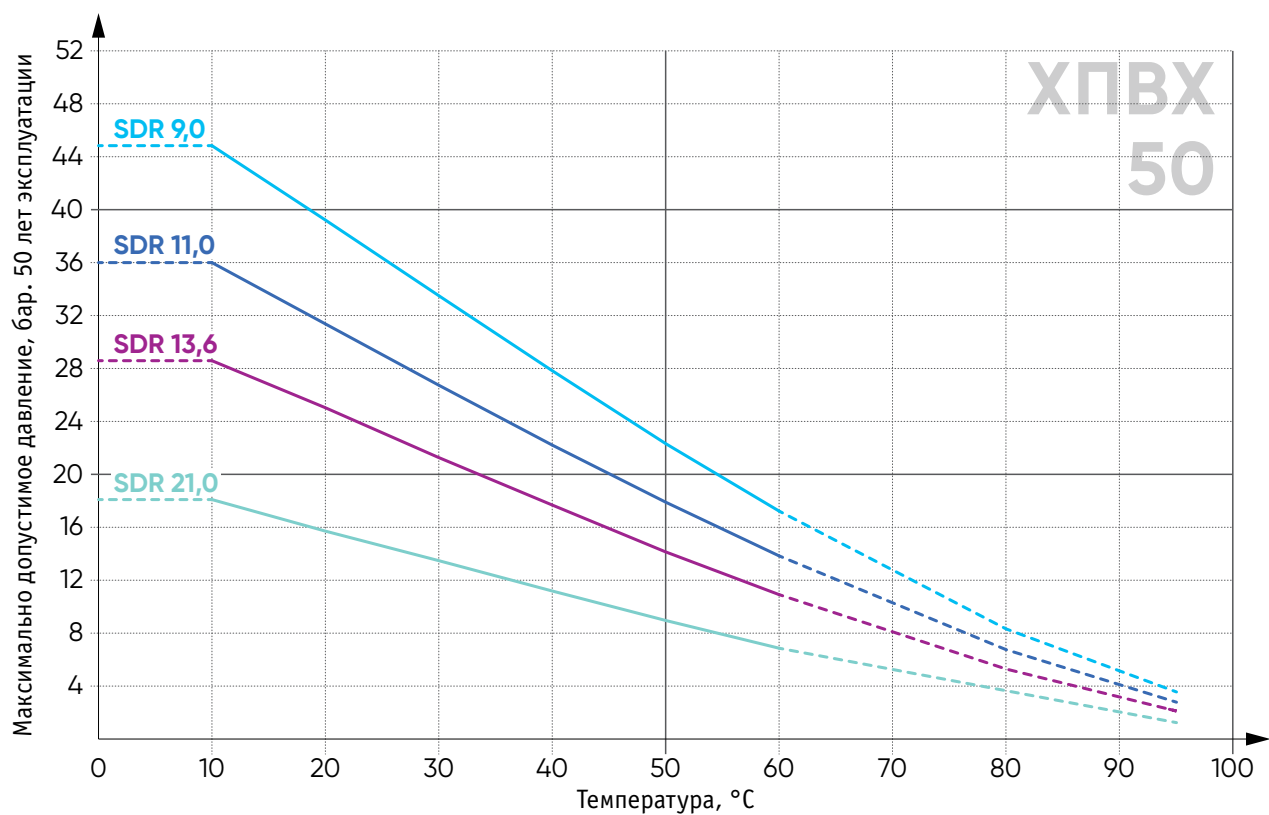


Рис. 2.8. ХПВХ. Диаграмма максимально допустимого давления (срок эксплуатации – 50 лет)

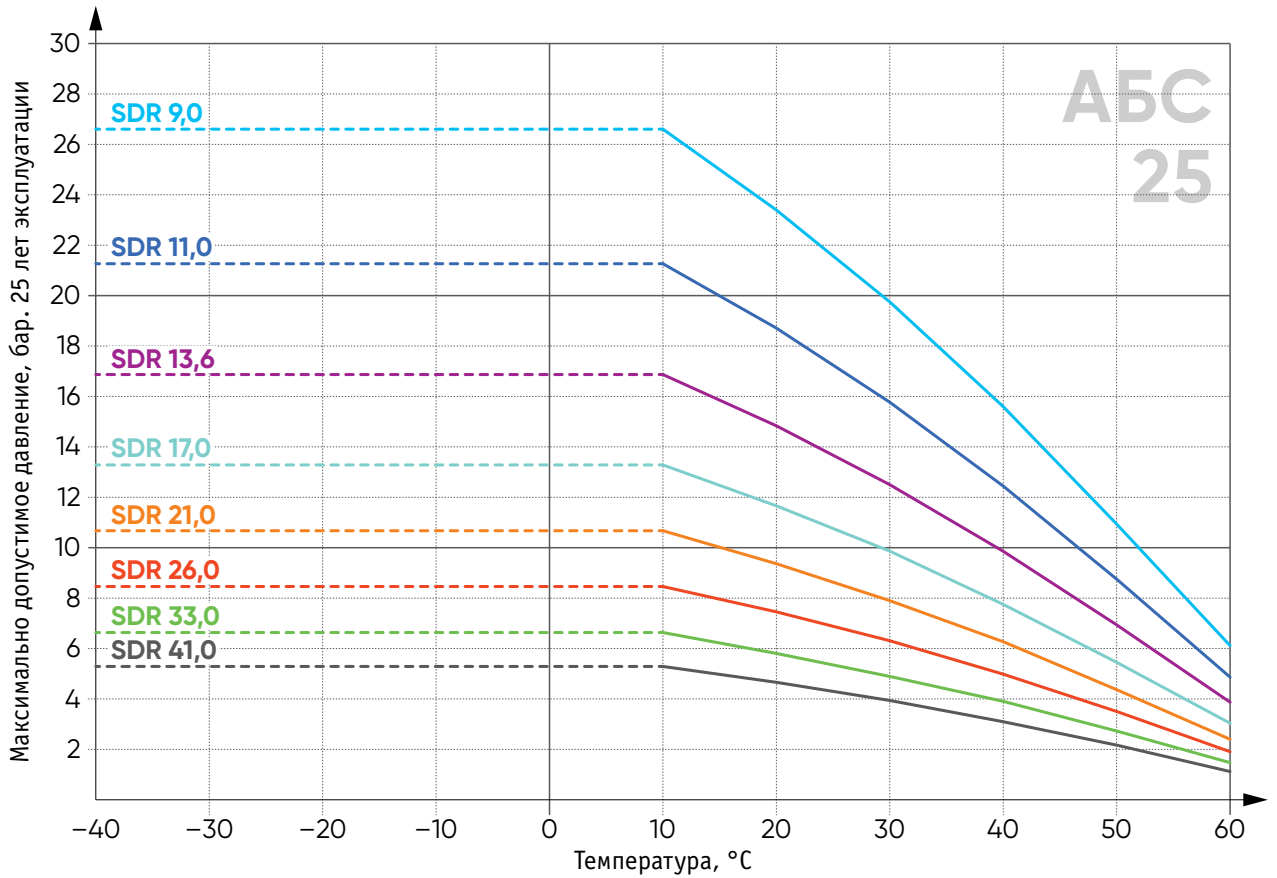


Рис. 2.9. АБС. Диаграмма максимально допустимого давления (срок эксплуатации – 25 лет)

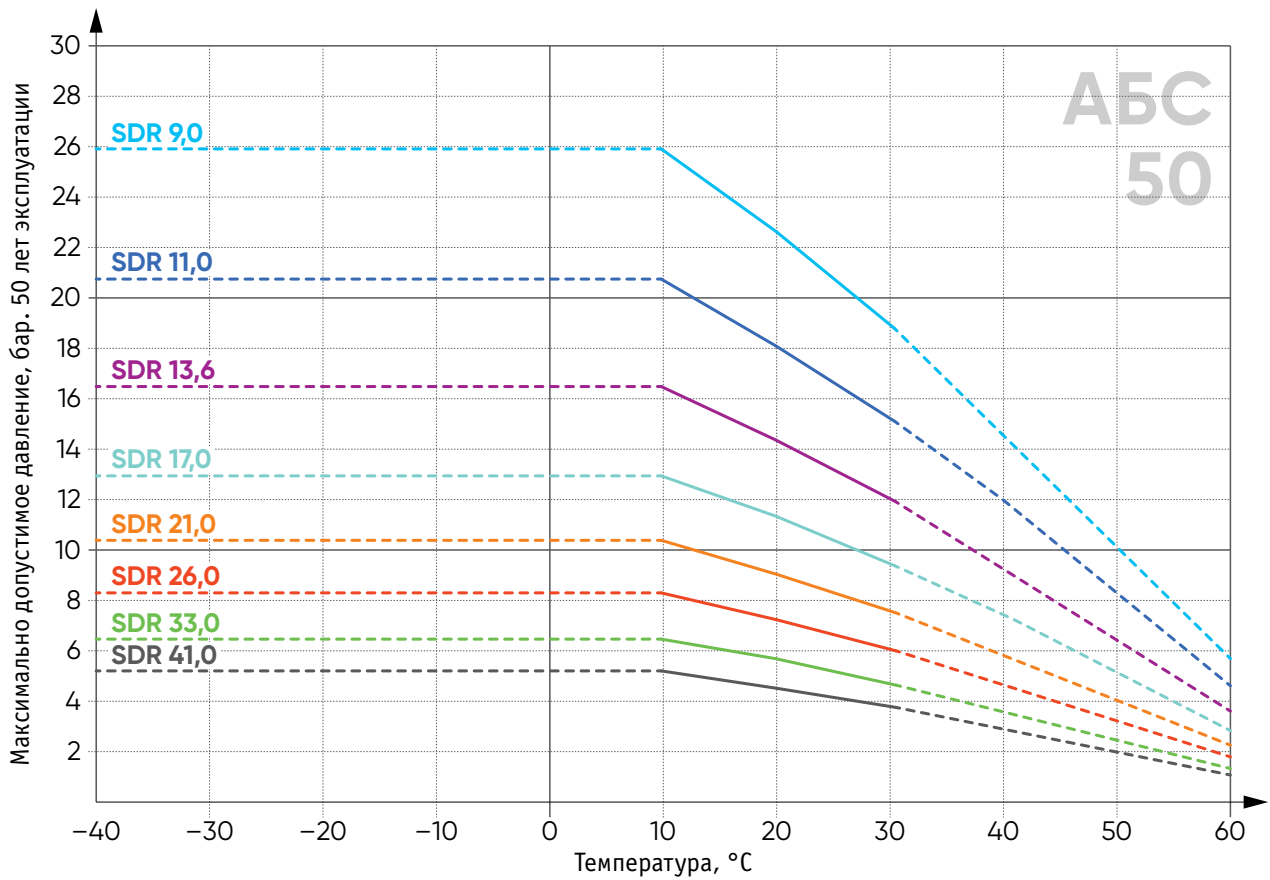


Рис. 2.10. АБС. Диаграмма максимально допустимого давления (срок эксплуатации – 50 лет)

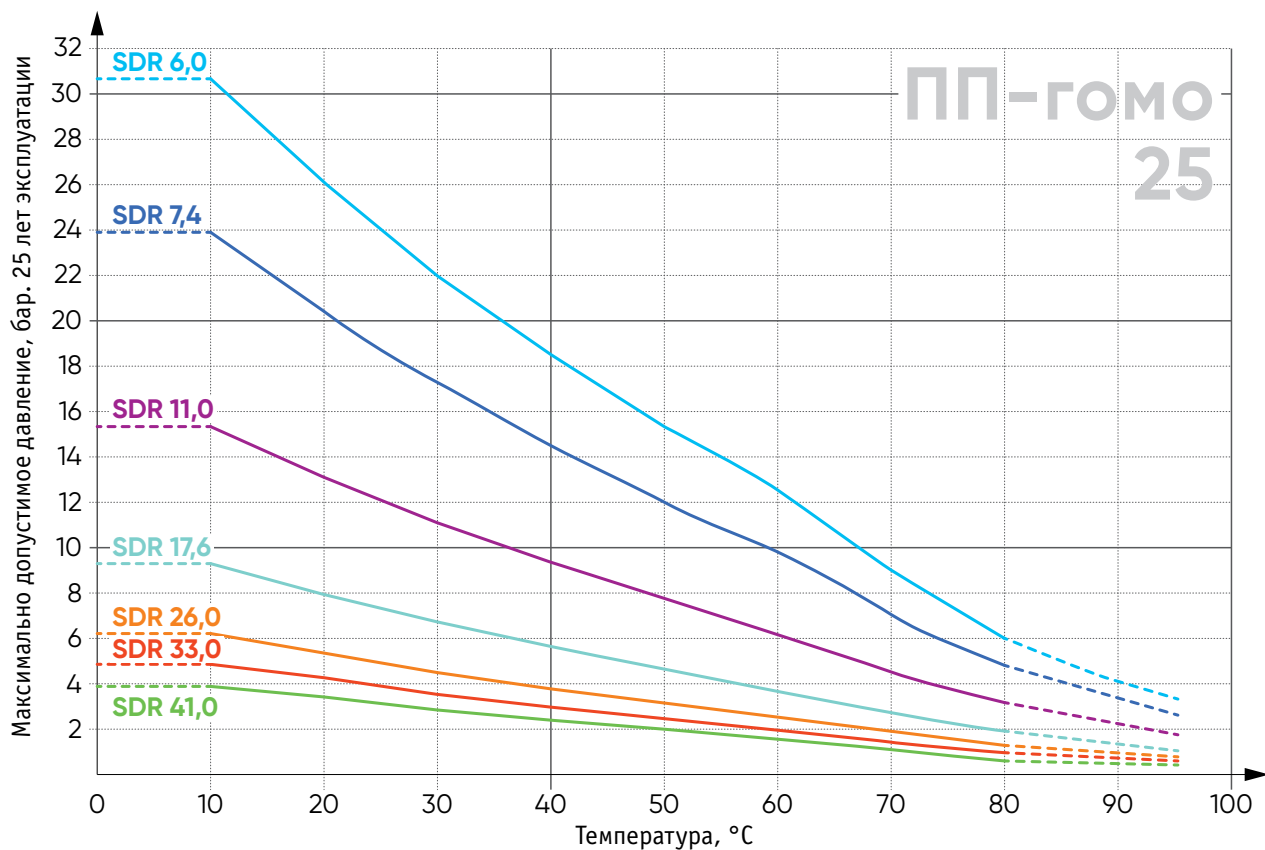


Рис. 2.11. ПП-гомо. Диаграмма максимально допустимого давления (срок эксплуатации – 25 лет)

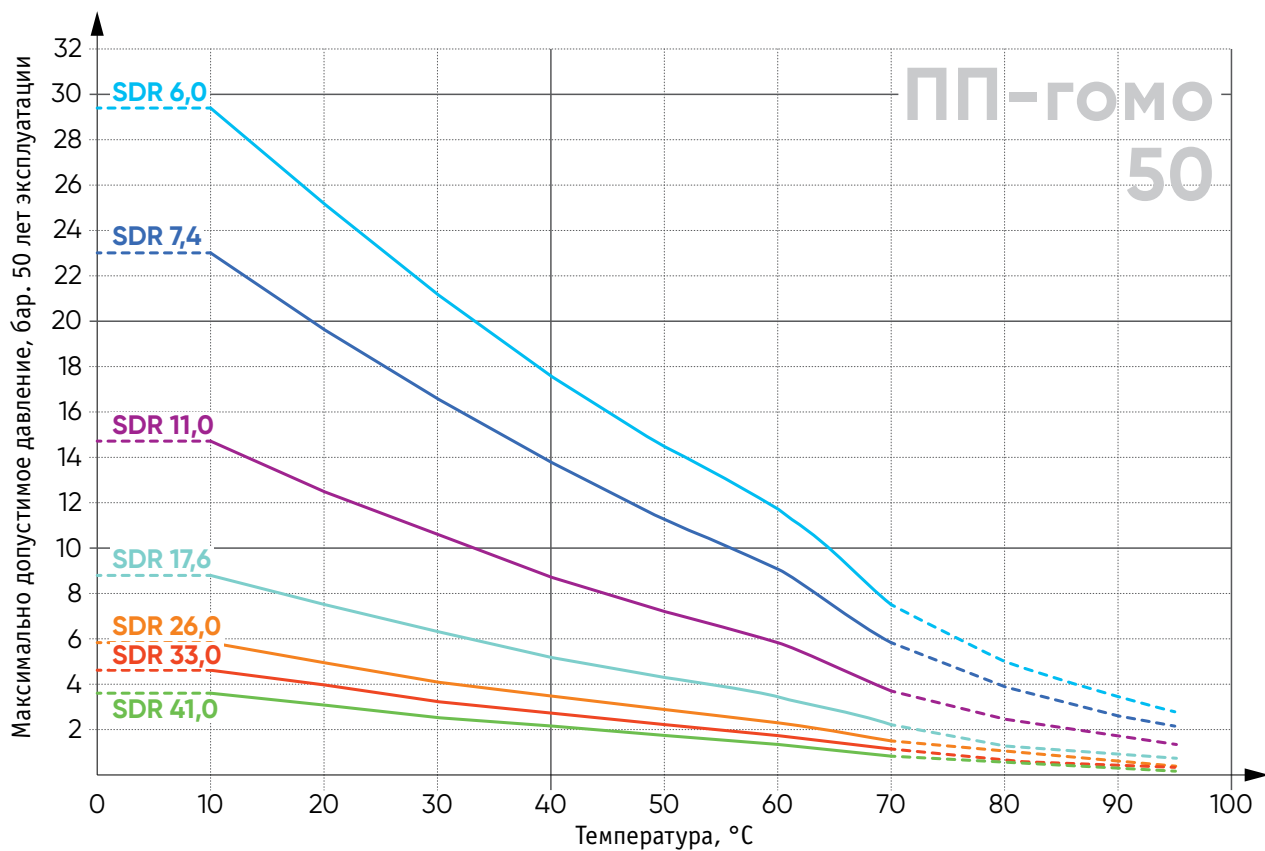


Рис. 2.12. ПП-гомо. Диаграмма максимально допустимого давления (срок эксплуатации – 50 лет)

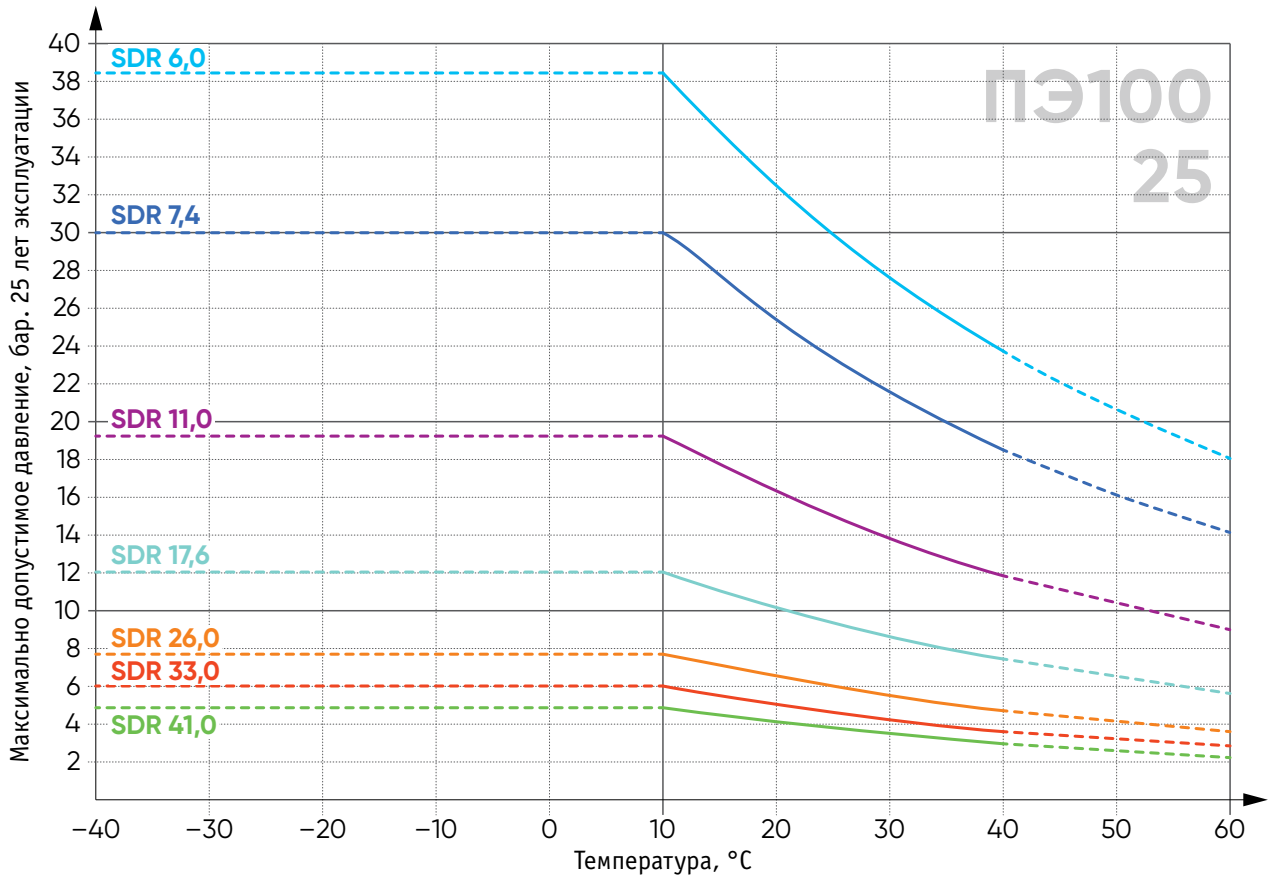


Рис. 2.13. ПЭ100. Диаграмма максимально допустимого давления (срок эксплуатации – 25 лет)

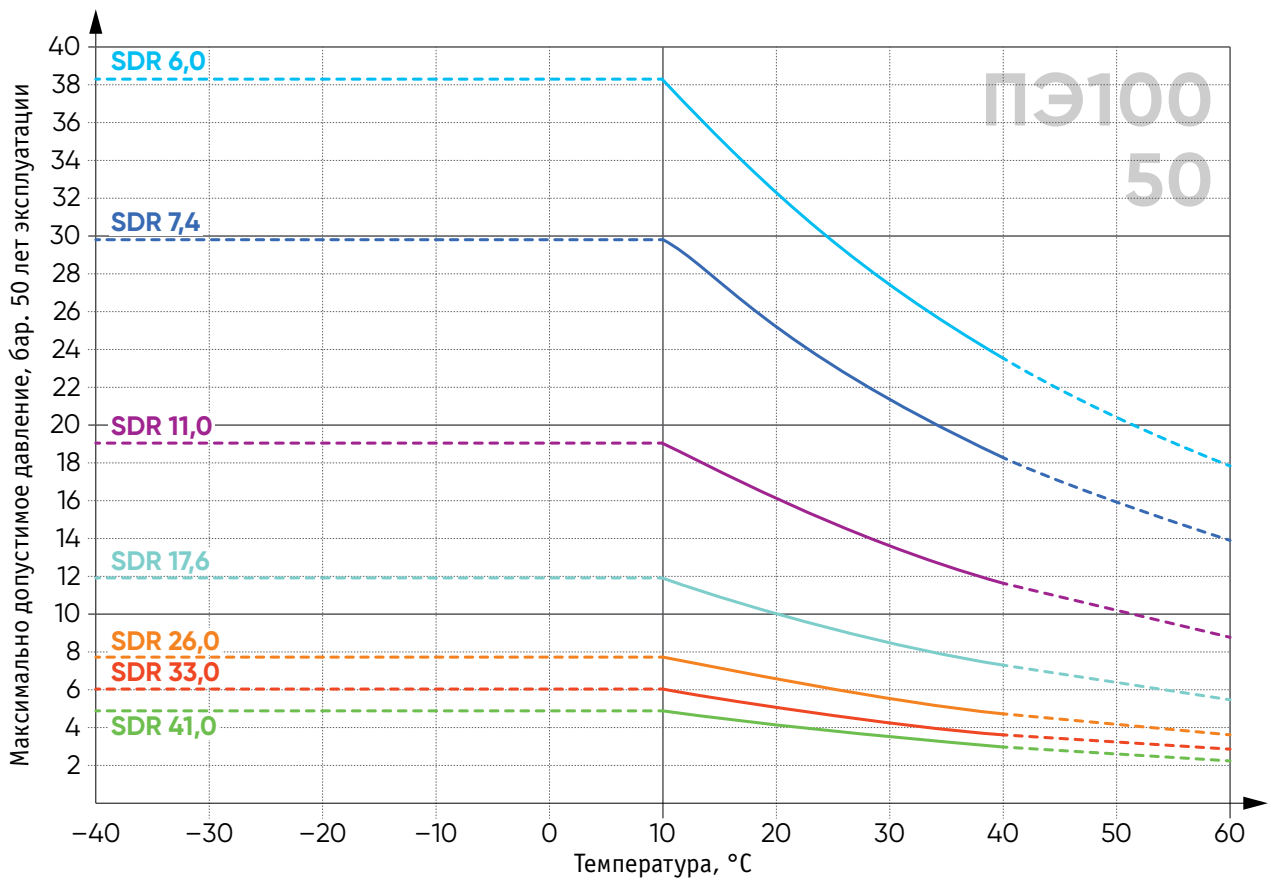


Рис. 2.14. ПЭ100. Диаграмма максимально допустимого давления (срок эксплуатации – 50 лет)

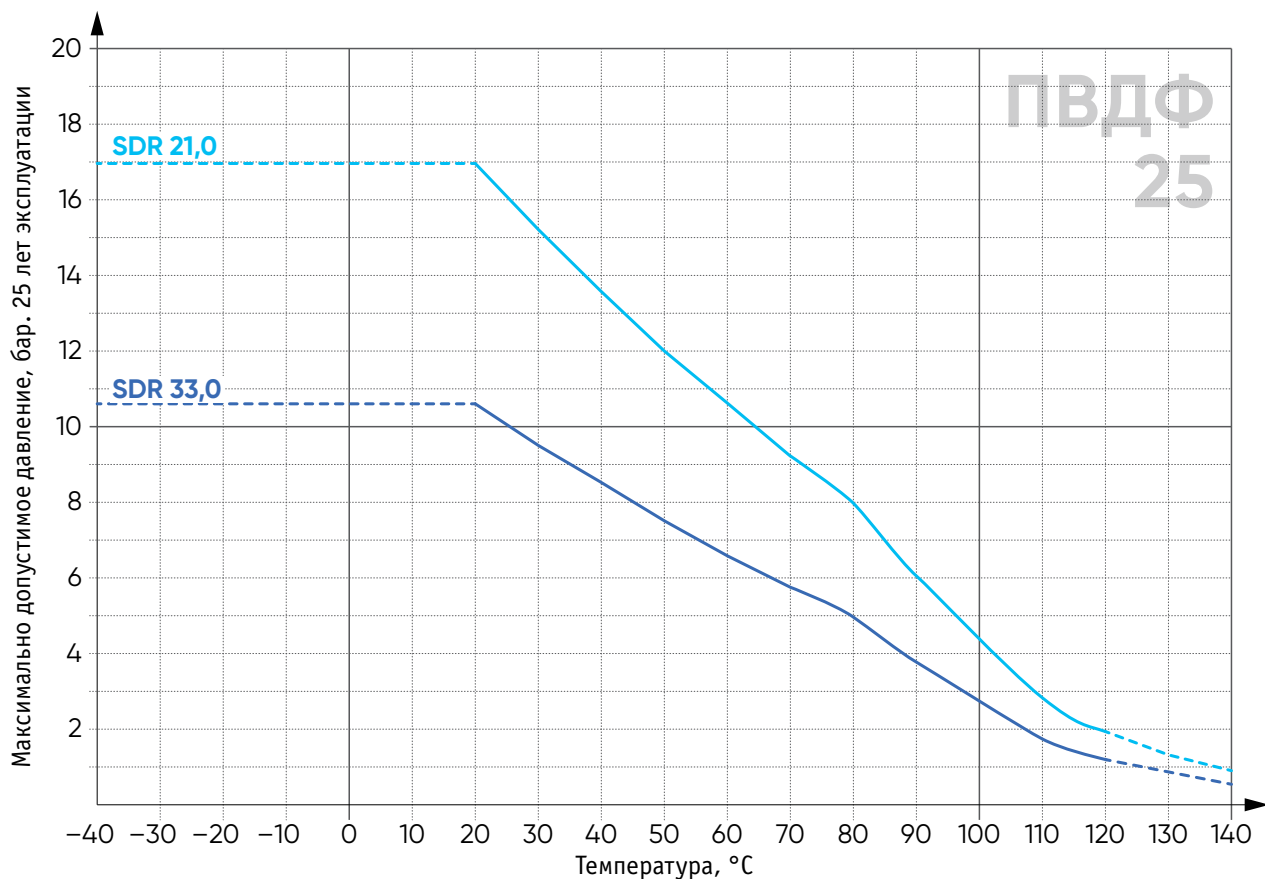


Рис. 2.15. ПВДФ. Диаграмма максимально допустимого давления (срок эксплуатации – 25 лет)

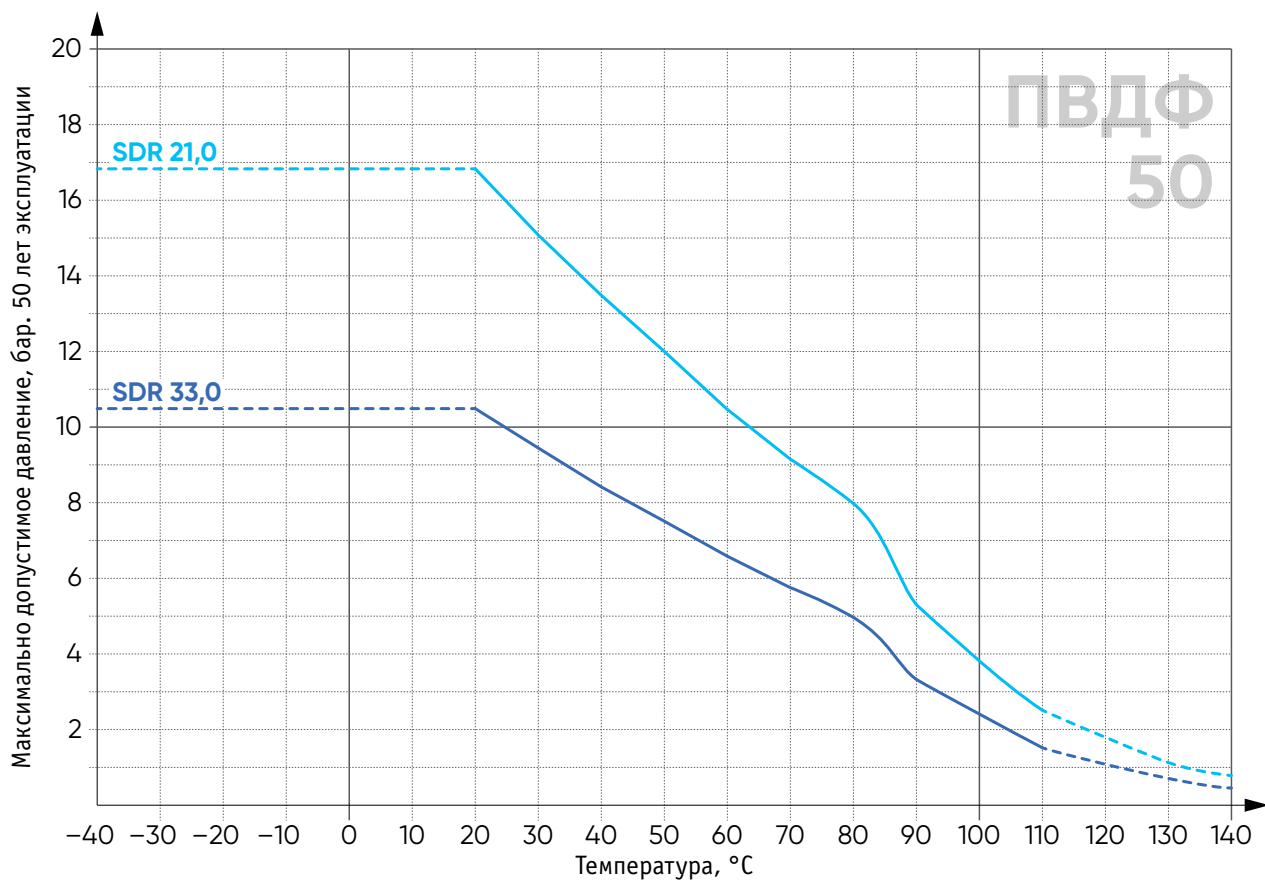


Рис. 2.16. ПВДФ. Диаграмма максимально допустимого давления (срок эксплуатации – 50 лет)



### ► Диаграммы номинальных значений давления – температуры (трубы)

Как было показано, при повышении температуры выше +20 °С проектная нагрузка и рабочее давление уменьшаются, поскольку с увеличением температуры уменьшается значение минимальной длительной прочности (MRS). С другой стороны, если рабочая температура ниже +20 °С, номинальное давление сохраняет своё постоянное значение.

Как указывалось ранее, номинальное давление рассчитывается по расчётным коэффициентам  $C$ , которые предлагаются компанией **Aliaxis**. Поскольку по соображениям безопасности эти коэффициенты выше, чем  $C_{min}$ , указанный в EN ISO 12162, рабочее номинальное давление всегда несколько ниже максимального расчётного.

Приведённые ниже графики номинального давления и температуры следует использовать только для воды и неагрессивных жидкостей, для которых материал трубопровода определяется как химически стойкий (ожидаемый срок службы 25 лет). В других случаях требуется снижение номинального давления.

Для промышленного применения следует использовать приведённые ниже графики номинального давления.

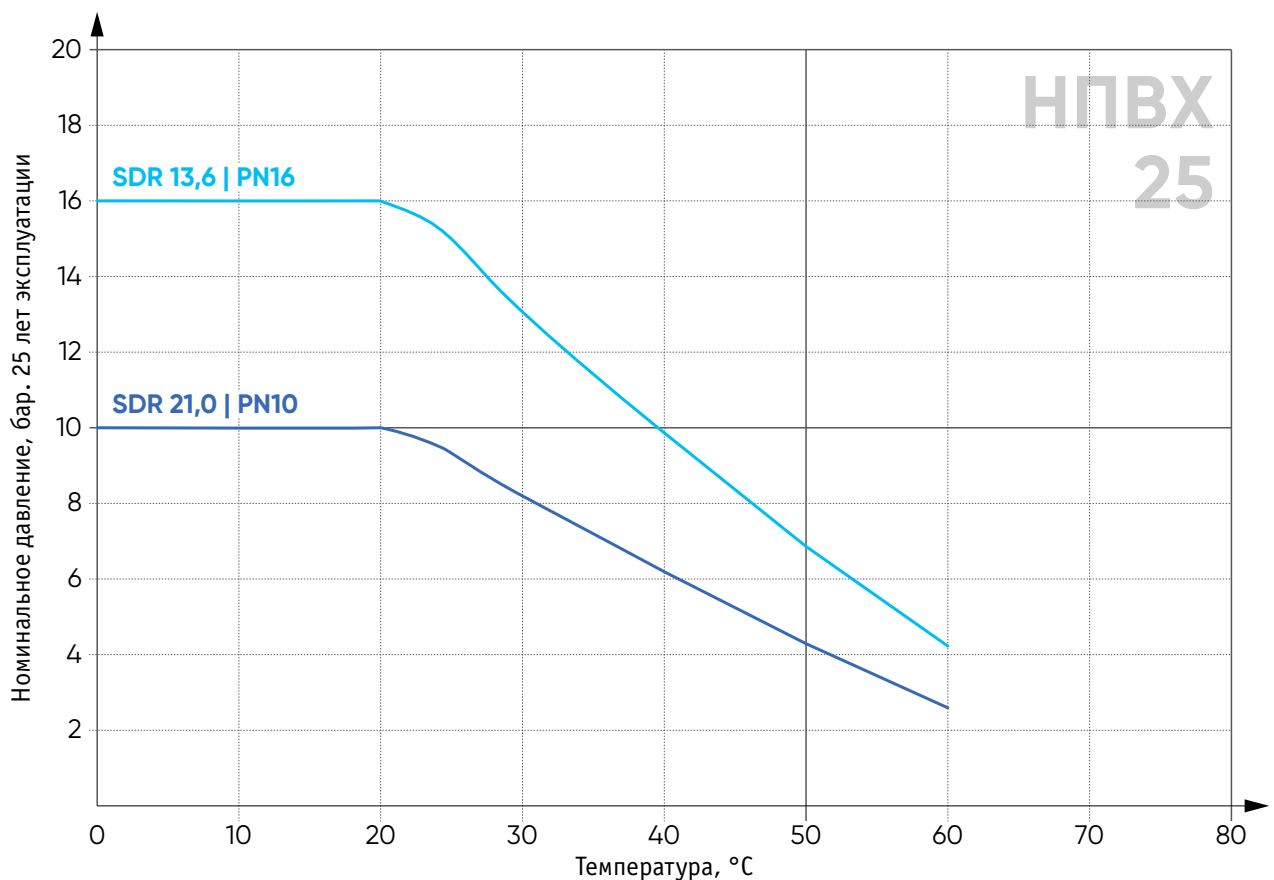


Рис. 2.17. НПВХ. Диаграмма номинального давления (срок эксплуатации – 25 лет).  
Метрическая система по EN ISO 15493

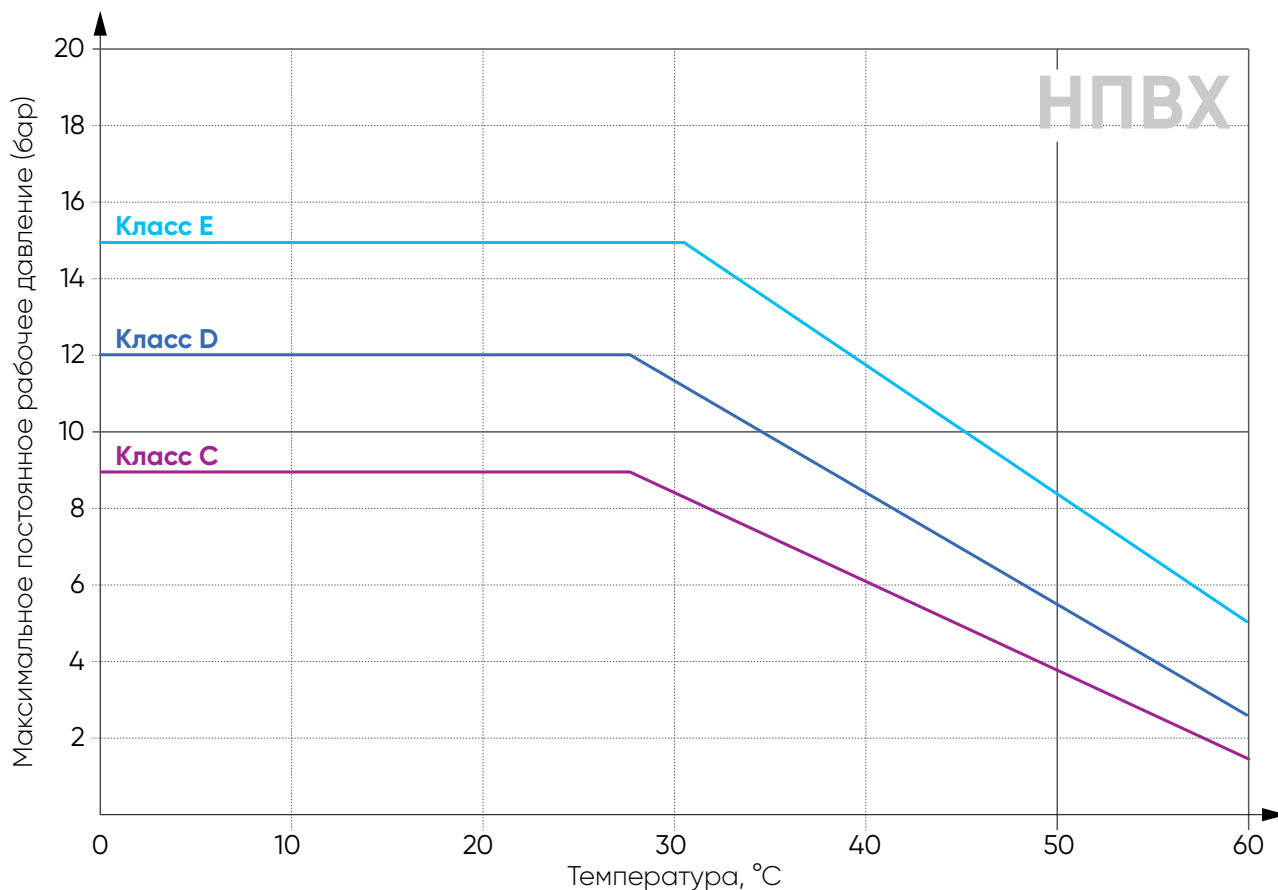


Рис. 2.18. НПВХ. Диаграмма максимального постоянного рабочего давления. Согласно британской системе по BS EN ISO 1452-2

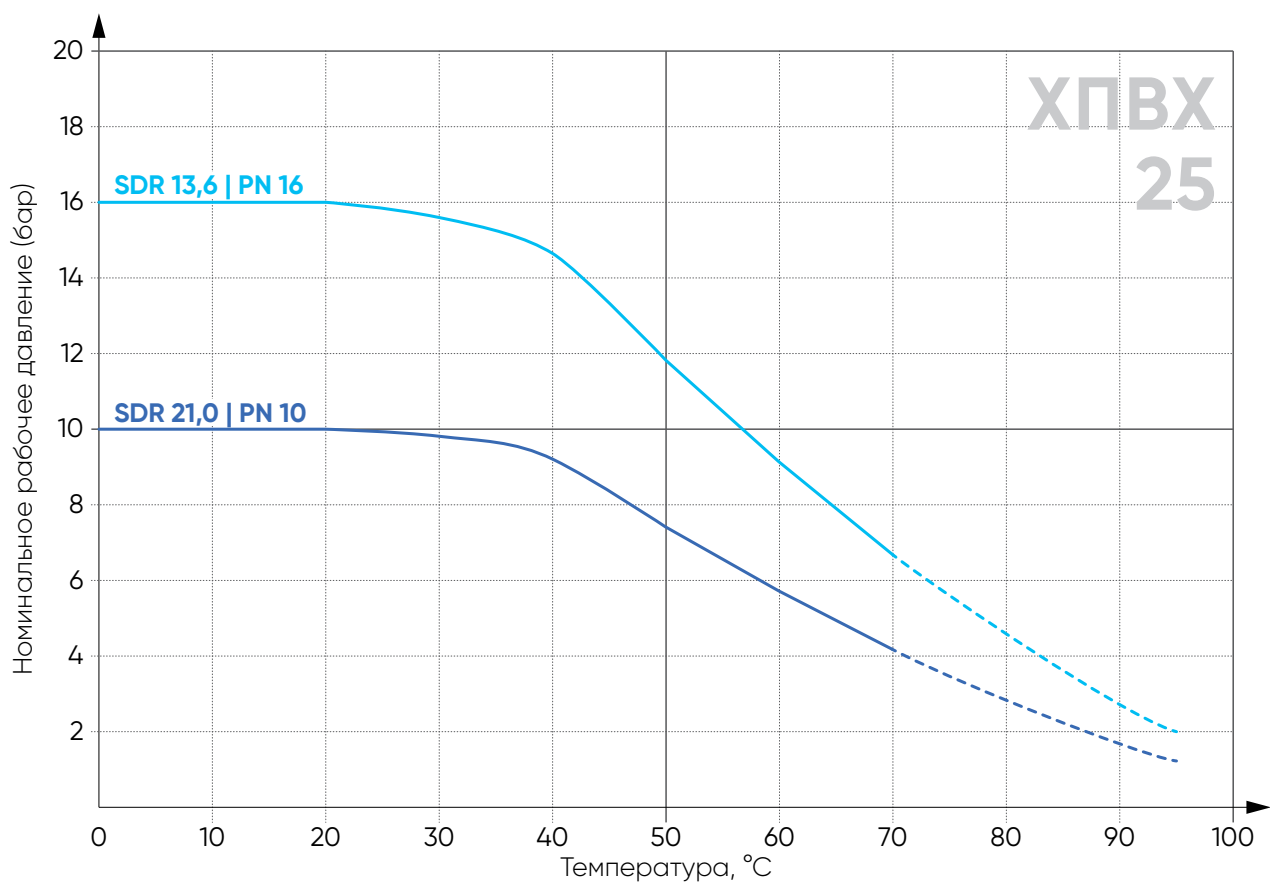


Рис. 2.19. ХПВХ. Диаграмма номинального давления (срок эксплуатации – 25 лет)

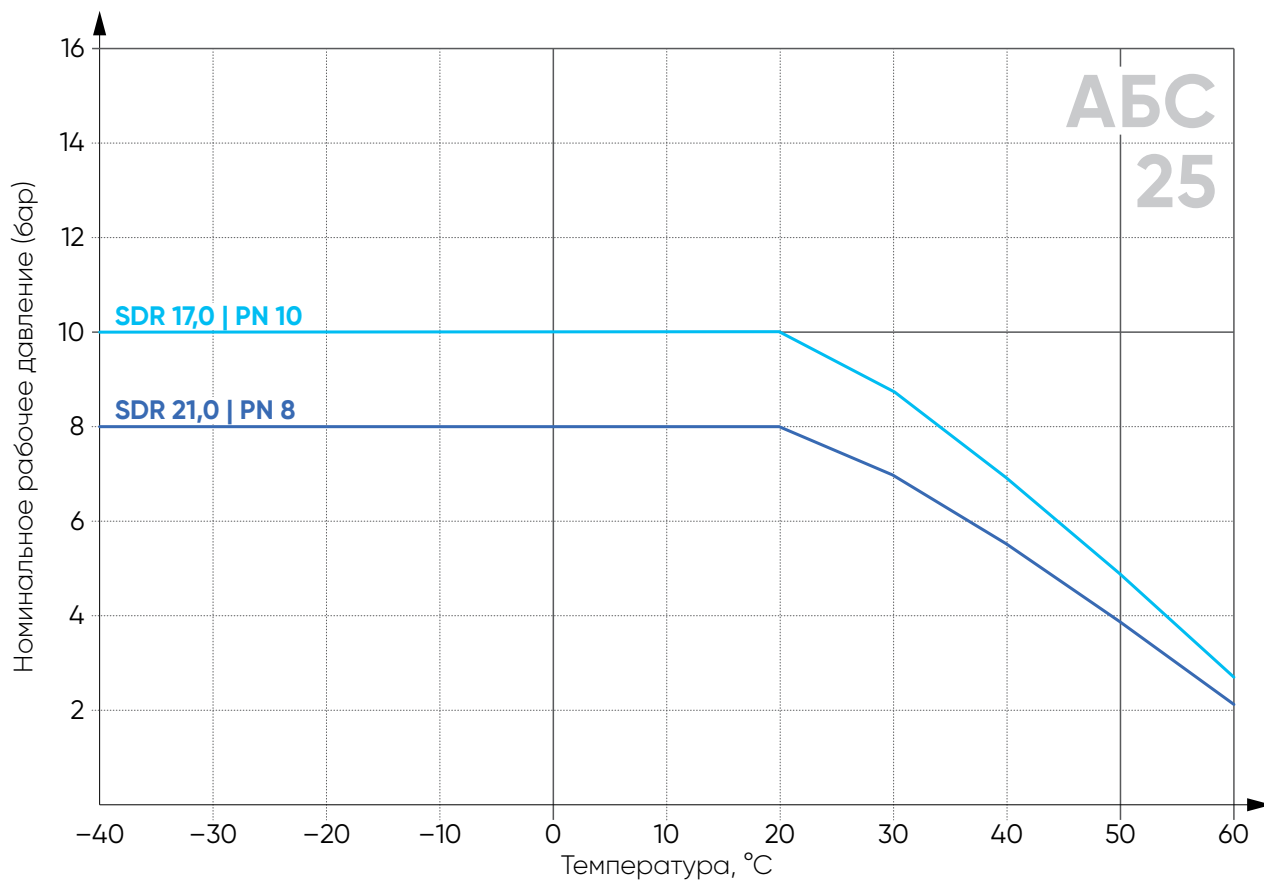


Рис. 2.20. АБС. Диаграмма номинального давления (срок эксплуатации – 25 лет)

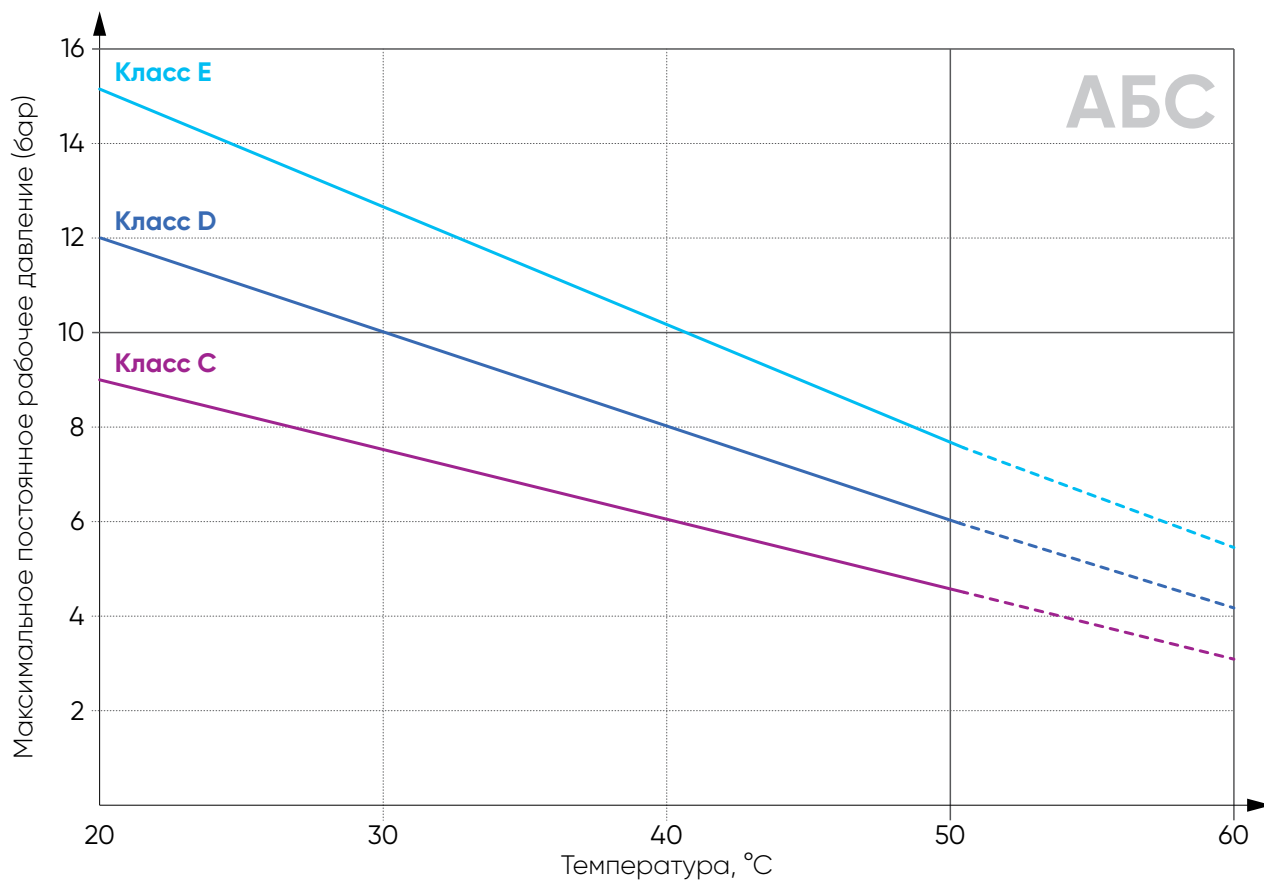


Рис. 2.21. АБС. Диаграмма максимального постоянного рабочего давления. Согласно британской системе по BS EN ISO 1452-2

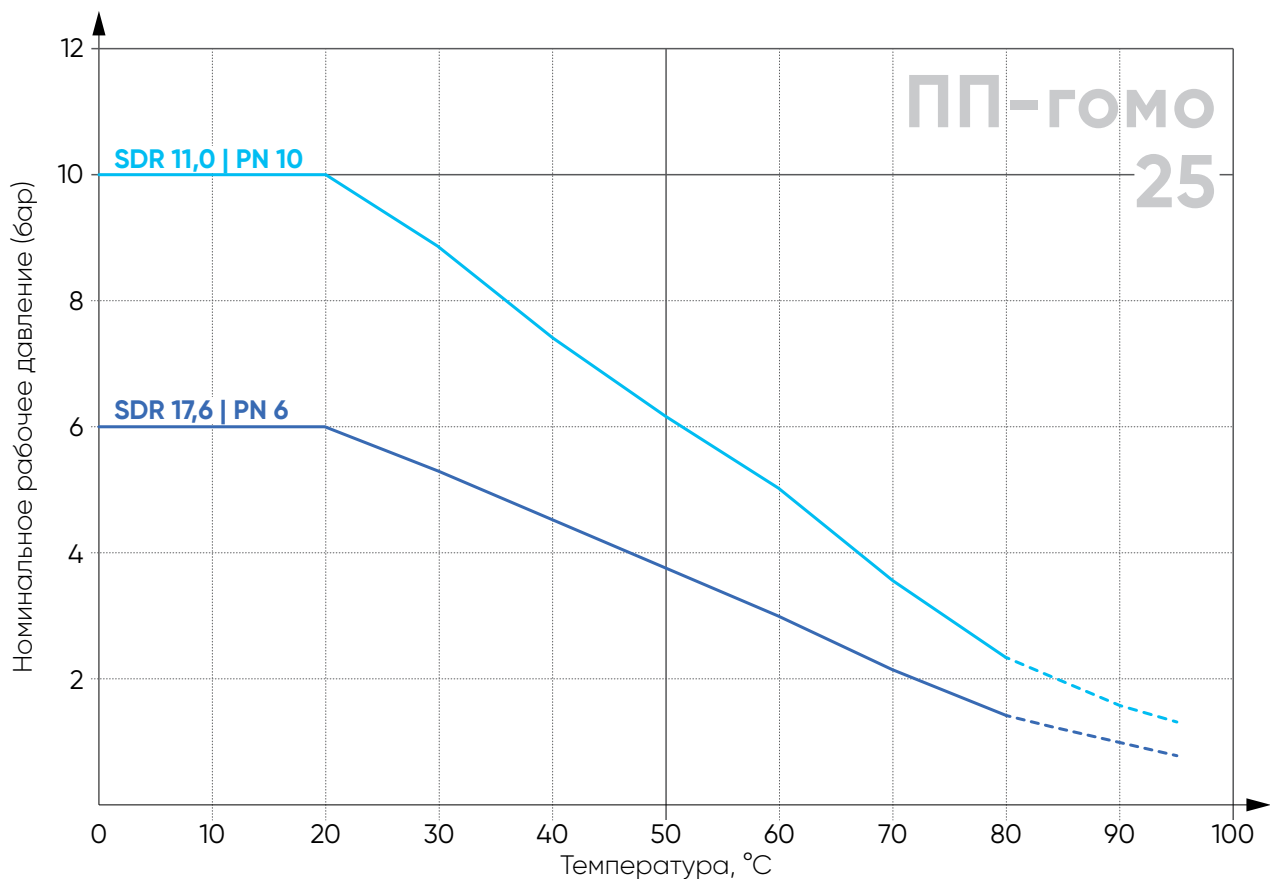


Рис. 2.22. ПП-гомо. Диаграмма номинального давления (срок эксплуатации – 25 лет)

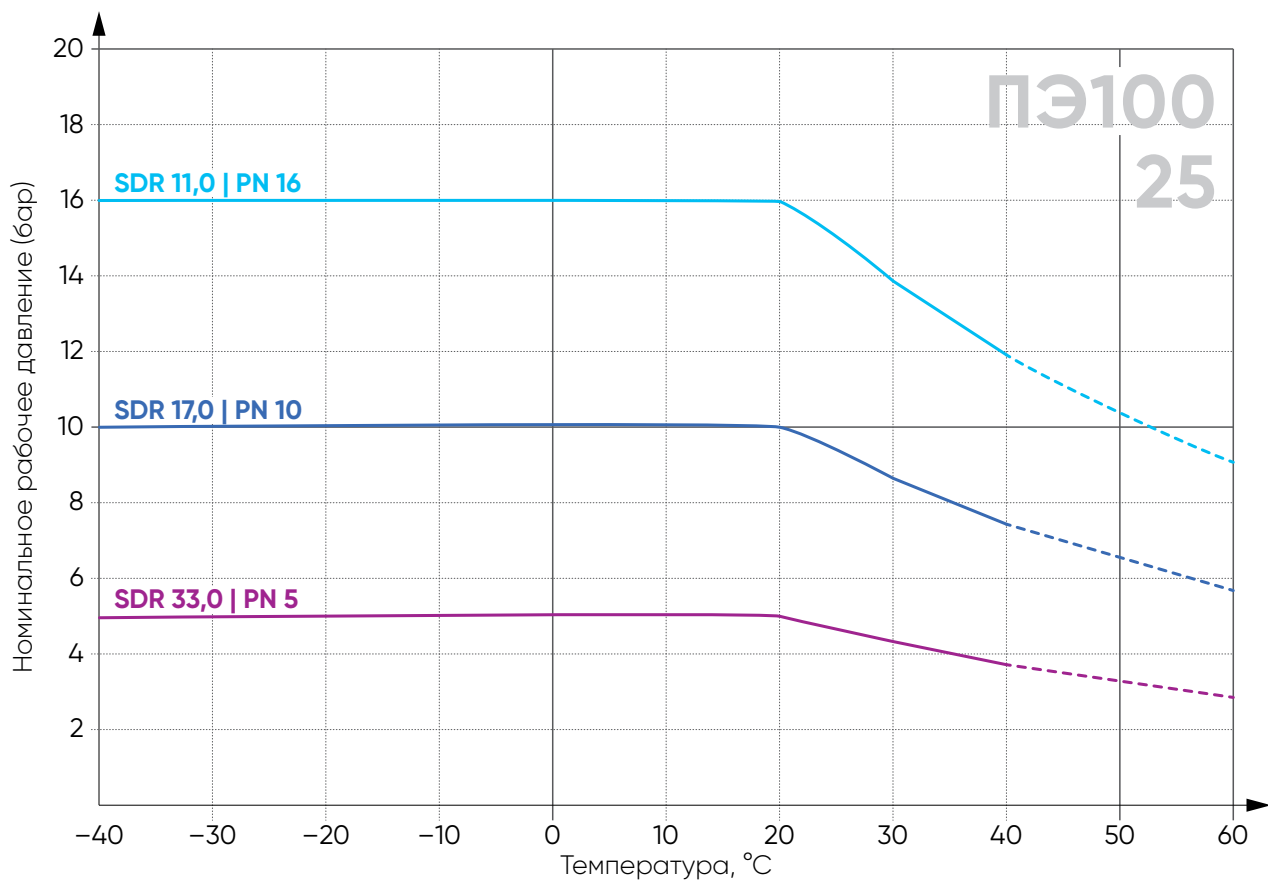


Рис. 2.23. ПЭ100. Диаграмма номинального давления (срок эксплуатации – 25 лет)

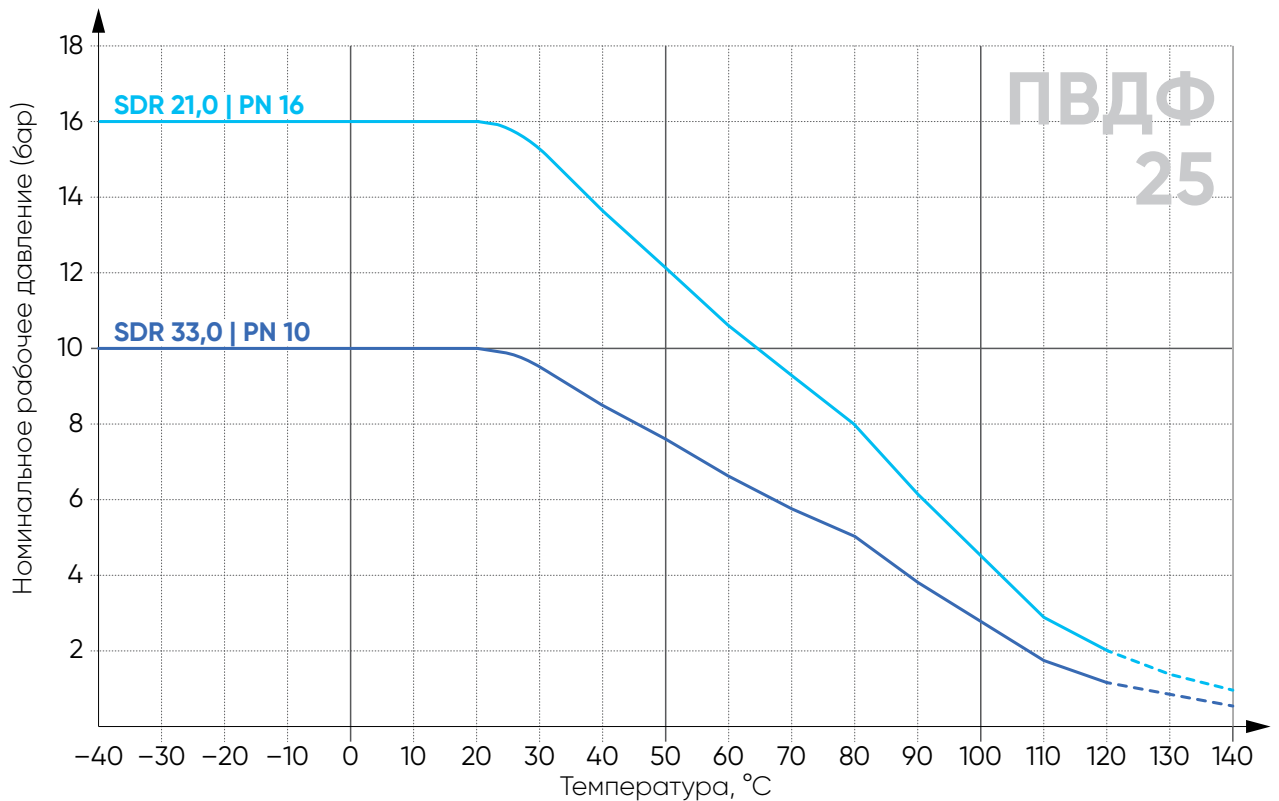


Рис. 2.24. ПВДФ. Диаграмма номинального давления (срок эксплуатации – 25 лет)

#### ► Диаграммы номинальных значений давления – температуры (фитинги, запорная арматура)

Для конкретных изделий (затворы, клапаны, задвижки, фитинги и т.д.), рекомендуется учитывать диаграммы давления и температуры, предназначенные для каждого отдельного изделия, поскольку их конструктивные особенности влияют на расчёт номинального давления. Например, дисковый затвор FK из ХПВХ в зависимости от номинального диаметра предназначен для работы при различных номинальных давлениях:

- DN 40...50: PN16 (вода +20 °C);
- DN 65...250: PN10 (вода +20 °C)
- DN 300: PN8 (вода +20 °C).

Таким образом, на диаграмме давление – температура для этого дискового затвора должны присутствовать три кривых, каждая из которых относится к определённому диапазону номинальных диаметров.

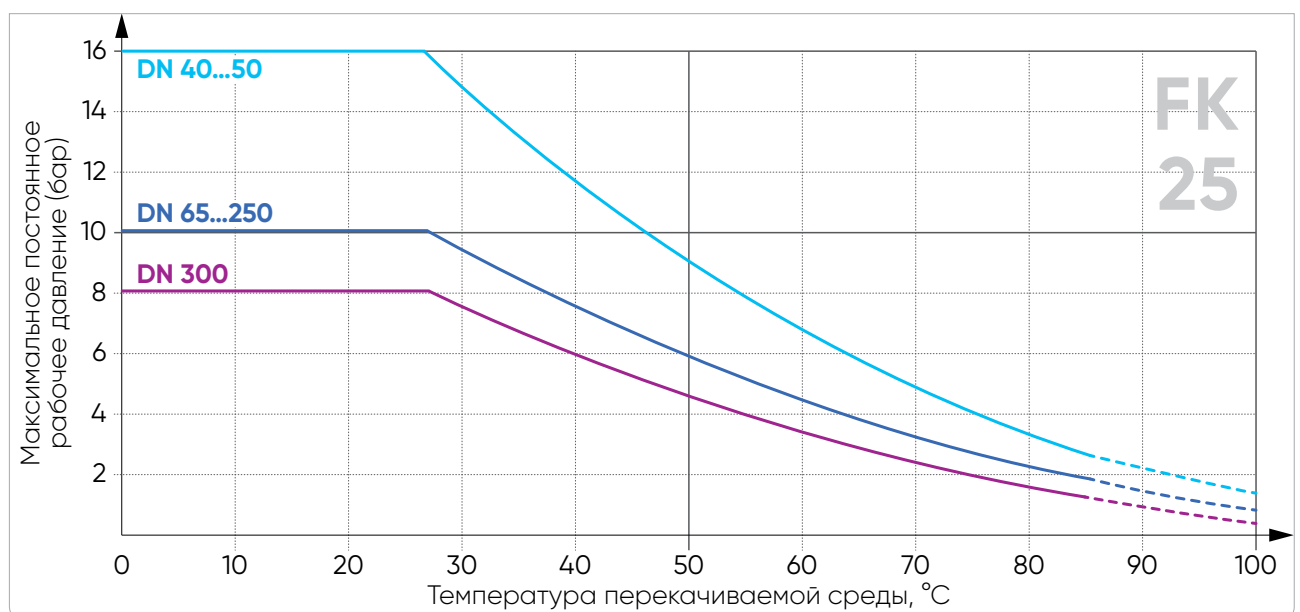


Рис. 2.25. Диаграммы номинального давления для дискового затвора FK

### 2.4.3. Гидравлические расчёты

Процессы, используемые для производства труб и фитингов из пластиков, позволяют получать чрезвычайно гладкие внутренние поверхности, характеризующиеся низкими коэффициентами шероховатости поверхности. Поэтому гидравлические характеристики потока жидкости, транспортируемой по пластиковым трубопроводным системам, остаются практически неизменными с течением времени, так как высокая гладкость внутренних стенок не допускает развития коррозии и образования налёта. Что касается биологического зарастания, то на самом деле системы трубопроводов из НПВХ и ХПВХ устойчивы к росту грибков и бактерий, особенно тех, которые обычно вызывают коррозию в системах металлических трубопроводов.

Следует отметить, что труба подвержена действию силы, вектор которой противоположен направлению потока, и которая вызывает рассеивание энергии потока. Эта сила, величину которой можно оценить по перепаду давления, обычно называется потерей на трение или потерей напора, которое и приводит к падению давления.

В целом в промышленных трубопроводных системах существует два типа потерь напора:

- **распределённые потери напора:** они возникают, когда потеря энергии возникает из-за поверхностного трения, возникающего между жидкостью и стенками трубы, поэтому они распределяются по всей длине трубопровода. Трение зависит от шероховатости трубы, её размера, физических свойств транспортируемой жидкости (плотности и вязкости), а также скорости потока;
- **локальные потери напора:** в этом случае потери энергии возникают из-за изменения направления потока жидкости в запорной арматуре, в коленах, тройниках и проч.

Очевидно, что общее падение давления внутри системы можно найти, суммируя все распределённые и локальные потери напора.

В общем случае распределённые потери могут быть больше или меньше локальных, в зависимости от конструктивных особенностей конкретной трубопроводной системы. Например, если речь идёт о длинной прямой трубе с небольшим количеством арматуры, большая часть падения давления будет вызвана распределённой потерей напора.

В случае же компактной компоновки, где в конструкции преобладают отводы и запорная арматура, а прямых участков трубы сравнительно немного, преобладают будут локальные потери напора.

Если известны физические характеристики жидкости, параметры трубы и потока, то существуют различные математические соотношения, которые позволяют оценить потери давления, создаваемые жидкостью, проходящей по пластиковым трубам. Эти три параметра взаимосвязаны. Их взаимосвязь выражается следующими уравнениями.

Расход может быть рассчитан как:

$$Q = A \times V \quad [12], \text{ где}$$

- Q – объёмный расход (м<sup>3</sup>/ч);
- A – площадь поперечного сечения трубы или площадь просвета (м<sup>2</sup>);
- V – скорость потока (м/с).

Скорость потока определяется формулой:

$$V = Q/A = (4 \times Q)/(\pi \times D_i^2) \quad [13], \text{ где}$$

- D<sub>i</sub> – внутренний диаметр трубы (м).

Жидкость, движущаяся внутри трубы, может образовывать или ламинарный, или турбулентный поток. В гидродинамике ламинарный поток характеризуется тем, что частицы жидкости следуют по плавным траекториям в слоях, причём каждый слой плавно проходит мимо соседних слоёв с небольшим перемешиванием или без него.

Турбулентный поток характеризуется неупорядоченным движением частиц жидкости, при котором скорость в каждой точке потока меняется по направлению и по величине. Для турбулентного потока характерно наличие пульсаций скорости, давления, температуры и концентрации вещества.

Для определения того, является ли поток по трубам ламинарным или турбулентным, используется число Рейнольдса, обозначаемое как Re. Число Рейнольдса – это безразмерная величина, характеризующая отношение инерционных сил к силам вязкого трения в вязких жидкостях. Число Рейнольдса также является критерием подобию течения вязкой жидкости.



Число Рейнольдса  $Re$  вычисляется по следующей формуле:

$$Re = (V \times D_i) / \nu = (\rho \times V \times D_i) / \mu \quad [14], \text{ где}$$

- $V$  – скорость потока, м/с;
- $D_i$  – внутренний диаметр трубы (м);
- $\nu$  – кинематическая вязкость жидкости, м<sup>2</sup>/с;
- $\rho$  – плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>;
- $\mu$  – динамическая вязкость жидкости, кг/(м × с).

Применительно к жидкости, протекающей внутри трубы, можно принять, что при:

- $Re < 2500$  – поток ламинарный;
- $Re = 2500 \dots 4000$  – поток переходный от ламинарного к турбулентному;
- $Re > 4000$  – поток турбулентный.

Скорость потока в трубе можно определить посредством датчиков расхода (будут описаны в следующих главах). Они измеряют локальную (мгновенную) скорость потока  $V_m$ , на основании которой рассчитывается средняя скорость потока  $V_a$  и объёмный расход  $Q$ .

Что касается точки измерения скорости потока внутри трубы, то подходят два варианта:

- **критическое положение:** датчик скорости расположен там, где локальная скорость соответствует средней скорости (обычно это точка на окружности, на 12% меньшей внутреннего диаметра, см. Рис. 2.26). В этом случае средняя скорость соответствует измеренной локальной скорости:  $V_a = V_m$ ;
- **центральное положение:** датчик скорости расположен на оси трубы. Локальная скорость соответствует максимальной скорости:  $V_m = V_{max}$ .

Таким образом, можно понять, как скорость влияет на тип потока, поскольку скорость присутствует в формуле для расчета числа Рейнольдса.

Эпюра скорости ламинарного потока представляет собой параболу. Скорость потока максимальна на оси трубы ( $V_{max} = 2 \times V_a$ ), постепенно падая при приближении к стенке. Фактически, у самой стенки она равна нулю.

Эпюра скорости турбулентного движения более «коробчатая»: скорость потока близка к максимальному значению даже вблизи стенки трубы, но всё-таки у самой стенки она равна нулю.

#### ► Расчёт распределённых потерь напора

Как было отмечено выше, потери напора в трубопроводной системе зависят главным образом от скорости потока, гладкости стенок трубы и площади внутренней поверхности трубы.

Существует несколько методов расчёта потери давления в трубопроводной системе, но наиболее распространёнными являются метод Дарси – Вейсбаха и метод Хазена – Уильямса. Метод Хазена – Уильямса является общепринятым методом расчёта перепада давления в пластиковых трубах, в то время как метод Дарси – Вейсбаха применим к трубам из любого материала.

#### ► Формула Дарси – Вейсбаха

Формула Дарси – Вейсбаха используется для расчёта потерь давления внутри трубы и представляет собой одну из основ современной гидродинамики.

Формула справедлива как для ламинарного, так и для турбулентного потока. Разница заключается в том, какое значение придаётся коэффициенту трения  $\lambda$ .

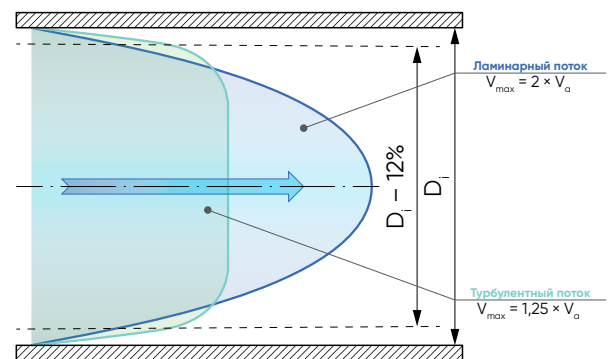


Рис. 2.26. Эпюры скоростей ламинарного и турбулентного потоков жидкости в трубе

Потеря напора описывается следующим эмпирическим уравнением:

$$h = (\lambda \times V^2) / (2 \times g \times D_i) \quad [15], \text{ где}$$

- $h$  – потеря напора (м/м);
- $V$  – скорость потока (м/с);
- $g$  – ускорение свободного падения (9,81 м/с<sup>2</sup>);
- $D_i$  – внутренний диаметр трубы (м);
- $\lambda$  – коэффициент трения трубы;

Коэффициент трения  $\lambda$  для пластиков обычно имеет значение 0...0,02.

Значение коэффициента трения трубы также можно получить из диаграммы Муди (см. Рис. 2.27). Эта диаграмма с логарифмическими шкалами позволяет оценить коэффициент трения, зная относительную шероховатость трубы и число Рейнольдса для потока, проходящего через неё. После определения коэффициента трения по диаграмме достаточно использовать известные законы гидродинамики, чтобы вычислить падение давления.

В настоящее время эта диаграмма используется в основном в учебных целях, поскольку основные расчёты ведут на компьютерах с использованием численных методов. Но в отсутствие компьютеров диаграмма Муди представляет собой единственный действенный метод оценки падения давления, поскольку точного аналитического решения этой задачи не существует.

В левой части диаграммы Муди находится единственная прямая линия, которая представляет собой коэффициент трения при ламинарном потоке, характеризующимся низкими значениями числа Рейнольдса.

В правой части диаграммы серия кривых представляет различные значения относительной шероховатости. Зная число Рейнольдса потока, можно получить коэффициент трения трубы  $\lambda$ .

Правая область, представляющая условия турбулентного потока, в свою очередь, делится ещё на две зоны:

- переходная зона между ламинарным и турбулентным потоком;
- полностью турбулентная зона, характеризующаяся практически горизонтальным расположением кривых.

В случае ламинарного потока ( $Re < 2500$ ) коэффициент трения  $\lambda$  линейно зависит от числа Рейнольдса ( $\lambda = f[Re]$ ) или более конкретно вычисляется по формуле:

$$\lambda = 64/Re \quad [16], \text{ где}$$

Если поток полностью турбулентный ( $Re > 4000$ ), что в основном и наблюдается в пластиковых трубопроводах, коэффициент трения  $\lambda$  зависит не только от числа Рейнольдса, но и от коэффициента относительной шероховатости трубы  $\varepsilon/D_i$ , где  $\varepsilon$  – абсолютная шероховатость, т.е. средняя высота бугорков неровностей (шероховатостей) внутри трубы,  $D_i$  – внутренний диаметр трубы. Таким образом:

$\lambda = f(Re \times \varepsilon/D_i)$  [17], т.е. является функцией от числа Рейнольдса и коэффициента относительной шероховатости трубы.

Для полностью турбулентных потоков ( $Re > 4000$ ) существует также уравнение Коулбрука – Уайта, иногда называемое просто уравнением Коулбрука. Оно представляет собой зависимость между коэффициентом трения и числом Рейнольдса, шероховатостью трубы и её внутренним диаметром:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \times \lg \left( \frac{\varepsilon}{3,71 \times D_i} + \frac{2,51}{Re \times \sqrt{\lambda}} \right) \quad [18], \text{ где:}$$

- $\lambda$  – коэффициент трения трубы;
- $\varepsilon$  – абсолютная шероховатость трубы (мм);
- $\varepsilon/D_i$  – относительная шероховатость трубы;
- $D_i$  – внутренний диаметр трубы (мм);
- $Re$  – число Рейнольдса.

На практике часто достаточно пользоваться упрощённым видом этой формулы, если не учитывать шероховатость трубы. В таком случае она приобретает вид:

$$\lambda = 0,079 \times Re^{-0,25} \quad [19]$$

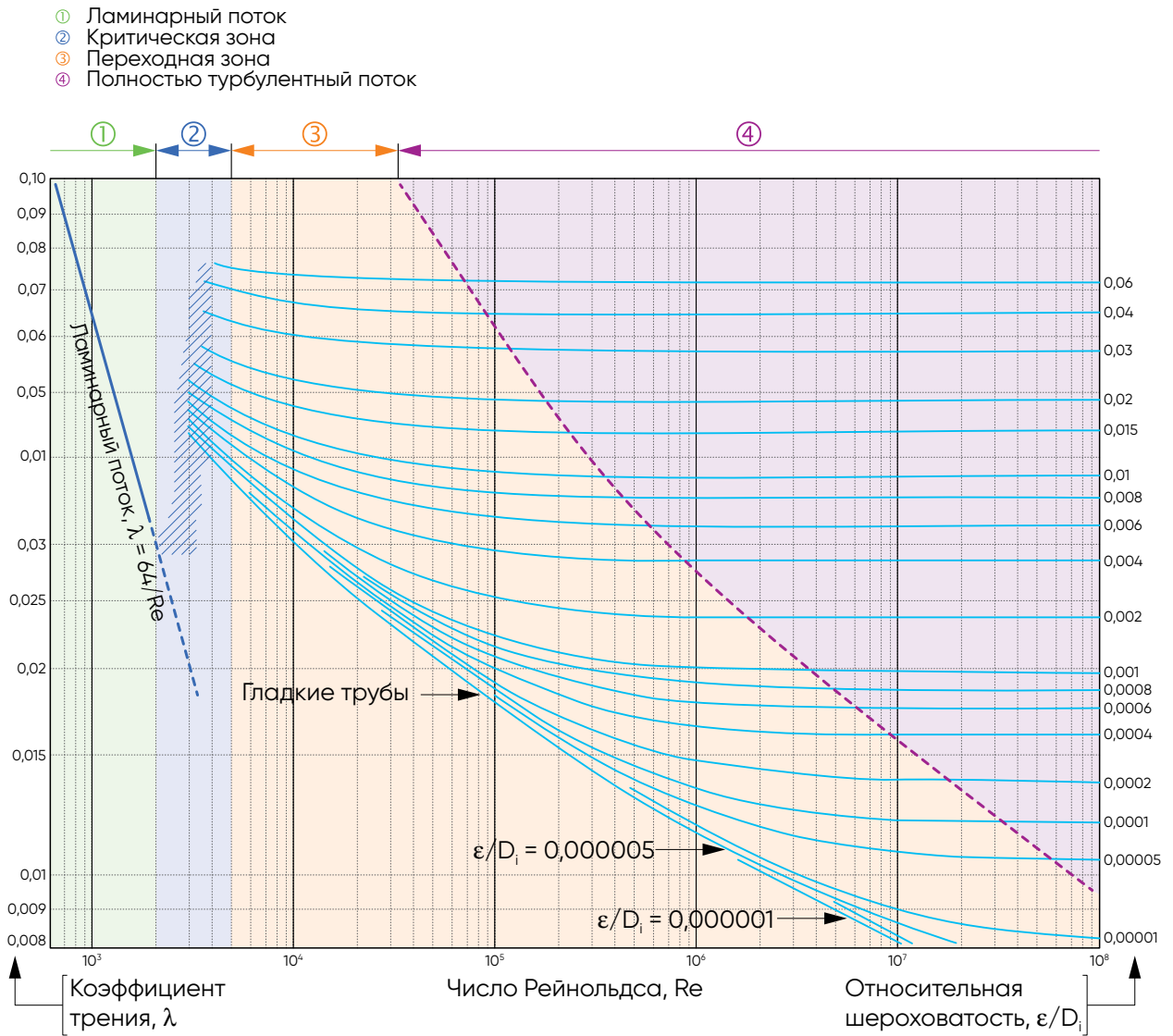


Рис. 2.27. Диаграмма Муди

► **Формула Хазена – Уильямса**

Эмпирическая формула Хазена – Уильямса для расчёта потери напора подходит для турбулентных потоков и имеет следующий вид:

$$h = 10,666 \times C_{hw}^{-1,85} \times D_i^{-4,87} \times Q^{1,85} \quad [20], \text{ где}$$

- $h$  – потеря напора (м/м);
- $C_{hw}$  – коэффициент потока;
- $D_i$  – внутренний диаметр трубы (м);
- $Q$  – объёмный расход (м<sup>3</sup>/ч).

Это уравнение справедливо только для расчёта трубопроводных систем, перекачивающих воду. Рекомендуется использовать его для трубопроводов диаметров более 50 мм.

Коэффициент потока зависит от материала трубы и получен в результате экспериментальных испытаний. В следующей таблице приведены значения этого коэффициента для различных материалов.

Таб. 2.18. Коэффициент потока для различных материалов

Материал трубы	Коэффициент потока	Примечание
Чугун, сталь с гладкой внутренней поверхностью	120	Новая труба
	110	10-летняя труба
	90	20-летняя труба
	70	50-летняя труба
НПВХ	145...160	—
ПП и ПЭ	140...150	—

Чтобы избежать вычислений, Хазен и Уильямс разработали номограмму для коэффициента потока  $C_{hw} = 100$ . Достаточно провести линию, соединяющую два известных параметра, чтобы получить неизвестный. Например, зная объёмный расход  $Q$  и внутренний диаметр трубы  $D_i$ , можно получить потерю напора  $h$  (см. Рис. 2.28).

Если значение  $C_{hw}$  отличается от 100, значения объёмного расхода  $Q$  и потери напора  $h$  следует умножить на соответствующие коэффициенты  $M_q$  и  $M_h$ , приведённые в нижеследующей таблице.

Таб. 2.19. Таблица переводных коэффициентов для пересчёта  $C_{hw}$  отличного от 100

$C_{hw}$	$M_q$	$M_h$
70	0,70	1,93
90	0,90	1,22
100	1,00	1,00
110	1,10	0,84
120	1,20	0,71
130	1,30	0,62
140	1,40	0,54
150	1,50	0,47
160	1,60	0,42

Анализируя формулу Хазена – Уильямса, можно утверждать, что с некоторыми допущениями потеря напора обратно пропорциональна пятой степени внутреннего диаметра трубы. Следовательно, зная потерю напора для одного диаметра, можно рассчитать её и для другого, нового, диаметра по формуле:

$$h_2 = (h_1 \times D_1^5) / D_2^5 \quad [21], \text{ где}$$

- $h_1$  – потеря напора для известного диаметра (м/м);
- $h_2$  – потеря напора для нового диаметра (м/м);
- $D_1$  – внутренний диаметр известной трубы (м);
- $D_2$  – внутренний диаметр новой трубы (м).

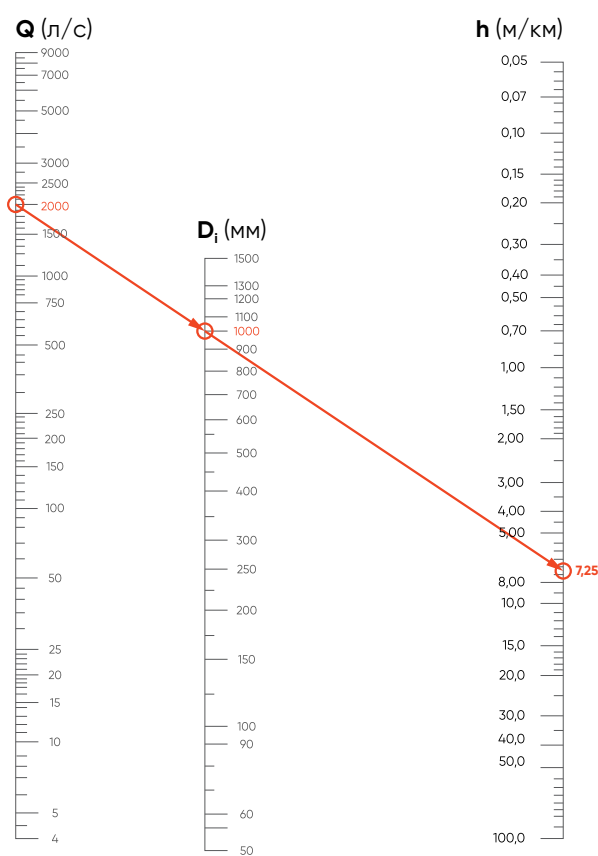


Рис. 2.28. Номограмма Хазена – Уильямса

### ✦ Практический пример

**Задача:** рассчитать потерю напора  $h$  в отрезке круглой трубы с внутренним диаметром  $D_i = 50$  мм (0,05 м). Перекачиваемая среда – вода, объёмный расход  $Q = 1$  л/с (0,001 м<sup>3</sup>/с). Коэффициент трения трубы  $\lambda = 0,02$ .

Чтобы рассчитать потерю напора по формуле Дарси – Вейсбаха, необходимо сначала определить скорость потока  $V$ :

$$V = Q/A = (4 \times Q)/(\pi \times D_i^2) = (4 \times 0,001)/(3,14 \times 0,05^2) = 0,51 \text{ м/с}$$

Теперь по формуле Дарси – Вейсбаха [15] находим потерю напора  $h$ :

$$h = (\lambda \times V^2)/(2 \times g \times D_i) = (0,02 \times 0,51^2)/(2 \times 9,81 \times 0,05) = 0,005 \text{ м/м.}$$

#### ► Расчёт локальных потерь напора

Как было указано выше, распределённые потери напора не являются единственными причинами падения давления в трубопроводной системе. Существуют и так называемые локальные (концентрированные) потери напора, возникающие из-за всевозможных препятствий в трубопроводной системе: изгибов труб, колен, клапанов и проч.

Их общая величина  $\Sigma \Delta p_{\text{loc}}$  есть сумма всех локальных потерь.

$$\Sigma \Delta p_{\text{loc}} = \Delta P_{\text{RF}} + \Delta P_{\text{RV}} + \Delta p_{\text{geod}} + \Delta p_{\text{valv}} \quad [21], \text{ где}$$

$\Delta P_{\text{RF}}$  – потеря напора в фитингах;

$\Delta P_{\text{RV}}$  – потеря напора в соединениях трубы;

$\Delta p_{\text{geod}}$  – изменение напора за счёт изменения высоты;

$\Delta p_{\text{valv}}$  – потеря напора внутри запорной арматуры.

#### i. Потеря напора в фитингах

Многочисленные эксперименты показали, что потери напора в фитингах пропорциональны некой постоянной степени скорости потока. Значение степени может варьировать от 1,8 до 2,1.

Для обычных гидравлических расчётов можно предположить, что потеря давления из-за прохождения жидкости через фитинг пропорциональна квадрату средней скорости, как описано в Стандарте DVS 2210:

$$\Delta P_{\text{RF}} = (\epsilon_{\text{RF}} \times \rho)/(2 \times 10^5 \times V^2) \quad [22], \text{ где}$$

$\Delta P_{\text{RF}}$  – потеря напора в фитинге (бар);

$\epsilon_{\text{RF}}$  – коэффициент сопротивления в фитинге;

$\rho$  – плотность перекачиваемой среды (кг/м<sup>3</sup>);

$V$  – скорость потока (м/с).

Стандарт DVS 2210 приводит значения коэффициента сопротивления  $\epsilon_{RF}$  для наиболее распространённых фитингов.

Таб. 2.20. Таблица коэффициентов сопротивления  $\epsilon_{RF}$  для наиболее распространённых фитингов

Тип фитинга	Параметр	Коэффициент сопротивления $\epsilon_{RF}$			Чертёж (→ – направление потока)
Отвод 90°	$R = 1,0 \times d_i$	0,51			
	$R = 1,5 \times d_i$	0,41			
	$R = 2,0 \times d_i$	0,34			
	$R = 4,0 \times d_i$	0,23			
Отвод 45°	$R = 1,0 \times d_i$	0,34			
	$R = 1,5 \times d_i$	0,27			
	$R = 2,0 \times d_i$	0,20			
	$R = 4,0 \times d_i$	0,15			
Отвод угловой*)	$\alpha = 45^\circ$	0,30			
	$\alpha = 30^\circ$	0,14			
	$\alpha = 20^\circ$	0,05			
	$\alpha = 15^\circ$	0,05			
	$\alpha = 10^\circ$	0,04			
Тройник равнопроходный (соединение потоков) $V_s = V_a + V_z$	$V_z/V_s = 0,0$	$\epsilon_z = -1,20$	$\epsilon_a = 0,06$		
	$V_z/V_s = 0,2$	$\epsilon_z = -0,40$	$\epsilon_a = 0,20$		
	$V_z/V_s = 0,4$	$\epsilon_z = +0,10$	$\epsilon_a = 0,30$		
	$V_z/V_s = 0,6$	$\epsilon_z = +0,50$	$\epsilon_a = 0,40$		
	$V_z/V_s = 0,8$	$\epsilon_z = +0,70$	$\epsilon_a = 0,50$		
	$V_z/V_s = 1,0$	$\epsilon_z = +0,90$	$\epsilon_a = 0,60$		
Тройник равнопроходный (разъединение потоков) $V_s = V_a + V_d$	$V_a/V_s = 0,0$	$\epsilon_a = 0,97$	$\epsilon_d = +0,10$		
	$V_a/V_s = 0,2$	$\epsilon_a = 0,90$	$\epsilon_d = -0,10$		
	$V_a/V_s = 0,4$	$\epsilon_a = 0,90$	$\epsilon_d = -0,05$		
	$V_a/V_s = 0,6$	$\epsilon_a = 0,97$	$\epsilon_d = +0,10$		
	$V_a/V_s = 0,8$	$\epsilon_a = 1,10$	$\epsilon_d = +0,20$		
	$V_a/V_s = 1,0$	$\epsilon_a = 1,30$	$\epsilon_d = +0,35$		
Муфта редукционная (на увеличение диаметра)	$d_2/d_1 = 1,2$ $d_2/d_1 = 1,4$ $d_2/d_1 = 1,6$ $d_2/d_1 = 1,8$ $d_2/d_1 = 2,0$	$\alpha = 4...8^\circ$	$\alpha = 16^\circ$	$\alpha = 24^\circ$	
		0,100	0,150	0,200	
		0,200	0,300	0,500	
		0,500	0,800	1,500	
		1,200	1,800	3,000	
		1,900	3,100	5,300	
Муфта редукционная (на уменьшение диаметра)	$d_2/d_1 = 1,2$ $d_2/d_1 = 1,4$ $d_2/d_1 = 1,6$ $d_2/d_1 = 1,8$ $d_2/d_1 = 2,0$	$\alpha = 4^\circ$	$\alpha = 8^\circ$	$\alpha = 20^\circ$	
		0,046	0,023	0,010	
		0,067	0,033	0,013	
		0,076	0,038	0,015	
		0,031	0,041	0,016	
		0,034	0,042	0,017	

\*) Для отводов 90° предполагается, что коэффициент сопротивления  $\epsilon_{RF} = 0,60$

В дополнение к приведённым ниже выражениям, распространённым методом выражения потери напора в фитингах является т.н. эквивалентная длина трубы ( $L/D_i$ ). Это соотношение представляет собой длину прямой трубы того же внутреннего диаметра, которая вызывает такое же падение давления, как и фитинг, при прочих равных характеристиках потока.



## ii. Потеря напора в соединениях трубы

Точные данные о потерях давления в местах соединения труб не могут быть рассчитаны, поскольку геометрические размеры сварных швов (например) не являются постоянными.

Рекомендуется для расчёта потерь напора выбирать коэффициент сопротивления  $\epsilon_{RV} = 0,1$  для каждого соединения в системе пластиковых труб (стыковые сварные швы и клеенные с помощью адаптеров узлы), а также для каждого фланца. Исходя из этого, Стандарт DVS 2210 предлагает следующее уравнение:

$$\Delta P_{RV} = (\epsilon_{RV} \times \rho) / (2 \times 10^5 \times V^2) \quad [23], \text{ где}$$

$\Delta P_{RV}$  – потеря напора в соединениях (бар);  
 $\epsilon_{RV}$  – коэффициент сопротивления в соединениях;  
 $\rho$  – плотность перекачиваемой среды (кг/м<sup>3</sup>);  
 $V$  – скорость потока (м/с).

Для практических целей оценить потери напора в соединениях можно и без расчётов. Можно принять, что потери в соединениях на 15% больше, чем потери напора в фитингах ( $\Delta P_{RF}$ ).

## iii. Изменение напора за счёт изменения высоты

Это изменение напора (геодезическую разницу давлений) необходимо учитывать, когда существует разница в высоте между началом и концом трубопровода. Оно вычисляется по следующей формуле:

$$\Delta p_{\text{geod}} = \Delta h_{\text{geod}} \times \rho \times 10^{-4} \quad [24], \text{ где}$$

$\Delta p_{\text{geod}}$  – геодезическая разница давлений (бар);  
 $\Delta h_{\text{geod}}$  – разница уровней (м);  
 $\rho$  – плотность перекачиваемой среды (кг/м<sup>3</sup>).

## iv. Потеря напора в запорной арматуре

Для оценки потерь напора, вызванных прохождением жидкости через запорную арматуру (краны, клапаны, задвижки и проч.), на практике используется некий коэффициент пропускной способности, обычно называемый коэффициентом пропускной способности  $K_V$ .

Рассчитать потерю давления внутри клапана (крана и пр.) можно по следующей формуле:

$$\Delta P_{VALV} = \rho \times (Q/K_V)^2 \quad [25], \text{ где}$$

$\Delta P_{VALV}$  – потеря напора в запорной арматуре (бар);  
 $\rho$  – удельная масса перекачиваемой среды по сравнению с удельной массой воды при +15 °С;  
 $Q$  – объёмный расход (м<sup>3</sup>/ч);  
 $K_V$  – коэффициент пропускной способности (м<sup>3</sup>/ч).

**Коэффициент  $K_V$  является важнейшим параметром, используемым для расчёта потерь напора в клапане.**

Коэффициент  $K_V$  можно трактовать как объём среды, проходящий в единицу времени через клапан при заданном перепаде давления. Его можно определить с помощью следующей формулы:

$$K_V = Q \times (\rho/\Delta P)^{0,5} \quad [26], \text{ где}$$

$K_V$  – коэффициент пропускной способности (м<sup>3</sup>/ч);  
 $Q$  – объёмный расход (м<sup>3</sup>/ч);  
 $\rho$  – удельная масса перекачиваемой среды по сравнению с удельной массой воды при +15 °С;  
 $\Delta P$  – разница давлений (бар).

Зная коэффициент  $K_v$  можно:

- определить размер клапана: зная перепад давления и коэффициент расхода, можно определить наиболее подходящий диаметр клапана;
- рассчитать расход через клапан в зависимости от разности давлений и значения  $K_v$ ;
- рассчитать перепад давления на клапане: если известны скорость потока и значение  $K_v$ , то можно определить и падение напора (давления)  $\Delta P$ .

**v. Номинальный коэффициент пропускной способности  $K_{v100}$**

Номинальный коэффициент пропускной способности  $K_{v100}$  (л/мин) обозначает максимально возможное значение  $K_v$  при полностью открытом клапане, при температуре среды +20 °С и при перепаде давления  $\Delta P = 1$  бар.

Коэффициент  $K_{v100}$  существенно зависит от:

- номинального диаметра арматуры (арматура большего размера имеет более высокие значения  $K_{v100}$ );
- типа запорной арматуры.

Следующая таблица может быть полезна для сравнения значений  $K_{v100}$  (л/мин) основных типов запорной арматуры, используемых в промышленных установках (модели VKR, VKD, DK, FK) с номинальным диаметром от 10 до 100 мм.

Таб. 2.21. Значение коэффициента  $K_{v100}$  для различных моделей запорной арматуры

Модель	DN10	DN15	DN20	DN25	DN32	DN40	DN50	DN65	DN80	DN100
VKR (кран)	83	88	135	256	478	592	1068	—	—	—
VKD (кран)	80	200	385	770	1100	1750	3400	5250	7100	9500
DK (клапан)	—	112	261	445	550	1648	1087	1600	—	—
FK (затвор)	—	—	—	—	—	1000	1285	1700	3550	5900

Часто вместо номинального коэффициента пропускной способности  $K_{v100}$  используется коэффициент  $K_v$ , который, очевидно, имеет меньшее значение.

Коэффициент  $K_v$  используется, если клапан (кран, затвор, пр.) не закрыт до конца или когда перекачиваемая среда не является водой при температуре +20 °С.

Номинальное значение  $K_{v100}$  указывается производителем в паспорте изделия. Там же (обычно в графической форме) указывается и регулировочная характеристика изделия. По оси абсцисс указывается ход поршня или угол поворота шара, по оси ординат – коэффициент пропускной способности.

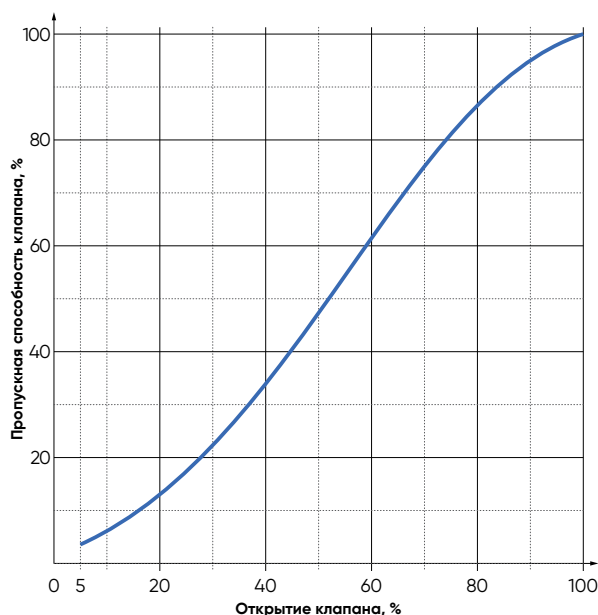


Рис. 2.29. Диаграмма пропускной способности мембранного клапана DK

### vi. Соотношение между $K_v$ и $C_v$

В европейских странах принята система СИ, поэтому значение коэффициента пропускной способности  $K_v$  выражается в соответствующих единицах ( $\text{м}^3/\text{с}$ , л/ч).

В англосаксонских странах вместо коэффициента пропускной способности  $K_v$  используется аналогичный коэффициент  $C_v$ . Он выражает способность запорной арматуры пропускать объём воды (в галлонах в минуту) при температуре  $60^\circ \text{F}$  при разнице давлений в 1 фунт на квадратный дюйм.

Коэффициенты  $K_v$  и  $C_v$  связаны взаимоотношением:

$$K_v = 0,865 \times C_v$$

$$C_v = 1,156 \times K_v \quad [27]$$

### vii. Последовательное и параллельное подключение запорной арматуры

Для вычисления суммарного коэффициента пропускной способности группы **последовательно** подключённой запорной арматуры, имеющей разное значение  $K_{vi}$ , используется следующая формула:

$$1/K_{v\Sigma} = 1/K_{v1} + 1/K_{v2} + \dots + 1/K_{vn} \quad [28]$$

Отсюда следует, что при последовательном подключении результирующая пропускная способность группы ( $K_{v\Sigma}$ ) будет меньше, чем у элемента с наименьшим значением  $K_{v\min}$  в этой группе.

Для вычисления суммарного коэффициента пропускной способности группы **параллельно** подключённой запорной арматуры, имеющей разное значение  $K_{vi}$ , используется следующая формула:

$$K_{v\Sigma} = K_{v1} + K_{v2} + \dots + K_{vn} \quad [29]$$

Отсюда следует, что при параллельном подключении результирующая пропускная способность группы ( $K_{v\Sigma}$ ) будет равна арифметической сумме пропускных способностей  $K_{vi}$  элементов этой группы.

### ✚ Практические примеры

- **Задача:** рассчитать коэффициент пропускной способности группы из трёх шаровых кранов при условиях, указанных на Рис. 2.30 и в Таб. 2.22.

Таб. 2.22. Таблица исходных данных

Кран шаровой	$K_{v100}$ , л/м
$V_1$	$K_{v100(1)} = 1100$
$V_2$	$K_{v100(2)} = 1100$
$V_3$	$K_{v100(3)} = 1068$

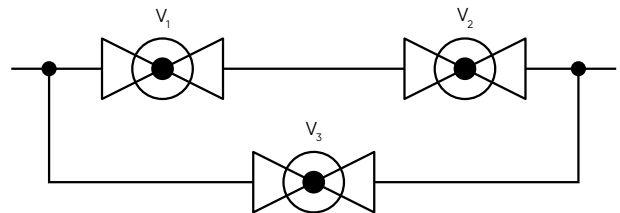


Рис. 2.30. Пример расчёта суммарного  $K_v$

Для группы кранов  $V_1$  и  $V_2$  согласно [28] получаем:

$$1/K_{v\text{посл.}} = 1/K_{v100(1)} + 1/K_{v100(2)} = 1/1100 + 1/1100 = 0,0018 \text{ м/л}$$

$$K_{v\text{посл.}} = 550 \text{ л/м}$$

Теперь приняв во внимание кран  $V_3$ , соединённый параллельно с только что рассмотренной группой, согласно [29] получаем результирующее  $K_{v\Sigma}$ .

$$K_{v\Sigma} = K_{v\text{посл.}} + K_{v100(3)} = 550 + 1068 = 1618 \text{ л/м.}$$

- **Задача:** допустим, расход  $Q$  в некоей системе, перекачивающей воду ( $\rho = 1$ ), составляет  $13,2 \text{ м}^3/\text{ч}$ , а падение давления  $\Delta P$  составляет  $0,4$  бар. Рассчитать  $K_v$ .

Согласно [26],

$$K_v = Q \times (\rho / \Delta P)^{0,5} = 13,2 \times (1 / 0,4)^{0,5} = 13,2 / 0,63 = 20,87 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Таким образом, при подборе клапана (крана, проч.) для данного проекта следует выбрать запорную арматуру со значением  $K_v$  близким к  $21 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

- **Задача:** объёмный расход  $Q$  воды ( $\rho = 1$ ) в системе составляет  $2,2 \text{ м}^3/\text{ч}$ , а значение  $K_v$  используемой запорной арматуры составляет  $2,5 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Каково будет падение давления  $\Delta P$ ?

Согласно [25],

$$\Delta P = \rho \times (Q / K_v)^2 = (2,2 / 2,5)^2 = 0,77 \text{ бар}.$$

#### 2.4.4. Выбор клапанов и регулирование расхода

Правильный выбор запорной арматуры является основополагающим этапом проектирования трубопроводной системы, поскольку эта арматура самым существенным образом влияет на производительность всей системы.

В запорной арматуре с ручным управлением можно выделить следующие основные элементы:

- **механизм управления.** Это устройство управляет движением запорного элемента. В зависимости от типа арматуры это может быть ручка, штурвал или рычаг;
- **запорный элемент.** Это подвижный элемент, изменяющий проходное сечение арматуры, от полного закрытия до полного открытия. Запорным элементом может быть диафрагма клапана, шар шарового крана, диск дискового затвора или пластина шиберной задвижки;
- **корпус.** Это основа конструкции арматуры, в которой имеются отверстия, предназначенные для прохождения перекачиваемой среды;
- **уплотнения.** Они могут изготавливаться из самых различных материалов (EPDM, FKM, PTFE и проч.), в зависимости от предназначения той или иной арматуры.

Выбор типа запорной арматуры зависит от его функции и способа, которым он будет работать в системе. Как правило, арматура используется для выполнения по крайней мере одной из трёх функций:

- **перекрытие (отсечение) потока.** Для целей открытия и перекрытия потока перекачиваемой среды в основном используются краны шаровые и клапаны отсечные.
- **дросселирование (регулирование) потока.** Для дросселирования или регулирования потока чаще всего используются мембранные клапаны, затворы дисковые или регулирующий шаровой кран **FIP VKR**;
- **предотвращение обратного потока.** Для предотвращения обратного потока наиболее часто используются обратные клапаны разной конструкции: поршневые, шаровые, пружинные или дисковые.

Поскольку для реализации конкретной функции можно выбрать арматуру различного типа, данный выбор следует уточнять с учётом конкретных требований к системе.

К таковым требованиям относятся:

- **перекачиваемая среда.** Необходимо знать, может ли перекачиваемая среда вызвать проблемы с теми элементами арматуры, с которой она контактирует. Достаточно ли коррозионная и абразивная стойкость этих элементов? Способна ли вязкость, температура или давление создать проблемы?
- **Совместимость.** Совместимы ли запорные элементы арматуры с перекачиваемой средой?
- **Габариты.** Необходимо проанализировать ограничения по весу и эксплуатационные требования по габаритам. Обычно для арматуры с ручным управлением предлагается выбор рукояток, штурвалов и проч., в зависимости от потребностей. Автоматическая арматура чаще всего имеет электро- или пневмоуправление.

После учёта вышеизложенных факторов можно говорить о выборе типоразмера арматуры.

Типоразмеры в основном зависят от двух факторов:

- параметры техпроцесса;
- тип запорной арматуры.

Что касается параметров техпроцесса, в первую очередь необходимо учитывать объёмный расход среды и падение давления на арматуре, так, как это было описано выше.

Выбор арматуры напрямую связан с её характеристическими кривыми (зависимостью, проиллюстрированной, например, на Рис. 2.29). Эти характеристические кривые различны для каждого типа арматуры и описывают изменение расхода в зависимости от процента открытия запорного элемента. Эти кривые определяются геометрией запорного элемента, задаваемой при конструировании арматуры.

Как видно на Рис. 2.31, мембранные клапаны в целом характеризуются сильно нелинейной характеристикой: пропускная способность клапана очень быстро растёт в самом начале его открытия, а далее, вплоть до полного открытия, остаётся практически неизменной.

Характеристическая кривая шарового крана имеет «зеркальную» характеристику: его пропускная способность нелинейно растёт при углах открытия, близких к максимальному, а при малых углах открытия пропускная способность практически не меняется.

Серия мембранных клапанов **FIP DK** и регулирующих шаровых кранов **FIP VKR**, тем не менее, имеют регулировочные характеристики, на значительном участке имеющие практически линейные характеристики. Арматура такого типа необходима, когда требуется точно регулировать расход. На Рис. 2.32 и Рис. 2.33 представлены характеристики мембранных клапанов **FIP DK** и шаровых клапанов **FIP VKR**, демонстрирующие линейные участки кривых.

Более подробно с характеристическими кривыми запорной арматуры можно ознакомиться в Каталогах продукции компании **Aliaxis**.

В настоящее время помимо ручной очень широко используется приводная запорная и регулирующая арматура различных типов, поскольку её использование позволяет автоматизировать производственные процессы, обеспечивая тем самым более тщательный контроль критических процессов и устраняя т.н. «человеческий фактор». Широкое внедрение автоматической приводной арматуры повышает общую производительность системы и снижает общие издержки.

Спрос на арматуру с электрическими и пневматическими приводами неуклонно растёт из-за увеличения затрат на рабочую силу, требующуюся при ручном управлении процессами.

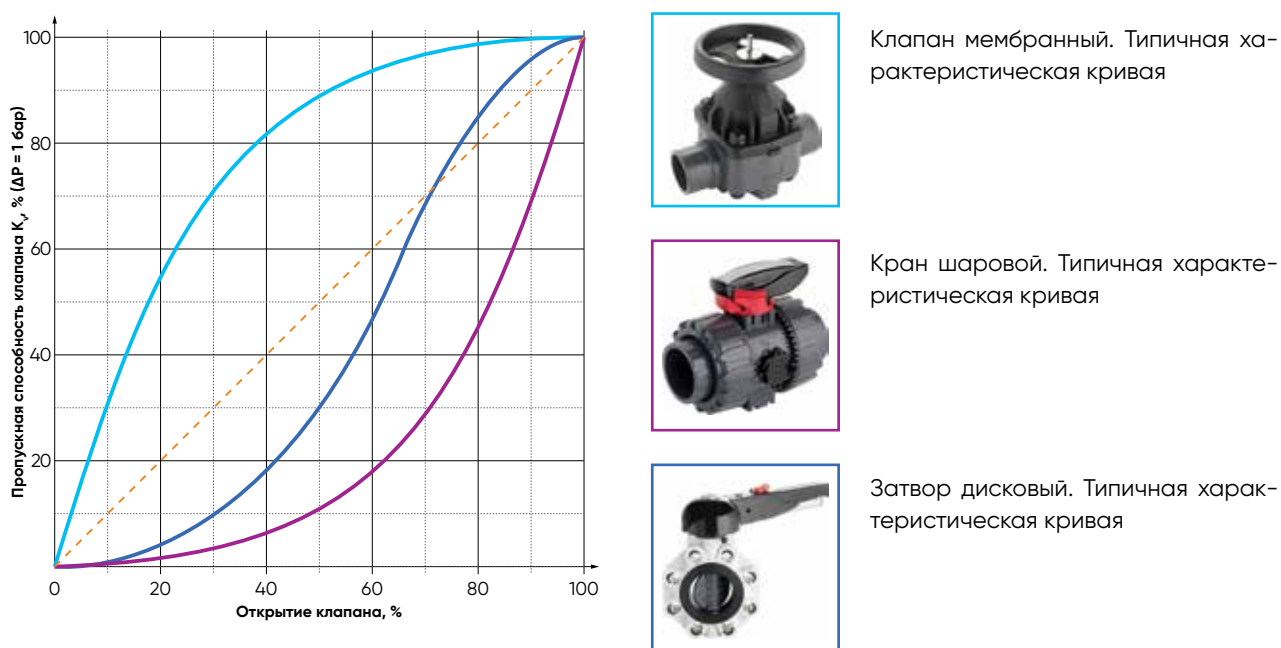


Рис. 2.31. Характеристические кривые открытия различных типов запорной арматуры

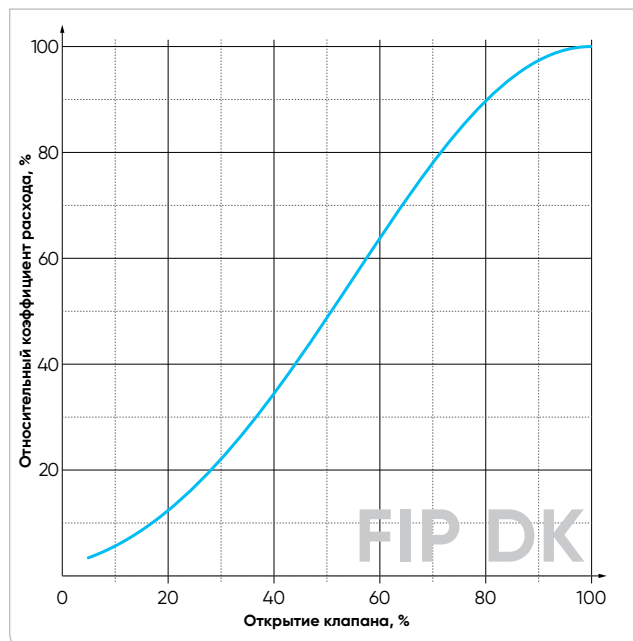


Рис. 2.32. Характеристические кривые открытия мембранных клапанов FIP DK

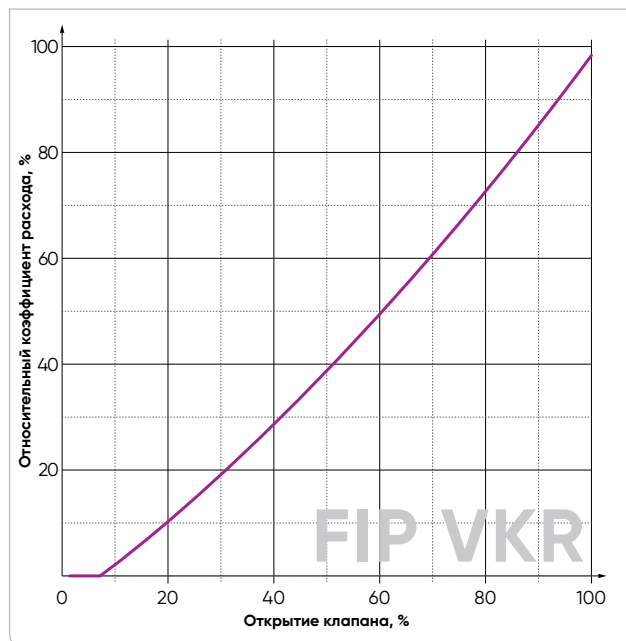


Рис. 2.33. Характеристические кривые открытия шаровых кранов FIP VKR

Основные преимущества использования арматуры с автоматическими приводами:

- автоматическая приводная арматура легко и экономически оправданно встраивается в общую систему управления технологическим процессом;
- позволяет легко автоматизировать последовательность работы запорной арматуры в сложных многупенчатых процессах, которые трудно (а иногда и невозможно) контролировать вручную;
- предлагается множество вариантов экономии затрат и труда, повышая при этом точность соответствия технологическим условиям;
- возможность создания дублирующих отказоустойчивых систем, устраняющих ручное вмешательство работников в управление транспортировкой опасных сред. Тем самым повышается и безопасность труда, и безопасность технологического процесса.

На правильный выбор запорной арматуры влияют не только её характеристики и стоимость. Необходимо учитывать также и затраты на рабочую силу, на монтаж оборудования, его техническое обслуживание и возможность модернизации системы в будущем.

Существует два основных типа приводов: электрические и пневматические. При наличии электричества и магистралей подачи сжатого воздуха в первую очередь следует исходить из потребной мощности оборудования.

Пневмоприводы запорной арматуры обычно дешевле, зато электроприводы чаще всего имеют меньший вес и гораздо проще интегрируются в общую систему управления (и легче монтируются), поскольку им не нужны отдельные магистрали подачи сжатого воздуха. Поэтому в общем случае электроприводы обычно идеальны для очень широкого круга задач.

Следует учитывать возможности регулирования скорости закрытия арматуры посредством пневмо- и электроприводов. Слишком быстрое закрытие клапана (крана, затвора) может привести к т.н. гидроудару – явлению, часто приводящему как к повреждению (или даже разрушению) самой арматуры, так и близких к ним отрезков трубопровода. Явление гидроудара будет рассмотрено ниже.

Скорость работы электрических и пневматических приводов различна. Некоторые типы пневматических приводов снабжены управляющими пневмоклапанами, что позволяет им точно соблюдать необходимые в конкретном технологическом процессе временные циклы открытия-закрытия.



### ✦ Практические примеры

- **Задача:** оценить объёмный расход потока, которым может управлять данный кран.

Рассмотрим шаровой кран **FIP VKR DN50**, работающий на воде. Давление на входе – 6 бар, давление на выходе – 3 бара. Сверяясь с соответствующими таблицами Каталога продукции на веб-сайте компании **Aliaxis**, для каждого DN можно получить значения  $K_{v100}$  (объёмный расход потока в л/мин при перепаде давления 1 бар и полностью открытом кране).

Таб. 2.23. Значения  $K_{v100}$  для шаровых кранов серии **FIP VKR**

DN	10	15	20	25	32	40	50
$K_{v100}$ , л/м	83	88	135	256	478	592	1068

Для рассматриваемого нами DN значение  $K_{v100} = 1068$  л/мин. Падение давления на кране  $\Delta P = 6 - 3 = 3$  бара.

Зная  $K_{v100}$  и  $\Delta P$ , объёмный расход для полностью открытого крана  $Q_{full}$  рассчитывается по преобразованной формуле [25] ( $\rho = 1$ ):

$$Q_{full} = K_{v100} \times (\Delta P/\rho)^{0,5} = 1068 \times \sqrt{3} = 1849,8 \text{ л/мин или } 110,9 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Для подобных расчётов можно воспользоваться онлайн-калькулятором на веб-сайте компании **Aliaxis**.

Для анализа изменения объёмного расхода в зависимости от степени открытия крана следует рассмотреть его характеристическую кривую (см. Рис. 2.34). Таким образом, при, например, 60% открытии крана  $K_{v60\%}$  составит 60% от  $K_{v100}$ . Следовательно, в рассматриваемом примере с краном серии **FIP VKR**

$$Q_{60\%} = 0,6 \times 110,9 = 66,5 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Таким образом, кран **FIP VKR DN50** можно рекомендовать для регулирования объёмного расхода в диапазоне открытия примерно от  $+20^\circ$  до  $+80^\circ$ . Важно помнить, что для достижения оптимального регулирования рекомендуется выбирать размеры арматуры таким образом, чтобы желаемый диапазон регулирования объёмного расхода находился в центральной, линейной, области характеристических кривых.

Анализируя эту кривую можно заметить, что, например, для  $20^\circ$  открытия  $K_{v20\%}$  составляет 13% от  $K_{v100}$ , следовательно,  $Q_{20\%} = 0,13 \times 110,9 = 14,4 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

Для  $80^\circ$  открытия  $K_{v80\%}$  составляет 87% от  $K_{v100}$ , следовательно,  $Q_{80\%} = 0,87 \times 110,9 = 96,5 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

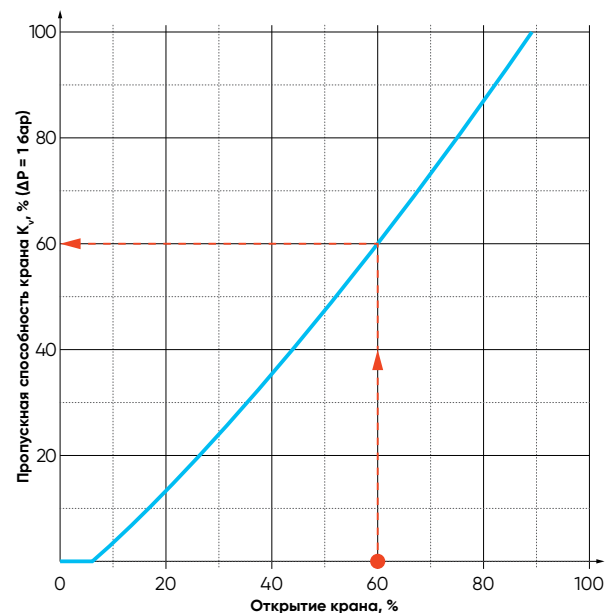


Рис. 2.34. Характеристическая кривая открытия шарового крана **FIP VKR DN50**



Рис. 2.35. Кран шаровой с электроприводом **FIP VKD**



Рис. 2.36. Затвор дисковый с пневмоприводом **FIP DK**

- **Задача:** зная объёмный расход  $Q$  и перепад давления  $\Delta P$  на кране в трубопроводе, оценить размер и процент открытия клапана, который сможет этим расходом  $Q$  управлять. Перекачиваемая среда – вода ( $\rho = 1$ ).

Рассмотрим объёмный расход  $Q = 300$  л/мин и кран **FIP VKR** с давлением на входе 6 бар и давлением на выходе 3 бара. Т.е.  $\Delta P = 6 - 3 = 3$  бара.

Согласно [26],

$$K_{v100} = Q \times (\rho/\Delta P)^{0,5} = 300 \times (1/3)^{0,5} = 300/0,63 = 173,21 \text{ л/мин.}$$

Для подобных расчётов можно воспользоваться онлайн-калькулятором на веб-сайте компании **Aliaxis**.

В соответствии с вычисленным значением  $K_{v100}$  по характеристической кривой кранов **FIP VKR** из Каталога продукции определим необходимый DN. Очевидно, что нужно выбирать значение DN так, чтобы его пропускная способность была выше рассчитанного значения  $K_{v100}$ , а процент открытия крана для этого  $K_{v100}$  находился в линейной части характеристической кривой.

Таб. 2.24. Значения  $K_{v100}$  для шаровых кранов серии **FIP VKR**

DN	10	15	20	25	32	40	50
$K_{v100}$ , л/м	83	88	135	256	478	592	1068

В рассматриваемом примере  $K_{v100} = 173,21$  л/мин, следовательно, рекомендуется использовать кран с DN не менее 25, поскольку для него, как видно из таблицы  $K_{v100} = 256$  л/мин.

Следующий шаг – найти значение  $K_{v\%}$ , просто определив соотношение между рассчитанным значением  $K_{v100}$  и значением, соответствующим DN 25.

$$K_{v\%} = 173,21/256 = 0,676 = 67,6\%$$

Теперь с помощью характеристической кривой для выбранного крана (см. Рис. 2.37) легко найти степень открытия, соответствующую  $K_{v\%} = 67,6\%$ . Она составляет приблизительно 65°.

Важно отметить, что найденное значение расположено в центральной, линейной, области кривой, что позволяет иметь запас для увеличения или уменьшения расхода.

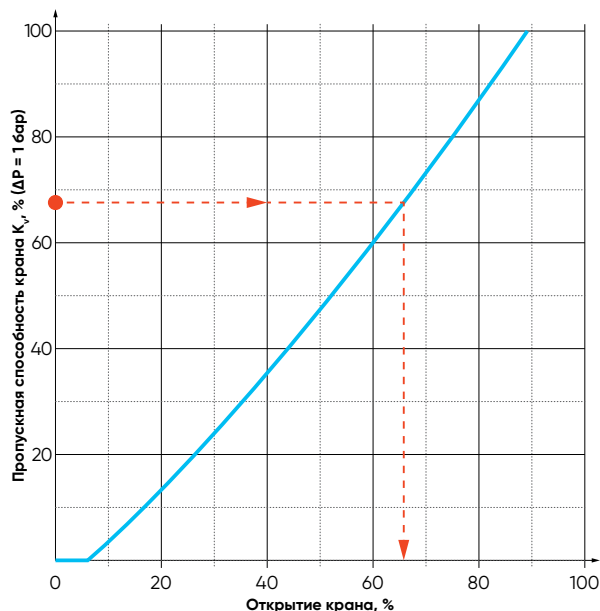


Рис. 2.37. Характеристическая кривая открытия шарового крана **FIP VKR DN25**

## 2.4.5. Пульсации давления

### ► Явление гидроудара

Гидравлический удар — это термин в гидравлике, используемый для описания мгновенного повышения давления в трубе, когда поток быстро останавливается или запускается. Фактически, когда выполняется быстрое регулирование, приводящее к такому же быстрому уменьшению или увеличению расхода жидкости, генерируется возмущение в виде постепенно затухающей волны давления, которая, распространяясь по трубопроводу, динамически воздействует на его стенки.

Необходимо отметить, что гидравлический удар — это не только системная проблема, но и проблема безопасности, так как в дополнение к обычным случаям разрыва и обрыва труб гидроудар способен привести к катастрофическим последствиям.

Наиболее частыми причинами гидроудара, который может привести к значительному повреждению соединений, запорной арматуры, измерительного оборудования и насосов, обычно являются:

- быстрое закрытие отсечной запорной арматуры;
- внезапное прекращение электропитания насосного оборудования;
- включение насосного оборудования.

Чтобы свести к минимуму вероятность повреждения от гидравлического удара, необходимо хорошо продумать правильную конструкцию системы.

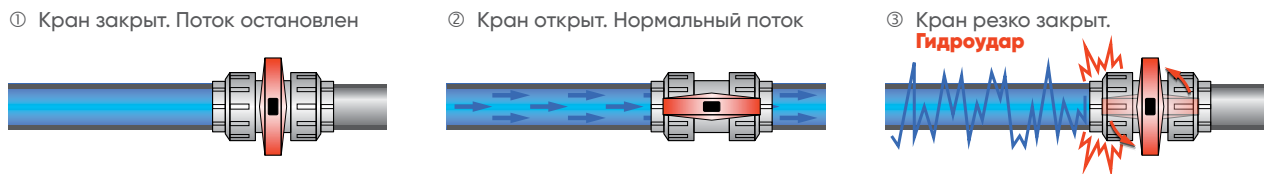


Рис. 2.38. Явление гидроудара из-за резко закрытого крана

Следующие рекомендации могут помочь избежать проблем:

- в любой системе трубопроводов, включая пластиковые, если скорость жидкости не превышает 1,5 м/с, явления гидроудара практически не отмечается, даже при использовании быстро срабатывающей запорной арматуры;
- использование автоматических приводов с определённым временем открытия-закрытия уменьшает вероятность непреднамеренного слишком быстрого открытия или закрытия арматуры;
- следует оценить расход во время включения и выключения насосного оборудования, а также объём воздуха, возможно попадающий в систему во время запуска;
- если это возможно, следует частично перекрывать запорную арматуру в нагнетательной линии во время запуска насосного оборудования, минимизировав поступление жидкости в систему. Как только насосное оборудование войдёт в стабильный режим работы, а система заполнится жидкостью, запорную арматуру на нагнетательной линии можно полностью открыть;
- следует использовать устройства контроля помпажа насосного оборудования и вертикальные стояки, чтобы обеспечить постепенное накопление жидкости во время выхода насоса на расчётный режим работы. В составе насосного оборудования рекомендуется использовать обратные клапаны, чтобы обеспечить заполненность линии жидкостью.
- следует использовать воздухоотводчики надлежащего размера для контроля количества воздуха, поступающего или выпускаемого во всей системе.

Для оценки воздействия гидравлического удара используется математическая модель, основанная на теории распространения звуковой волны в жидкой среде, которая учитывает как механические свойства трубы, так и физические характеристики движущейся жидкости.

Как следует из формулы [30], скорость волны давления  $V_{pw}$ , вызванной мгновенной остановкой потока, зависит от модулей упругости как жидкости, так и материала трубопровода, а также от соотношения между толщиной стенки и внутренним диаметром трубы.

$$V_{pw} = \sqrt{\frac{K}{\rho \times \left(1 + \frac{K \times D_i}{t \times E}\right)}} \quad [30], \text{ где}$$

- $V_{pw}$  – скорость волны давления (м/с);
- $K$  – объёмный модуль упругости жидкости (Па);
- $\rho$  – плотность перекачиваемой жидкости (кг/м<sup>3</sup>);
- $E$  – модуль упругости стенки трубы (Па);
- $D_i$  – внутренний диаметр трубы (мм);
- $t$  – толщина стенки трубы (мм).

После расчёта скорости движения волны давления, следует определить возможность системы выдержать гидравлический удар.

Максимальное изменение давления, которое может повлиять на систему, при вычисленном  $V_{pw}$ , рассчитывается по следующей формуле:

$$\Delta P = V_{pw} \times (V_1 - V_2) \times (\rho/1000) \quad [31], \text{ где}$$

- $\Delta P$  – максимальное изменение давления (бар);
- $V_{pw}$  – скорость волны давления (м/с);
- $V_1$  – скорость движения жидкости до гидроудара (м/с);
- $V_2$  – скорость движения жидкости после гидроудара (м/с);
- $\rho$  – плотность перекачиваемой жидкости (кг/м<sup>3</sup>).

Соответственно, минимальное и максимальное давление в системе рассчитывается по формуле:

$$P_{max} = P + \Delta P \quad [32a]$$

$$P_{min} = P - \Delta P \quad [32b], \text{ где}$$

- $P_{max}$  – максимальное давление (бар);
- $P_{min}$  – минимальное давление (бар);
- $P$  – рабочее давление в системе (бар);
- $\Delta P$  – изменение давления после гидроудара (м/с).

Важно подчеркнуть, что при одной и той же перекачиваемой жидкости различные конструкционные материалы подвергнутся различному избыточному давлению: при одинаковом стандартном размерном соотношении (SDR) термопластичные материалы, характеризующиеся низким модулем упругости, испытают меньшее повышение давления по сравнению с традиционными конструкционными материалами, что видно из нижеследующей таблицы.

Таб. 2.25. Значения  $D_p$  для различных конструкционных материалов трубопровода

Материал	НПВХ	ПП	Чугун	Сталь
DN (мм)	100	100	60	100
$D_i$ (мм)	93,6	90,0	48,0	94,3
$D_p$ (м.с.а.)	73	57	201	207

Зная максимальное давление, которое система может выдержать без разрушения, можно рассчитать максимальный коэффициент безопасности ( $C_{max}$ ) и сравнить его с минимальным коэффициентом безопасности ( $C_{min}$ ) для каждого материала, описанного в предыдущих главах.

Следующая формула является обратной формуле, которая использовалась ранее для расчёта давления внутри системы ([5]), поэтому:

$$C_{max} = (20 \times \sigma) / (P_{max} \times (SDR - 1)) \quad [33], \text{ где}$$

- $C_{max}$  – максимальный коэффициент безопасности;
- $\sigma$  – расчётная (проектная) нагрузка (Н/мм<sup>2</sup>);
- $P_{max}$  – максимальное давление в системе (бар);
- SDR – стандартное размерное соотношение.

Что касается расчётного коэффициента  $C$ , в случае, если гидроудар – не частое явление, в расчётах можно использовать значение  $C_{\min}$  для каждого материала, как это было указано выше. Если гидроудары – явление регулярное, расчётный коэффициент  $C_{\max}$  следует выбрать не менее, чем  $C_{\min}$  ( $C_{\min} = 3$ ).

Разумеется, если  $C_{\max}$  больше  $C_{\min}$  ( $C_{\min} = 3$ ), он подходит для расчётов избыточного давления в системах с периодическими гидроударами.

Если коэффициент безопасности  $C$  не соответствует ни одному из этих критериев безопасности, то необходимо пересмотреть размеры системы.

Время распространения фронта гидроудара имеет важнейшее значение при расчёте избыточного давления. Фактически максимальное избыточное давление возникает, когда время остановки потока (например, время закрытия крана), меньше или равно времени распространения гидроудара  $t_c$ . Значение  $t_c$  может быть рассчитано по следующей формуле:

$$t_c = (2 \times L) / V_{pw} \quad [34], \text{ где}$$

- $t_c$  – время распространения фронта гидроудара (с);
- $L$  – длина трубы (м);
- $V_{pw}$  – скорость распространения ударной волны (м/с).

Для запорной арматуры с временем закрытия  $t \leq t_c$  такое закрытие определяется как «внезапный манёвр». Оно вызывает гидравлический удар максимальной интенсивности. Наоборот, если время закрытия запорной арматуры  $t > t_c$ , то такой процесс можно определить как «медленный манёвр». Он или не вызывает гидроудара вовсе, или гидроудар вызывает лишь незначительное повышение давления.

Если нет возможности рассчитать значения всех переменных, входящих в предыдущие формулы, оценить избыточное давление, вызванное гидравлическим ударом, можно по следующей формуле:

$$\Delta P = 0,1 \times (2 \times V \times L / g \times t_c) \quad [35], \text{ где}$$

- $\Delta P$  – максимальное избыточное давление (бар);
- $V$  – скорость потока в момент закрытия (м/с);
- $L$  – длина трубы (м);
- $g$  – ускорение свободного падения, 9,81 м/с<sup>2</sup>;
- $t_c$  – время распространения фронта гидроудара (с).

Тогда максимальное давление в системе  $P_{\max}$  можно рассчитать по формуле:

$$P_{\max} = P_i + \Delta P = P_i + 0,1 \times (2 \times V \times L / g \times t_c) \quad [36], \text{ где}$$

- $P_{\max}$  – максимальное давление в системе (бар);
- $P_i$  – входное давление (бар);
- $\Delta P$  – максимальное избыточное давление (бар);
- $V$  – скорость потока в момент закрытия (м/с);
- $L$  – длина трубы (м);
- $g$  – ускорение свободного падения, 9,81 м/с<sup>2</sup>;
- $t_c$  – время распространения фронта гидроудара (с).

## ► Кавитация

Кавитация получила свое название от наличия макроскопических полостей (каверн) возникающих внутри движущегося потока несжимаемой жидкости при определенных условиях.

Явление кавитации в жидкости возникает тогда, когда по некоторым причинам локальное давление в некоторой точке потока внезапно падает ниже соответствующего значения давления паров жидкости и растворённых в ней газов, вследствие чего жидкость испаряется и образуются пузырьки пара и газа.

Все это усугубляется тем фактом, что в растворённых в жидкости газах содержится больше кислорода в процентном отношении, чем в воздухе, и поэтому газы в пузырьках при кавитации химически более агрессивны, чем атмосферный воздух: в итоге они вызывают окисление многих обычно инертных материалов.

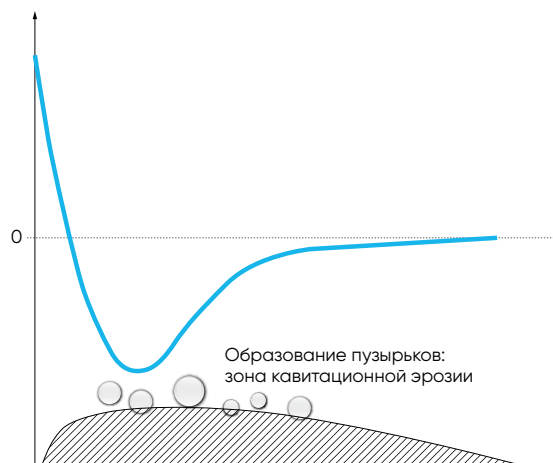


Рис. 2.39. Процесс возникновения кавитации

Чем больше падение давления, тем интенсивнее процесс кавитации; следовательно, тем меньше становится сечение для прохода потока. Кроме того, скорость потока увеличивается, и это вызывает дальнейшее снижение давления, тем самым способствуя усилению явления, которое является его источником. Поэтому можно говорить о том, что кавитация является самоподдерживающимся процессом.

В основном, кавитация может начаться по двум причинам:

- профиль твёрдого тела, погруженного в поток, приводит к локальному снижению давления;
- снижение давления из-за внезапного прерывания потока и последующего сильного самоподдерживающегося процесса образования пузырьков.

Поэтому кавитация может возникать, например, на концах лопастей гидравлических турбин или насосов или в трубе с сужением, в которой, согласно теореме Бернулли, увеличение скорости приводит к уменьшению давления.

Явление кавитации вызывает многочисленные вибрации и удары, которые подвергают стенки интенсивным усталостным нагрузкам и приводят к эрозии или деформации материала.

Следует отметить, что в общем случае эрозия пластиков в результате воздействия кавитации сильно отличается от той, которая появляется на изделиях из металла. Основное различие связано с поверхностью изделий: металлы, имеющие неровную и шероховатую поверхность, легче удерживают загрязнения и, следовательно, повышают риск коррозии.

В металлах легко возникает точечная (или питтинговая) коррозия. Явление заключается в образовании на поверхности отдельных ямок (язв) неправильной формы. Их диаметр и глубина зависит от нескольких параметров, которые связаны с химическим составом и чистотой металла, коррозионной среды и условий эксплуатации. Эти ямки пронизывают материал и, сливаясь по мере роста, создают очень большие каверны.

Поверхность же пластиков, будучи очень гладкой и не имеющей углублений, в которых может возникнуть локальная эрозия, не вызывает подобных явлений. Зато агрессивная химическая среда приводит к явлениям ползучести, т.е. к возникновению трещин, распространяющихся внутрь материала.

Процесс разложения пластика состоит в основном из изменения его свойств: прочности на разрыв, цвета и формы, под воздействием одного или нескольких факторов окружающей среды, (тепло, свет, химические реагенты).

Пузырьки газа, возникшие в результате кавитации, покидают зону низкого давления и переносятся потоком в зону более высокого давления, постепенно сжимаются и схлопываются. В результате высвобождается значительная энергия в виде ударной волны или кинетической энергии жидкости. Поэтому схлопывание пузырьков газа вблизи стенок приводит к их эрозии, которая может иметь значительные масштабы.

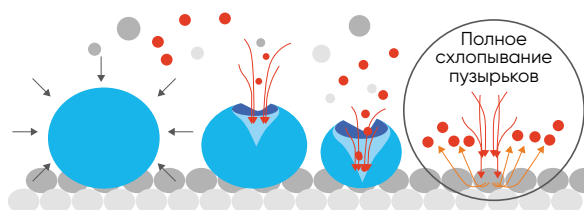


Рис. 2.40. Процесс схлопывания кавитационных пузырьков



Кавитация является широко распространённым явлением в запорной арматуре из-за того, что в зависимости от положения запорного элемента могут создаваться «узкие места», где скорость потока возрастает, а давление, соответственно, уменьшается.

И если в точке минимального сечения давление потока станет ниже давления газа (пара), начинается процесс кавитации. Следовательно, начинается и процесс эрозии шара шарового крана, седла мембранного клапана или диска дискового затвора. Помимо этого, ввиду большого количества газовых пузырьков, скорость потока не увеличивается и возникает своего рода «засор».

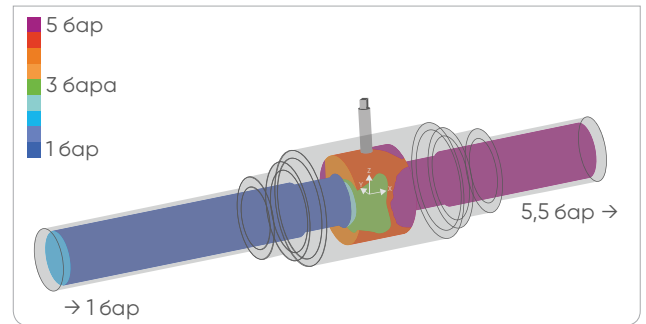


Рис. 2.41. Распределение давления в шаровом кране

После того, как поток преодолевает узость, его скорость уменьшается, а давление и площадь самого потока увеличиваются. И когда давление становится выше давления газа (пара), начинается процесс схлопывания. Но если давление (например, на выходе из клапана) всё ещё остается ниже давления газа (пара), поток на выходе по-прежнему будет представлять собой парогазовую смесь.

Как правило, после некоторого времени эксплуатации у запорной арматуры, подвергающейся кавитации, внутренние стенки становятся очень неровными, шероховатыми и изъедёнными.

На Рис. 2.41 можно увидеть изменения давления внутри шарового крана (численное моделирование), которые могут вызвать явления кавитации (высокая скорость потока и незначительное открытие крана).

Чтобы предотвратить возникновение кавитации, необходимо провести тщательное проектирование системы с учётом нескольких факторов:

- **давление паров перекачиваемой жидкости.** Следует выбирать запорную арматуру, внутри которой давление потока даже в самой зауженной части остаётся выше давления газа (пара);
- **положение клапана.** Чем выше по потоку расположена запорная арматура, тем ниже риск того, что давление потока в ней упадёт ниже давления газа (пара);
- **утечки в закрытой арматуре.** Необходимо избегать утечек, которые могут возникнуть в закрытой арматуре, так как жидкость в этом случае, быстро переходящая из области высокого давления в область низкого давления, может инициировать процесс кавитации;
- **скорость потока и материал системы.** Риск возникновения кавитации возрастают с увеличением объёмного расхода, а вероятность повреждения клапана зависит от материала, из которого он изготовлен.

**Для получения помощи и консультаций рекомендуется связаться с ближайшим представительством компании Aliaxis.**

## 2.5. Особенности подбора запорной арматуры

Запорная арматура выполняет функции перекрытия или регулирования потока перекачиваемой среды в трубопроводах, о чём говорилось в предыдущих разделах. Запорная арматура изготавливается из различных полимеров в различных типах и моделях в зависимости от способа применения. Поэтому крайне важно выбирать модели, наиболее подходящие к планируемым условиям эксплуатации.

В этом разделе будут даны рекомендации по выбору правильной запорной арматуры, исходя из типа перекачиваемой жидкости, механических нагрузок в системе (вызванных, например вибрацией или тепловым расширением), соображений безопасности, а также в зависимости от того, требуется ли упрощённое или очень точное регулирование потока.

### 2.5.1. Характеристики перекачиваемой среды

Для правильного подбора запорной арматуры необходимо тщательно изучить характеристики перекачиваемой среды. Чистые среды обычно допускают широкий выбор типов арматуры, в то время как для загрязнённых сред выбор обычно ограничен.

К «чистым условиям» относятся среды, не содержащие твёрдых частиц или подобных загрязнений. К «чистым» средам можно отнести чистый воздух, азот и другие промышленные газы, пар, питьевую и обессоленную воду, смазочные масла, бензин и дизельное топливо, метанол, большинство химических реагентов, применяемых для дозирования и введения на тех или иных стадиях технологических процессов. «Чистые» среды, как правило, оказывают меньшее воздействие на арматуру, чем «грязные», обеспечивая её длительную эксплуатацию и надёжность.

К «грязным условиям» относят среды с взвешенными твёрдыми частицами, которые могут сильно ухудшить производительность запорной арматуры, если она подобрана неправильно. Такие среды ещё называют абразивными.

«Абразивными условиями», таким образом, называют работу со средами, переносящими абразивные частицы по трубопроводным системам. Абразивами являются ржавчина, окалина, сварочный шлак, песок, мелкие частицы катализаторов.

«Абразивные условия» обычно возникают во время строительных работ, промывки и очистки линий.

«Песчаные условия» — это термин, обозначающий тяжёлые абразивные и способствующие сильной эрозии условия, возникающие при добыче нефти и газа: пластовый песок вместе с потоком активно выносится из скважины.

При высоком перепаде давления на арматуре и при высокой скорости потока может происходить сильная эрозия запорных элементов, уплотнительных прокладок и корпусов.

Необходимо помнить, что шаровые краны рекомендуются только для «чистых условий». Они непригодны для других условий эксплуатации, поскольку твёрдые частицы склонны задерживаться вокруг шара, вызывая эрозию.

Для работы с агрессивными, эрозионными и грязными средами идеально подходят мембранные клапаны.

В соответствии с нуждами технологического процесса для перекачки суспензий, вязких и агрессивных жидкостей мембраны клапанов могут изготавливаться из различных материалов: EPDM, FKM или PTFE.

Очевидно, что мембраны клапанов являются расходным материалом. Они подвержены износу и усталости, поэтому клапаны при использовании требуют регулярного технического обслуживания.

Дисковые затворы могут применяться как для «чистых», так и для «грязных» условий. Однако следует правильно выбирать положение затвора. Например:

- при работе с «чистыми» средами положение штока не имеет значения;
- при работе с «грязными» средами рекомендуется располагать затвор так, чтобы шток был параллелен опоре трубы или составлял с ней угол в 45°. Это нужно для того, чтобы избежать скопления отложений в основании диска, что и показано на Рис. 2.43.



Рис. 2.42. Механический фильтр FIP RV

Кроме того, для удаления твёрдых частиц рекомендуется использовать механический фильтр **FIP RV** (см. Рис. 2.42). Внутри имеется сетка, которую легко снимать для периодической очистки или замены.

В некоторых случаях, когда перекачиваемой средой являются летучие вещества (например, гипохлорит натрия или перекись водорода), следует использовать шаровые краны, оснащённые вентиляционным отверстием. Оно выполнено в виде углубления сбоку шара. Когда кран закрыт, среда попадает внутрь шара (см. Рис. 2.44). Следует, однако, учитывать, что если кран редко используется, попавшие внутрь шара вещества могут начать разлагаться, особенно если кран подвергается нагреву.

Например, когда разлагается гипохлорит натрия, выделяется кислород, с соответствующим увеличением объёма. Внутри шара повышается давление, что может вызвать разрушение крана или даже его взрыв.

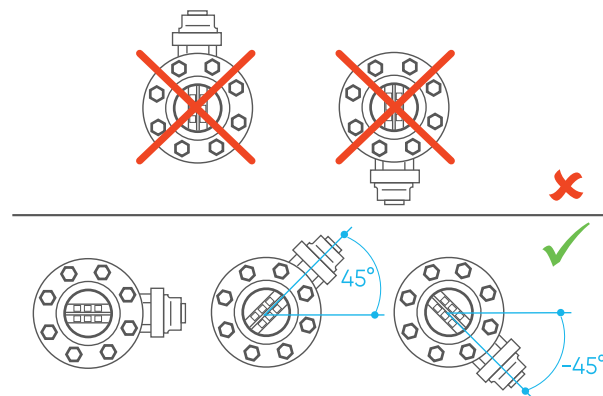


Рис. 2.43. Недопустимое и правильное положение дискового затвора при работе с «грязными» средами

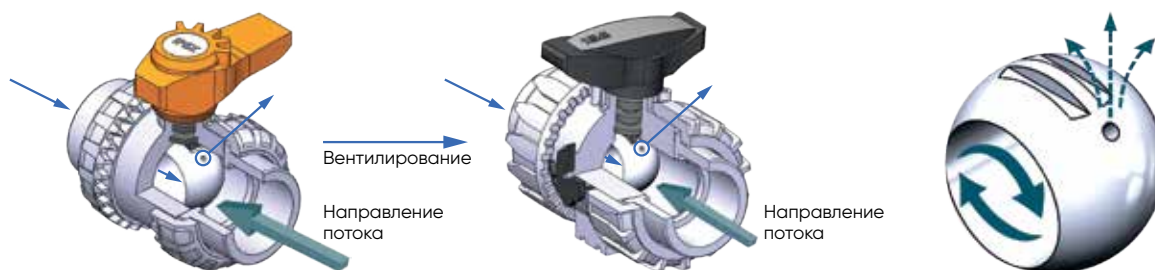


Рис. 2.44. Шаровой вентилируемый кран **FIP VKD**

Для заказа шаровых кранов с функцией вентиляции следует обратиться в представительство компании **Aliaxis**.

## 2.5.2. Механические нагрузки и вибрация

При выборе запорной арматуры всегда необходимо учитывать общие механические проблемы, которые могут возникать в системах: локальные нагрузки, тепловое расширение, вибрации, которые влияют на правильное функционирование всех компонентов системы.

Чтобы свести к минимуму эти проблемы, в компании **FIP** разработано несколько систем и специальных функций, которыми оснащена запорная арматура. Основные из них описаны ниже.

### ► Система **DUAL BLOCK®**



**DUAL BLOCK®** — это запатентованная система двойного крепления накидных гаек шарового крана, разработанная компанией **FIP**. Устройство накидной гайки допускает её вращение только по часовой стрелке при установке и предотвращает самопроизвольное раскручивание (см. Рис. 2.45 и Рис. 2.46).

Когда кран смонтирован и накидные гайки затянуты, система **DUAL BLOCK®** предотвращает их случайное раскручивание. Таким образом краны **FIP** серии **VKD** отлично подходят для тяжёлых условий эксплуатации, когда вибрации, колебания давления или тепловое расширение могли бы повлиять на работу обычных кранов.

Система **DUAL BLOCK®** позволяет устанавливать шаровые краны на химических заводах и линиях транспортировки опасных жидкостей, сочетая гибкость и простоту монтажа.



Рис. 2.45. Шаровой кран FIP VKD с системой DUAL BLOCK®

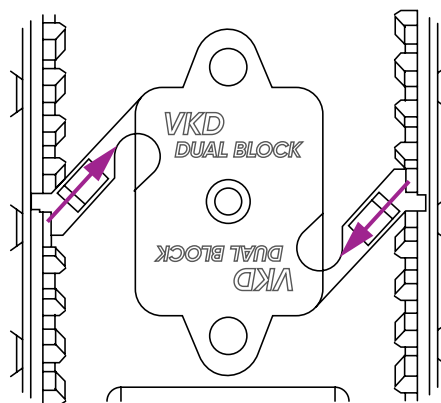


Рис. 2.46. Принцип работы системы DUAL BLOCK®

Для труб с номинальным диаметром менее 63 мм демонтаж крана из трубопровода прост. Следует отсоединить систему DUAL BLOCK® (см. Рис. 2.48, поз. 1 и 2), снять её и ослабить накидные гайки, повернув их против часовой стрелки.

Краны типоразмера DN65...DN100 демонтируются так, как показано на Рис. 2.48, поз. 3 и 4. Следует повернуть запорную ручку влево до стрелки на корпусе. Система DUAL BLOCK® разблокируется и накидные гайки крана могут свободно вращаться в любом направлении.

Когда запорная ручка переведена в крайнее правое положение, система DUAL BLOCK® включается и накидные гайки крана фиксируются в заданном положении.

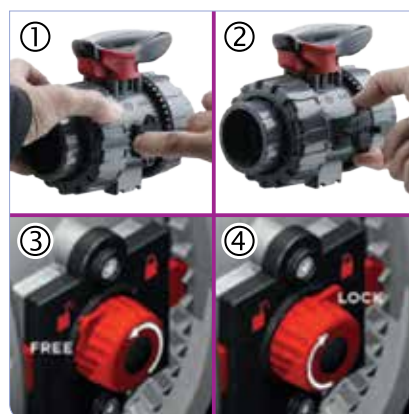


Рис. 2.48. Включение и выключение системы DUAL BLOCK®

#### ► Система DIALOCK®

Система DIALOCK® представляет собой инновационную ручку управления запорной арматурой, оснащённую запатентованным эргономичным механизмом её блокировки в заданном положении.

Ручка управления и крышка изготовлены из теплопроводящего полипропилена (PP-GR), обладающего значительной механической и химической стойкостью. Это гарантирует полную защиту и изоляцию всех внутренних металлических частей от контакта с внешней средой.

После достижения нужного положения ручка блокируется простым поднятием, как показано на Рис. 2.47 мембранного клапана FIP DK. Для разблокировки на ручку следует просто нажать.



Рис. 2.47. Принцип работы системы DIALOCK®

#### ► Система SEAT STOP®

Шаровые краны FIP серии VKD и TKD оснащены запатентованной системой SEAT STOP® (см. Рис. 2.49).

Опора шара в кране изготовлена из двух частей: наружная деталь с резьбой служит для сборки крана, вторая внутренняя деталь служит для удержания уплотнений. Такая опора позволяет выполнять микрорегулировку уплотнений и минимизировать влияние осевого давления.

Поскольку любое случайное ослабление опоры шара невозможно, радиальное извлечение корпуса крана может быть выполнено совершенно безопасно.

Опора шара может быть извлечена только с помощью специального инструмента, который хранится в ручке крана.



Рис. 2.49. Принцип работы системы SEAT STOP®

► Шток из нержавеющей стали 316

Дисковые затворы **FIP FK** (см. Рис. 2.50) комплектуются штоком из нержавеющей стали AISI 316. В клапанах этой серии шток полностью изолирован от перекачиваемой среды. Основные преимущества использования штока из нержавеющей стали заключаются в его улучшенных механических характеристиках.

**2.5.3. Безопасность**

Для повышения безопасности работ на предприятиях, особенно имеющих дело с опасными веществами, следует использовать надлежащую систему маркировки запорной арматуры, которая позволяет однозначно идентифицировать среду, проходящую через арматуру или необходимые условия эксплуатации того или иного элемента трубопроводной системы. Также следует выбирать арматуру, специально спроектированную для подобных условий.



Рис. 2.50. Дисковый затвор FIP FK со штоком из нержавеющей стали AISI 316

К основным особенностям подобной арматуры можно отнести следующее.

► Система маркировки LCE EASY FIT®

Часто возникает необходимость маркировать арматуру. Специально созданная система содержит этикетки, вставляемые в рукоятку. Такая система позволяет идентифицировать тот или иной элемент в соответствии с принятыми на предприятии правилами: например, название перекачиваемой жидкости, информацию о правилах обслуживания данного клапана, дата и место установки и так далее (см. Рис. 2.51, слева). Модуль LCE состоит из жёсткого колпачка из прозрачного влагостойкого ПВХ (поз. А на Рис. 2.51) и белой бирки (поз. Б на Рис. 2.51) из того же материала. Бирка легко снимается; на неё наносится необходимая информация. Модулем LCE EASY FIT® снабжаются шаровые краны **FIP** моделей VEE, VXE, SXE, дисковые затворы **FIP** моделей FE, и FK, а также шаровые краны **FIP** больших типоразмеров моделей VKD DUAL BLOCK®.

Мембранный клапан **FIP DK** (см. Рис. 2.52) оснащён специальной биркой для нанесения необходимой информации. На корпусе клапана (см. Рис. 2.52) есть специальное отверстие для крепления идентификационной бирки.

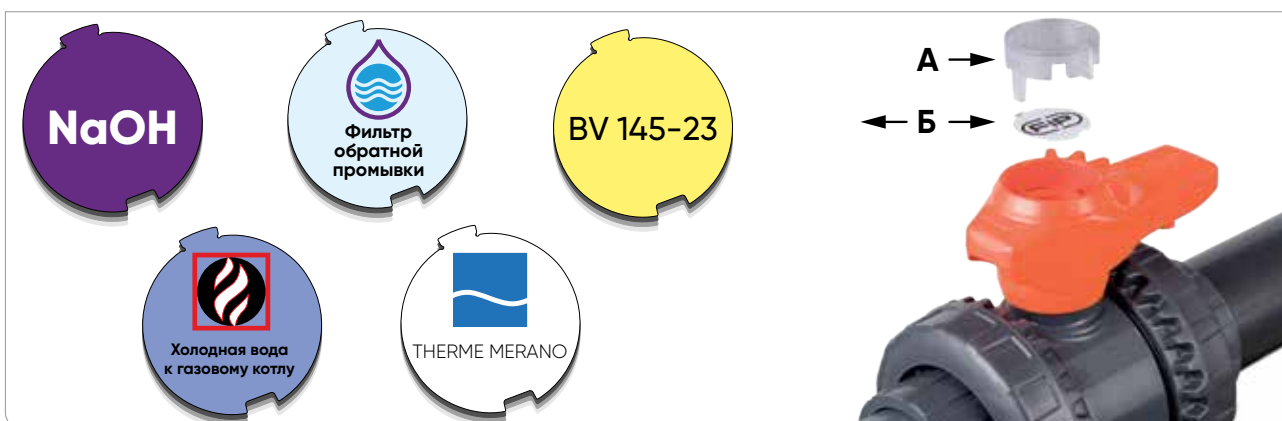


Рис. 2.51. Информационные бирки и модуль LCE EASY FIT®





Рис. 2.52. Мембранный клапан FIP DK с информационными бирками

► **Двойное уплотнение штока**

Промышленные шаровые краны **FIP** (модели VKD, VXE и VKR) имеют шток высокой чистоты обработки с двойным уплотнительным кольцом. Модели VKD и VKR кроме того снабжены описанной выше системой DUAL BLOCK®.

Уплотнения выполнены из EPDM или FKM. Фторопласт известен своей устойчивостью к высоким температурам, а уплотнения из EPDM прекрасно противостоят повышенному давлению.

► **Система DUAL BLOCK®**

Будучи включенной, эта система допускает вращение накидных гаек только по часовой стрелке, т.е. предотвращает их самопроизвольное ослабление и, следовательно, снижает риск возможных утечек. Таким образом, повышается общая безопасность систем, перекачивающих опасные жидкости.

Для получения дополнительной информации следует обратиться к методике выбора запорной арматуры в соответствии с потребными механическими нагрузками.

**2.5.4. Несанкционированный доступ**

Чтобы предотвратить возникновение проблем, связанных с безопасностью объекта, например, несанкционированный доступ или нежелательное вмешательство в работу системы, рекомендуется подбирать специально спроектированную арматуру с запатентованной системой DIALOCK®.

► **Система DIALOCK®**

Эта система может быть очень полезной: после установки рукоятки в нужном положении простым поднятием маховичка она блокируется. Помимо этого предусмотрены специальные ушки для навесного замка, предотвращающего разблокировку арматуры (см. Рис. 2.53).

Для получения дополнительной информации следует обратиться к методике выбора запорной арматуры в соответствии с потребными механическими нагрузками.



Рис. 2.53. Шаровой кран FIP VKD и мембранный клапан FIP DK с системой запираения рукоятки



## 2.5.5. Простой монтаж

### ► Система EASY FIT®



Компания **FIP** совместно с **Giugiaro Design** разработала и внедрила систему EASY FIT® для шаровых кранов моделей VEE и VXE. В этой инновационной системе с коническим зубчатым зацеплением используется усовершенствованный метод установки, обеспечивающий долгую бесперебойную работу крана.

Коническая зубчатая пара управляет вращением и затяжкой накидных гаек во время монтажа клапана. Ввиду значительного понижающего коэффициента этой зубчатой пары можно очень аккуратно затянуть накидные гайки без чрезмерной нагрузки на резьбу и соединительные муфты (см. Рис. 2.54).

Механизм EASY FIT® очень полезен при монтаже и дальнейшем обслуживании запорной арматуры, особенно в ограниченном пространстве, поскольку сам шток крана является одной из осей конической пары. Кроме того, механизм EASY FIT® позволяет осуществить постепенное сжатие уплотнительных прокладок и избежать перетяжки резьбы, что может привести к повреждению накидных гаек и неизбежным утечкам. При монтаже нет необходимости использовать дополнительный инструмент.

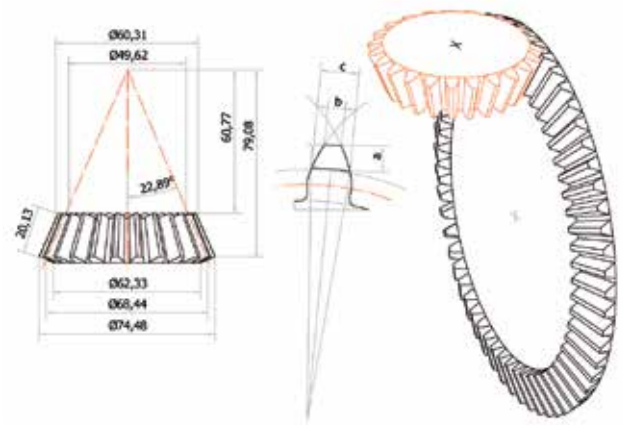


Рис. 2.54. Принцип работы системы EASY FIT®

Ручку также можно использовать для регулировки держателя седла шара (см. Рис. 2.55).



Рис. 2.55. Регулировка держателя седла системы EASY FIT®

Компания **FIP** расширила линейку кранов, дополнив ассортимент шаровыми кранами DN65...DN100. В этих моделях рукоятка состоит из муфты, соединённой со штоком шара, а также собственно двуручной рукоятки, которая легко снимается с муфты штока. Внутри ручки расположен специальный ключ с зацепом для затяжки накидных гаек. Использование этого специально разработанного инструмента гарантирует правильную и аккуратную затяжку уплотнительных колец, исключая повреждение накидных гаек. Такое повреждение легко может быть нанесено неподходящим инструментом. Конструкция вставки идеально прилегает к профилю накатки накидных гаек, создавая надёжный захват и высокий крутящий момент.

Кроме того, рукоятка может быть использована в качестве ключа для работы с гайками крепления шара (см. Рис. 2.56). Для этого необходимо снять муфту со штока, вставить её в рукоятку и использовать в качестве своего рода «отвёртки» для монтажа-демонтажа или регулировки гаек крепления опоры шара. Этот инструмент чрезвычайно лёгок, прочен и эргономичен, поскольку был спроектирован специально для данного вида арматуры.



Рис. 2.56. Использование рукоятки в качестве ключа для работы с гайками крепления шара и регулировки

### 2.5.6. Точное регулирование

#### ► Кран модели VKR DUAL BLOCK®

Клапаны **FIP DUAL BLOCK®** серии VKR сочетают в себе надёжность и безопасность полнопроходных шаровых кранов VKD, но кроме того снабжены функцией точного и плавного регулирования расхода. Эта функция отвечает самым строгим требованиям промышленного применения.

Запатентованная конструкция обеспечивает линейное регулирование расхода во всём диапазоне работы крана даже тогда, когда он открыт всего на несколько градусов, и гарантирует минимальные потери давления.

Одной из главных характеристик этой модели является ручка, снабжённая диском, показывающим положение шара по градуированной шкале с шагом 5°, что обеспечивает точное и лёгкое считывание (см. Рис. 2.57).



## 2.6. Удаление газов из трубопровода

Газы внутри трубопроводной системы иногда могут создавать проблемы. В этой главе рассмотрены причины появления воздуха (газов) в системе и методы их устранения.

### 2.6.1. Воздух в трубопроводной системе: источники и причины

Захваченный воздух в напорной трубопроводной системе – это тщательно изучаемая тема. Необходимо понимать все последствия этого иногда катастрофического явления и знать методы, если и не устраняющие проблему целиком, но как минимум смягчающие её последствия.

В любой трубопроводной системе потенциально существует несколько источников попадания воздуха.

Первый очевидный источник – момент заполнения трубопровода жидкостью: первично или после слива. В некоторых системах воздух накапливается каждый раз, когда отключаются насосы и жидкость из системы сливается через низко расположенные разбрызгиватели или открытую запорную арматуру.

Воздух часто подсасывается в систему в месте, где в систему подаётся вода. Это характерно как для безнапорных систем, так и для систем с насосным оборудованием. Например, воздух всегда попадает в систему из глубоких скважин.

Менее очевидный источник – выделение растворённых в жидкости газов из-за изменения температуры и/или давления. Их объём невелик, но имеет тенденцию со временем накапливаться и начать создавать проблемы

Достаточно часто воздух попадает в систему через воздухоотводчики и прерыватели вакуума в случае, если давление в системе по какой-то причине (например, внезапное отключение насоса) падает ниже атмосферного.



Рис. 2.57. Кран шаровой модели VKR DUAL BLOCK® с системой точного регулирования

В статических условиях или при низком расходе в трубопроводной системе воздух имеет тенденцию скапливаться в высоких точках, создавая воздушные пробки и препятствуя движению потока. Таким образом, эти воздушные карманы вызывают ограничения потока, которые снижают эффективность и производительность системы. Воздушные карманы сами по себе являются проблемой, однако более серьезные последствия может представлять сам выходящий из системы под давлением воздух.

При давлении в 7 бар вода примерно в пять раз плотнее воздуха. Поэтому когда поток сжатого воздуха достигает, например, спринклерной головки или выпускного клапана, он покидает систему очень быстро (примерно в пять раз быстрее, чем вода). И на освободившееся место столь же быстро поступает жидкость. Достигнув выходного отверстия, скорость этой жидкости резко уменьшается, т.е. ситуация подобна мгновенному закрытию клапана (крана). В Colorado State University (Университет Колорадо, США) исследовалось явление выхода воздуха под давлением из трубопроводной системы. Было отмечено скачки давления, в 15 раз превышающие рабочее.

Эти скачки давления, будучи регулярными, неизбежно ослабляют или выводят из строя всю систему.

### 2.6.2. Удаление захваченного системой воздуха

Очевидно, что лучшим способом уменьшить проблемы, вызванные захваченным воздухом, было бы предотвратить его попадание в систему. Когда происходит заполнение системы жидкостью, первичное или после ремонта или обслуживания, следует регулировать поток так, чтобы его скорость не превышала 0,3 м/с. Воздух следует своевременно выпускать из самых верхних точек системы до того, как в системе будет создано давление. Однако даже с соблюдением этих мер воздух в системе всё-таки может оставаться или непрерывно возникать в результате описанных выше причин.

Чтобы бороться с этим явлением, в систему следует встраивать отводчики воздуха. Конечно, можно ограничиться ручными вентилирующими шаровыми кранами. Однако они справляются с завоздушиванием лишь на этапе заполнения системы. Кроме того, такие краны (например, краны Маевского) неизбежно служат источником утечек и разливов перекачиваемой среды, т.е. приводят к загрязнению рабочих площадей и, возможно, даже к травмам обслуживающего персонала.

Таким образом, единственным эффективным средством борьбы с завоздушиванием является использование автоматических воздухоотводчиков непрерывного действия. Автоматические воздухоотводчики непрерывного действия содержат поплавковый механизм, позволяющий воздуху (или газу) выходить через небольшое отверстие, задерживая жидкость. Этот механизм работает даже тогда, когда система находится под давлением.

На рынке доступны приборы, представляющие собой комбинацию воздухоотводчика и прерывателя вакуума. В момент заполнения системы жидкостью прибор работает как воздухоотводчик, т.е. воздух выводится из системы. В момент опорожнения системы прибор работает как прерыватель вакуума. То есть позволяет воздуху проникать в трубу, замещая уходящую жидкость и предотвращая появление потенциально опасного разрежения или вакуума.

Компания **Aliaxis** предлагает комбинированный воздухоотводчик и прерыватель вакуума **FIP VA** поршневого типа различных типоразмеров. Важно отметить, что функции открытия и закрытия этого «умного» прибора управляются средой, а не давлением, как в подобной арматуре других производителей. Эти функции обеспечивают ряд преимуществ: для открытия или закрытия клапана не требуется минимального давления или вакуума, что гарантирует оперативность в любых условиях и исключает вероятность утечки.

**Внимание.** Клапаны **FIP VA** не могут быть использованы в газопроводах под давлением.



Рис. 2.58. Комбинированный воздухоотводчик и прерыватель вакуума FIP VA

Таб. 2.26. Значения расхода при нормальных условиях ( $P = 1 \text{ атм}$ ,  $T = +20 \text{ °C}$ ) через клапаны **FIP VA**

DN	VA FIP
15	12 Нм <sup>3</sup> /ч
20	23 Нм <sup>3</sup> /ч
25	45 Нм <sup>3</sup> /ч
32	70 Нм <sup>3</sup> /ч
40	90 Нм <sup>3</sup> /ч
50	345 Нм <sup>3</sup> /ч

## 2.7. Проектирование вакуумных систем

В некоторых случаях системы трубопроводов подвергаются воздействию внешнего давления, обычно называемого давлением изгиба. Это происходит, например, когда трубопроводная система погружена в воду, заглублена в грунт или спроектирована для вакуума.

Механическая нагрузка при абсолютном вакууме соответствует дифференциальному частичному вакууму 1 бар, это означает, что давление на внутренней стенке трубы на 1 бар меньше давления на внешней стенке при стандартном атмосферном давлении.

Давление изгиба можно рассчитать по формуле для цилиндрической трубы:

$$P_k = (10 \times E_c) / (4 \times (1 - \mu^2)) \times (t/r)^3 \quad [37], \text{ где}$$

- $P_k$  – критическое давление изгиба (бар);
- $E_c$  – модуль ползучести (Н/мм<sup>2</sup>);
- $\mu$  – коэффициент Пуассона. Для термопластов в течение 25-летнего срока службы обычно  $\mu = 0,4$ ;
- $t$  – толщина стенки трубы (мм);
- $r$  – средний радиус трубы (мм).

Напряжение при изгибе можно рассчитать следующим образом:

$$\sigma_k = P_k \times (r/t) \quad [38], \text{ где}$$

- $\sigma_k$  – напряжение при изгибе (бар);
- $P_k$  – критическое давление изгиба (бар);
- $r$  – средний радиус трубы (мм);
- $t$  – толщина стенки трубы (мм).

Следует отметить, что это формулы для «идеальных» условий. В них не учитывается возможный эксцентриситет и некруглость труб. Для систем, подверженных внешнему давлению, можно использовать только напорные трубы, более тонкостенные трубы не подходят для этих условий.

## 2.8. Проектирование систем для сжатого воздуха

До сих пор в основном рассматривались системы для транспортировки жидкостей. В этой части будут рассмотрены особенности систем для транспортировки газов, в частности, сжатого воздуха.

### ► Что такое сжатый воздух?

Воздух представляет собой смесь газов. В основном он состоит из азота (78%) и кислорода (21%), а также водяного пара, углекислого газа и других газов (1%).

Сжатый воздух – это атмосферный воздух, уменьшенный в объеме с помощью компрессора или насоса и помещенный под давлением внутри резервуара.

Сжимать воздух означает поместить его в меньшее пространство, заставляя молекулы двигаться быстрее и приближая их друг к другу. Воздух как и любые другие газы, не имеет собственной формы, но нацело заполняет любой замкнутый объем (резервуар).

В соответствии с законами, описывающими поведение газов, объем  $V$ , занимаемый воздухом, зависит от его давления  $P$  и температуры  $T$ . В частности, первый закон Гей-Люссака утверждает, что объем газа при постоянном давлении прямо пропорционален его абсолютной температуре:

$$V_1/T_1 = V_2/T_2 \quad [39]$$

Второй закон Гей-Люссака (в русскоязычной литературе он обычно именуется законом Шарля) утверждает, что давление газа при постоянном объеме прямо пропорционально абсолютной температуре газа:

$$P_1/T_1 = P_2/T_2 \quad [40]$$

Закон Бойля–Мариотта утверждает, что при постоянных температуре и массе газа произведение давления газа на его объём постоянно. Если индексом 1 обозначить величины, относящиеся к начальному состоянию газа, а индексом 2 – к конечному, то закон Бойля–Мариотта можно записать в виде:

$$P_1 \times V_1 = P_2 \times V_2 \quad [41]$$

Как видно на Рис. 2.59, при сжатии газа поршнем его объём постоянно уменьшается, а давление постоянно увеличивается; молекулы газа сближаются друг с другом. Скорость движения молекул увеличивается.

Объединив вместе законы [39]...[41], можно утверждать:

$$P_1 \times V_1 / T_1 = P_2 \times V_2 / T_2 \quad [42]$$

Поскольку температура прямо пропорциональна кинетической энергии, движение молекул из-за сжатия вызывает повышение температуры.

Таким образом, энергия, выделяющаяся при сжатии, равна энергии, необходимой для нагнетания воздуха в определённое пространство, поэтому сжатый воздух является отличным средством накопления и передачи энергии.

Сжатый воздух всё чаще используется в обрабатывающей промышленности благодаря своим явным преимуществам (чистоте, гибкости использования, безопасности и экономичности) по сравнению с другими источниками энергии, такими как электрические батареи или пар.

В случаях перегрузки оборудования электропроводка может представлять угрозу безопасности, а инструменты, работающие от сжатого воздуха, могут использоваться в различных условиях, например, во влажных помещениях.

#### ► Системы подачи сжатого воздуха

Любая система сжатого воздуха должна контролироваться, регулироваться и иметь параметры, обеспечивающие подачу достаточного объёма воздуха нужной чистоты при определённом давлении.

Что касается конструкции систем подачи сжатого воздуха (газов), то она значительно отличается от конструкций для перекачки несжимаемых жидкостей. При проектировании трубопроводов для сжатых газов требуется учитывать больше переменных.

В частности, система сжатого воздуха должна проектироваться с учётом не только текущих требований, но и возможных будущих модернизаций. При этом необходимо максимизировать соотношение между стоимостью и эффективностью. Например, перепады давления в таких трубопроводах должны быть сведены к абсолютному минимуму, поскольку они полностью невосполнимы: это просто энергетические и финансовые потери.

С практической точки зрения сжатый воздух никогда не бывает чистым. Он всегда содержит те или иные загрязняющие примеси и добавки. До начала проектирования следует определить состав и количество этих загрязнителей, чтобы предусмотреть в системе соответствующее очистное оборудование. Следует помнить, что обычно эти загрязнители могут реагировать друг с другом, вступая в химические реакции:

- **вода.** Она всегда присутствует в атмосферном воздухе в виде водяного пара. Когда воздух сжимается, парциальное давление водяного пара увеличивается, но из-за повышения температуры, вызванного сжатием, конденсации не происходит. Когда воздух впоследствии охлаждается, вода конденсируется, переходя в жидкое состояние. Необходимо помнить, что влага может вызвать коррозию и повредить конечный продукт;
- **масла.** В компрессорах со смазкой воздух неизбежно загрязняется маслом. Но даже если используется компрессор без смазки, масло может попадать в систему из атмосферы.
- **твёрдые частицы.** Твёрдые частицы размером менее 10 микрон не могут удерживаться всасывающими фильтрами, поэтому они свободно проникают в системы сжатого воздуха. Это загрязнение происходит с любым типом компрессора.

**Для транспортировки сжатого газа компания Aliaxis предлагает две специализированные линейки продуктов: GIRAIR и AIRLINE.**

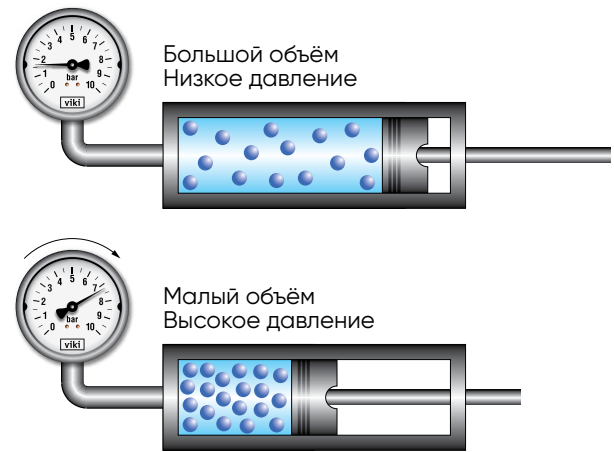


Рис. 2.59. Изменение поведения газа при сжатии



В правильно спроектированных системах сжатого воздуха используются два типа трубопроводов: магистральные и ответвительные. Магистральный трубопровод используется для подачи основной массы сжатого воздуха.

Если эта линия имеет недостаточный диаметр, скорость воздуха будет очень высокой, поэтому будет трудно отделить воду от воздуха, так как большая часть сконденсировавшейся влаги, находящейся в виде жидкости на дне трубы, будет подхвачена быстро движущимся воздушным потоком.

При увеличении диаметра трубопровода, разумеется, повышаются первоначальные капитальные затраты, однако это выгодно в долгосрочной перспективе: скорость газа в системе снижается, конденсированная жидкость собирается на дне трубы и не препятствует потоку. Тем самым снижается нагрузка на компрессор и остаётся резерв мощности для дальнейшего расширения системы.

Из практики известно, что можно избежать чрезмерных перепадов давления и потерь энергии, ограничив подачу газа в магистральной линии до 33 л/мин максимум.

Ответвительные линии обычно гораздо короче и уже не содержат влаги, которая собирается в магистральном трубопроводе. Поэтому ответвительные линии могут иметь гораздо меньший диаметр и обеспечивать гораздо больший перепад давлений и скорость потока. Ответвительные линии следует присоединять к магистральным посредством специальных s-образных фитингов (см. Рис. 2.60). Они предотвращают случайное попадание жидкости в ответвительные линии, отбирая воздух лишь из верхней части потока и оставляя конденсат внизу.

Таким образом, для проектирования системы подачи сжатого воздуха и определения правильного диаметра магистральной трубы требуется следующая информация:

- **общий расход.** Общий расход всех устройств, использующих воздух: крайне важно определить объём воздуха и диапазон давления, используемые в каждой точке разбора. Информацию о давлении и расходе для, например, пневмоинструмента, можно получить у производителя. Если эти данные неизвестны, следует провести соответствующие несложные эксперименты;
- **максимальное рабочее давление.** Это максимальное давление при непрерывном обслуживании, для которого и были разработаны системы GIRAIR и AIRLINE компании **Aliaxis**. Оно зависит от температуры транспортируемого газа и/или от температуры окружающей среды, в которой работает система. Повышение температуры снижает модуль упругости материалов, используемых для изготовления системы, что, в свою очередь, снижает её устойчивость к гидростатическому давлению. В таблице указано максимально допустимое рабочее давление для систем GIRAIR и AIRLINE в зависимости от температуры;

Таб. 2.27. Максимально допустимые рабочие давления для систем GIRAIR и AIRLINE

Температура окружающей среды или газа, °C	Максимальное рабочее давление, бар
0...+25	12,5
+25...+40	10,0

- **рабочий цикл.** Необходимо определить, сколько каждый потребитель сжатого воздуха будет его фактически потреблять в течение одной минуты;
- **утечки.** Утечки в системе определяются количеством и типом соединений, типом используемых муфт, общим возрастом системы и качеством первоначального монтажа. Хорошо обслуживаемая система подачи сжатого воздуха обычно имеет утечку порядка 2...5%;

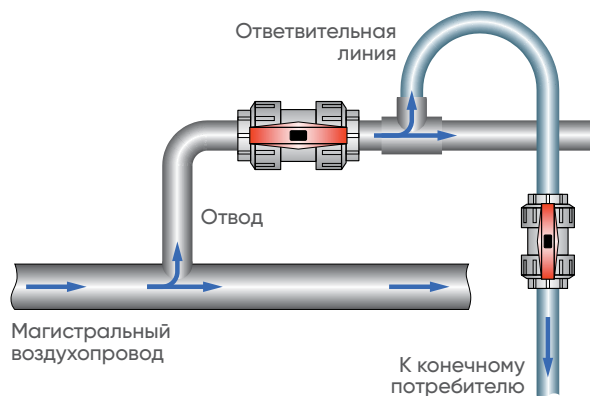


Рис. 2.60. Присоединение ответвительной линии к магистральному воздухопроводу



- **масштабирование.** Следует предусмотреть резервы мощности для возможного будущего расширения системы, отбирая компоненты таким образом, чтобы избежать значительных затрат в будущем;
- **давление.** Допустимые перепады давления для всей системы;
- **поправки.** Следует учесть поправки на перепады высот, температуру и удаление загрязняющих веществ;
- **пространство.** Следует выбрать место, где имеется достаточное пространство для воздушного компрессора и вспомогательного оборудования. Необходимо отобразить на рабочих схемах каждого потребителя сжатого воздуха для упрощения ведения учёта;
- **компоновка.** Следует подготовить окончательную компоновку проекта, определив требования к качеству воздуха для каждого потребителя, включая допустимое содержание влаги, количество и размер твёрдых частиц, масла. В соответствии с этим требованиями подбирается необходимое оборудование: сушилки, фильтры, регуляторы давления и проч.

В случае необходимости рекомендуется связаться с торговым представительством компании **Aliaxis**.



**Предупреждение.** Для систем подачи сжатого воздуха запрещается использовать трубы и арматуру из НПВХ и ХПВХ. Это связано с двумя основными причинами:

- при превышении предельной нагрузки трубы из ПВХ могут разрушиться с образованием массы острых осколков, которые могут стать причиной травм, увечий и даже смерти;
- при воздействии низких температур труба из ПВХ может стать хрупкой и разрушиться гораздо легче, чем обычно, поэтому их нельзя использовать для транспортировки сжатых газов.

Для систем сжатого воздуха следует использовать только системы **Girair** и **Airline**.

## 2.9. Методика подбора расходомеров

Измерение расхода в трубопроводе важно по многим причинам. Например, для проверки правильного функционирования производственных процессов или для контроля затрат энергии.

Для этого лучше всего установить системы мониторинга потока, которые предоставляют точные и надёжные данные для обеспечения бесперебойной работы, обеспечивая управление технологическими процессами в режиме реального времени и прогнозируемое техническое обслуживание.

Компания **Aliaxis** поставяет полный ассортимент продуктов разработки компании **FLS**, которые предназначены для предоставления надёжных исходных данных для широкого спектра применений: расходомеров, pH-метров, датчиков электропроводности и окислительно-восстановительного потенциала.

В этом параграфе будут рассмотрены приборы для измерения расхода. Они бывают трёх видов:

- датчики расхода погружного типа;
- линейные (проточные) датчики расхода;
- расходомеры постоянного перепада давления (ротаметры).

### 2.9.1. Типы расходомеров

#### ► Датчики расхода погружного типа

Технология основана на измерении мгновенной (локальной) скорости потока ( $V_m$ ) посредством датчика, установленного в определённом месте цилиндрической прямой трубы. Эти данные используются для расчёта средней скорости ( $V_a$ ) и объёмного расхода ( $Q_v$ ).

В теории по законам гидродинамики датчики расхода этого типа дают правильные показания в любых трубах круглого сечения с устоявшимся полностью турбулентным потоком (число Рейнольдса превышает 4 500). Гидродинамические законы описывают взаимосвязь между измеренной мгновенной (локальной) скоростью и средней скоростью потока, которая выражается через коэффициент профиля скорости потока ( $F_p$ ) в соответствии со следующей формулой:

$$F_p = V_a/V_m \quad [43], \text{ где}$$

- $F_p$  — коэффициент потока;
- $V_a$  — средняя скорость потока (м/с);
- $V_m$  — мгновенная скорость потока (м/с).

Учитывая [43], объёмный расход можно записать как:

$$Q = V_a \times D_i^2/4 = F_p \times V_m \times D_i^2/4 \quad [44], \text{ где}$$

- Q – объёмный расход внутри трубы (м<sup>3</sup>/ч);  
 V<sub>a</sub> – средняя скорость потока (м/с);  
 D<sub>i</sub> – внутренний диаметр трубы (м);  
 F<sub>p</sub> – коэффициент потока;  
 V<sub>m</sub> – мгновенная скорость потока (м/с).

Подходящая точка измерения скорости потока называется «критическим положением»: датчик скорости устанавливается в определённой точке, где локальная скорость потока численно равна средней скорости (V<sub>a</sub>=V<sub>m</sub> и F<sub>p</sub>=1). Это точка обычно находится на расстоянии 12% внутреннего диаметра, считая от стенки трубы (см. Рис. 2.26).

Основными особенностями погружных датчиков расхода являются:

- все датчики этого типа являются устройствами для расчёта расхода на основе измерения скорости потока;
- для установки обычно требуется лишь небольшое отверстие в трубе для того, чтобы смонтировать датчик перпендикулярно оси трубы;
- размеры датчика не зависят от размера трубы, так как они не привязаны к поперечному сечению трубы.

Существует три основных разновидности расходомеров этого типа.

#### i. Датчики лопастные (крыльчатые)

Этот датчик расхода состоит из собственно датчика и пятилопастного колеса с открытой крыльчаткой, выполненной из фторопласта. Колесо закреплено на керамическом валу, расположенном перпендикулярно направлению потока. Датчик устанавливается в трубу с помощью широкого ассортимента специальных фитингов, поставляемых компанией **FLS** (см. Рис. 2.61).

Колесо оснащено постоянными магнитами, встроенными в каждую лопасть. Когда магнит проходит близко к датчику, генерируется одиночный прямоугольный импульс. Таким образом, в процессе работы расходомера создаётся поток импульсов, которые можно сосчитать. Частота вращения колеса пропорциональна скорости потока:

$$Q = f/K_{\text{factor}} \quad [45], \text{ где}$$

- Q – объёмный расход внутри трубы (л/с);  
 f – частота вращения колеса (1/с);  
 K<sub>factor</sub> – количество импульсов, сгенерированных датчиком на 1 литр измеряемой жидкости (1/л).

Коэффициенты K<sub>factor</sub>, приведённые в таблицах Каталога компании **FLS**, относятся к воде комнатной температуры,. Соответственно, если датчики применяются для измерения другой жидкости, необходимо выполнить соответствующую калибровку прибора.

Что касается технического обслуживания датчика, необходимо помнить, что и колесо, и вал находятся в прямом контакте с перекачиваемой средой. Поскольку каждая жидкость имеет разные характеристики, трудно оценить продолжительность жизни этих элементов. Поэтому необходимо ознакомиться с соответствующими Таблицами химической стойкости материала каждого компонента, контактирующего с перекачиваемой средой, чтобы выбрать наиболее подходящий.

Кроме того, рекомендуется избегать использования расходомеров этого типа для работы с очень грязными жидкостями, содержащими волокна, или жидкостями переносящими твёрдые частицы, которые могут сломать или повредить лопасти или ось. Кроме того, твёрдые частицы могут исказить показания датчика, тормозя сам вал колеса. В случае необходимости использования именно лопастного датчика с жидкостями, содержащими твёрдые частицы, необходимо периодически очищать детали, контактирующие со средой, чтобы не снижать точности показаний. Мощные средства необходимо выбирать в соответствии с материалами датчика.



Рис. 2.61. Лопастной датчик компании **FLS**

## ii. Датчики электромагнитные

Работа датчиков этого типа основана на законе электромагнитной индукции Фарадея: движущийся в магнитном поле проводник генерирует ЭДС.

Катушка, расположенная в корпусе датчика, создаёт магнитное поле, вектор которого перпендикулярен направлению потока: это магнитное поле и проводящая жидкость индуцируют ЭДС между электродами, погруженными в поток. Величина ЭДС прямо пропорциональна скорости потока. ЭДС преобразуется в пропорциональный потоку выходной сигнал 4...20 мА или в частотный выходной сигнал (см. Рис. 2.62).

Что касается технического обслуживания, то, как правило, расходомер электромагнитного типа в нём не нуждается. В случае, если расходомер используется для измерения расхода очень грязной жидкости, можно предложить периодически очищать устройство тканью, слегка смоченной водой или моющим средством, совместимым с материалами устройства и ткани, так как грязные электроды могут привести к неточности измерения. Для очистки прибора не следует использовать абразивные материалы.

## iii. Датчики для врезки под давлением

Такие датчики рекомендуется использовать для установки в трубах под давлением и в тех случаях, когда невозможно остановить поток в трубопроводе, например, при подаче питьевой воды крупным потребителям.

Этот расходомер не имеет движущихся механических частей, его можно применять для измерения загрязнённых жидкостей, если они однородны и электропроводны. По сути, это электромагнитный датчик для специальных условий. В частности, он подходит для труб очень большого диаметра (DN50...DN900), где другие расходомеры погружного типа использовать затруднительно или невозможно (см. Рис. 2.63).

Для установки датчика требуются специальные фитинги для врезки под давлением.

### ► Линейные датчики расхода

Компания **FLS** предлагает два типа линейных датчиков этого типа для малых расходов, предназначенных для широкой области применений в зависимости от рабочих диапазонов давлений и удельной вязкости перекачиваемой среды. Оба типа датчиков имеют различные характеристики, однако ввиду наличия вращающихся частей их нельзя применять для измерения расхода жидкостей, содержащих твёрдые частицы.

## i. Датчики сверхнизкого расхода

Этот линейный датчик расхода состоит из регистратора и пятилопастной крыльчатки. Крыльчатка оснащена постоянными магнитами, встроенными в каждую лопасть. Когда магнит проходит близко к датчику, генерируется единичный прямоугольный импульс. Датчики этого типа можно использовать со всеми видами агрессивных и не содержащих твёрдых веществ жидкостей. Датчики монтируются к гибким и жёстким трубам посредством трубной резьбы G (см. Рис. 2.64).



Рис. 2.62. Электромагнитный датчик компании **FLS**



Рис. 2.63. Датчик для врезки под давлением компании **FLS**

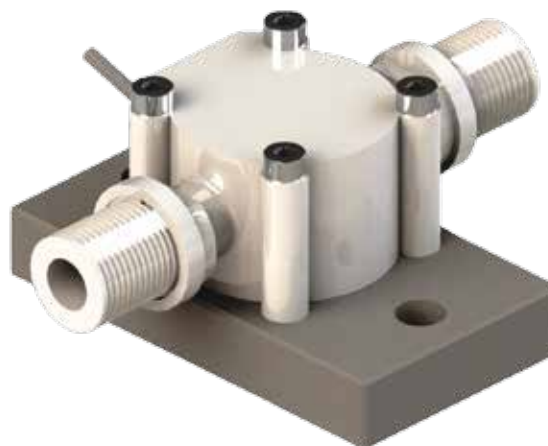


Рис. 2.64. Датчик сверхнизкого расхода **FLS**

## ii. Датчики расхода с овальными шестернями

В корпус этого линейного расходомера встроены две овальные шестерни, приводимые во вращение проходящим потоком. В каждую шестерню встроены постоянный магнит. Датчик Холла реагирует на прохождение магнита и генерирует одиночный прямоугольный импульс с частотой, пропорциональной объёму прошедшей через расходомер жидкости.

Датчик этого типа был разработан в соответствии с основными требованиями промышленности. Он обладает высокой механической прочностью и подходит для измерения расхода вязких жидкостей, не содержащих твёрдых веществ, с очень высокой точностью и повторяемостью. Детали датчика выполнены из тефлона или нержавеющей стали и обладают высокой химической стойкостью. Датчики монтируются к гибким и жёстким трубам посредством трубной резьбы G (см. Рис. 2.65)

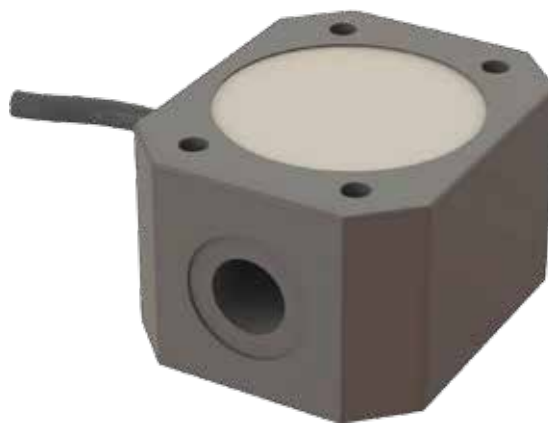


Рис. 2.65. Датчик расхода с овальными шестернями FLS

Следует помнить, что абразивные или грязные жидкости потенциально могут повредить уплотнения, подшипники и вызвать засорение датчика, поэтому для удаления загрязнений может потребоваться фильтр.

Датчики линейного типа в основном используются в системах дозирования для измерения расхода агрессивных химических веществ. Поэтому следует иметь в виду:

- если датчик длительное время находится в неработающем состоянии, на нём возможна кристаллизация из раствора. В случае нерегулярного использования следует предусмотреть периодическое обслуживание. Для очистки можно использовать воду и моющие средства, совместимые с материалом деталей датчика;
- перекачиваемые вещества могут выделять газы, поэтому настоятельно рекомендуется обратить внимание на эту проблему, особенно в период бездействия, убедившись, что пузырьки газа удаляются при использовании линейных датчиков. Датчики с овальными шестернями при наличии пузырьков газов будут давать завышенные показания, поскольку объёмы пузырьков будут измеряться наравне с объёмами перекачиваемой жидкости. В датчиках сверхнизкого расхода газовые пузырьки создают турбулентность в измерительной камере, что также приводит к искажению показаний.

В случае, если вязкость рабочей жидкости далека от вязкости воды (калибровочная жидкость для датчиков), может потребоваться повторная калибровка самого датчика для определения правильного коэффициента  $K_{factor}$ .

### ► Расходомеры постоянного перепада давления (ротаметры)

Расходомеры этого типа являются одними из старейших приборов учёта расхода. Они состоят из расширяющейся сверху конической трубки и размещённого внутри тяжёлого поплавка (см. Рис. 2.66). Жидкость в ротаметре течёт снизу вверх. Чем выше скорость потока, тем выше в трубке поднимается поплавок-измеритель. Ротаметры измеряют мгновенную скорость потока: в каждый момент времени сила восходящего потока уравнивается весом самого поплавка-измерителя (см. Рис. 2.67).



Рис. 2.66. Ротаметры FLS

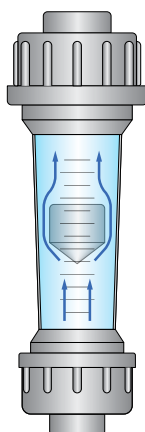


Рис. 2.67. Принцип работы ротаметра

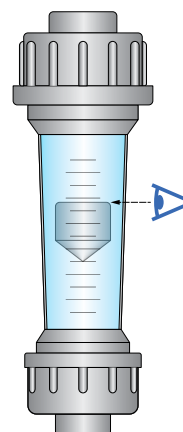


Рис. 2.68. Правильное положение при снятии показаний

Обычно коническая трубка ротаметра изготавливается из прозрачных материалов; на трубку наносится измерительная шкала для визуального считывания показаний по положению поплавка. Для облегчения считывания расхода максимальные и минимальные предельные значения можно регулировать с помощью сдвижных индикаторов расхода (см. Рис. 2.66). Для получения правильных показаний необходимо, чтобы поплавок находился на уровне глаз (см. Рис. 2.68).

В Таб. 2.28 даны значения расхода в зависимости от скорости потока. Эти два параметра связаны следующими соотношениями.

$$V_f = Q \times 1273,2 / D_i^2 \quad [46], \text{ где}$$

$V_f$  – скорость потока (фут/с);

$Q$  – объёмный расход (л/с);

$D_i$  – внутренний диаметр трубы (м).

$$Q = V_m \times D_i^2 / 1273,2 \quad [47], \text{ где}$$

$Q$  – объёмный расход (л/с);

$V_m$  – скорость потока (м/с);

$D_i$  – внутренний диаметр трубы (м).

Таб. 2.28. Таблица перевода скорости потока в объёмный расход

		Скорость потока													
фут/с		0,16	0,33	0,50	0,70	1,60	2,60	3,30	6,60	9,80	13,10	16,40	20,00	23,00	26,20
м/с		0,05	0,10	0,15	0,20	0,50	0,80	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00
D, мм	DN, мм	Расход, л/мин													
		20	15	0,01	0,02	0,03	0,04	0,09	0,14	0,18	0,35	0,53	0,71	0,88	1,06
25	20	0,02	0,03	0,05	0,06	0,16	0,25	0,31	0,63	0,94	1,26	1,57	1,89	2,20	2,51
32	25	0,02	0,05	0,07	0,10	0,25	0,39	0,49	0,98	1,47	1,96	2,45	2,95	3,44	3,93
40	32	0,04	0,08	0,12	0,16	0,40	0,64	0,80	1,61	2,41	3,22	4,02	4,83	5,63	6,43
50	40	0,06	0,13	0,19	0,25	0,63	1,01	1,26	2,51	3,77	5,03	6,28	7,54	8,80	10,05
63	50	0,10	0,20	0,29	0,39	0,98	1,57	1,96	3,93	5,89	7,85	9,82	11,78	13,74	15,71
75	65	0,17	0,33	0,50	0,66	1,66	2,65	3,32	6,64	9,96	13,27	16,59	19,91	23,23	26,55
90	80	0,25	0,50	0,75	1,01	2,51	4,02	5,03	10,05	15,08	20,11	25,13	30,16	35,19	40,21
110	100	0,39	0,79	1,18	1,57	3,93	6,28	7,85	15,71	23,56	31,42	39,27	47,13	54,98	62,83
125	110	0,48	0,95	1,43	1,90	4,75	7,60	9,50	19,01	28,51	38,01	47,52	57,02	66,53	76,03
140	125	0,61	1,23	1,84	2,45	6,14	9,82	12,27	25,54	36,82	49,09	61,36	73,63	85,91	98,18
160	150	0,88	1,77	2,65	3,53	8,84	14,14	17,67	35,34	53,02	70,69	88,36	106,03	123,70	141,38
200	180	1,27	2,54	3,82	5,09	12,72	20,36	25,45	50,90	76,34	101,79	127,24	152,69	178,13	203,58
225	200	1,57	3,14	4,71	6,28	15,71	25,13	31,42	62,83	94,25	125,67	157,08	188,50	219,92	251,34
250	225	1,99	3,98	5,96	7,95	19,88	31,81	39,76	79,52	119,29	159,05	198,81	238,57	278,33	318,10
280	250	2,45	4,91	7,36	9,82	25,54	39,27	49,09	98,18	147,27	196,36	245,44	294,53	343,62	392,71
315	280	3,08	6,16	9,24	12,32	30,79	49,26	61,58	123,15	184,73	246,31	307,89	369,46	431,04	492,62

## 2.9.2. Монтаж расходомеров

Как было описано выше, для определения расхода в основном применяются приборы трёх типов:

- датчики расхода погружного типа для высоких расходов и магистральных трубопроводов;
- линейные датчики расхода для низких расходов и дозирования химических реагентов;
- ротаметры для определения мгновенного расхода.

### ► Датчики расхода погружного типа

Поскольку эти датчики должны быть установлены внутри трубы, очевидно, что очень важно определить их правильное размещение, чтобы получать точные и надёжные показания. В частности, необходимо быть уверенным, что в этом конкретном месте труба полностью заполнена в любое время и скорость потока равномерна. Если труба полностью не заполнена, расходомер будет систематически завышать расход. Даже если он сам всегда будет полностью погружен в жидкость, датчик будет выдавать показания исходя из предположения, что труба заполнена полностью. Поскольку фактически расходомер измеряет скорость, поток в месте его установки должен быть равномерным по всему поперечному сечению трубы.

Расположение расходомера погружного типа следует выбирать из одной из шести типовых схем (см. Рис. 2.71).

Схемы монтажа на Рис. 2.72 гарантируют полное заполнение трубы жидкостью. Как говорилось выше в этом разделе, следует также помнить о том, что наличие газовых (воздушных) пузырей в потоке искажает показания расходомера. Не следует поэтому выбирать схемы монтажа, показанные на Рис. 2.73., если нет абсолютной уверенности, что газовые или паровые пузырьки в потоке отсутствуют.

В безнапорных системах с самотёком подключение к резервуару должно быть спроектировано таким образом, чтобы уровень жидкости никогда не опускался ниже выходного отверстия: это позволяет избежать попадания воздуха в трубопровод из резервуара, и, следовательно, к неточной работе расходомера (см. Рис. 2.74).

Как было показано ранее, измерительная часть расходомера (т.е. крыльчатка) должна располагаться на расстоянии 12% диаметра трубы, считая от стенки. В этом месте измеряемая мгновенная скорость очень близка к средней скорости потока. Разумеется, на точность измерения будут влиять возможные газовые пузырьки, а также трение вала крыльчатки в подшипнике. Чтобы избежать этих проблем, можно предложить разместить расходомер в верхней части горизонтально идущей трубы, под углом 45° к вертикали (см. Рис. 2.69, поз. А). Следует избегать расположения датчика в нижней части трубы, поскольку донные отложения могут внести неточность в измерения (см. Рис. 2.69, поз. В). Также не следует устанавливать датчик под углом 90°, так как трение в подшипнике может исказить показания (см. Рис. 2.69, поз. Б).

Эти соображения справедливы как для расходомеров с крыльчаткой, так и для электромагнитных датчиков. На вертикальных участках труб с восходящим потоком датчик можно ориентировать любым образом. Для получения дополнительной информации рекомендуется изучить Стандарт DIN EN ISO 5167-1-2004.

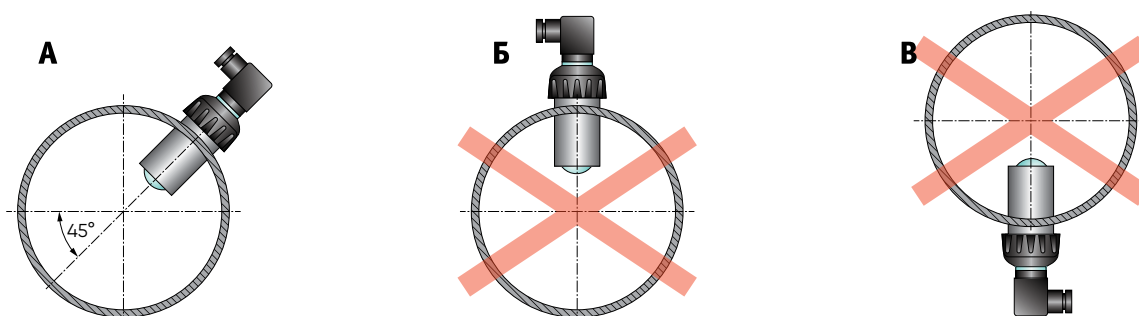


Рис. 2.69. Размещение расходомера на трубе

### ► Линейные датчики расхода

Линейные датчики расхода могут быть установлен как горизонтально, так и вертикально, хотя предпочтительнее горизонтальное расположение, поскольку установка в другом положении потенциально может привести к большей ошибке в нижней части диапазона измерений. В любом случае рекомендуется расположение с небольшим углом наклона чтобы избежать потенциальных проблем с пузырьками газа (см. Рис. 2.70).

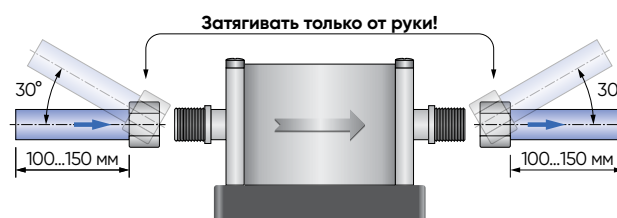


Рис. 2.70. Установка линейных расходомеров

Рекомендуется устанавливать датчик так, чтобы стрелка указывала направление потока, максимально увеличить расстояние между датчиком и насосом и не устанавливать датчик непосредственно за клапанами, отводами или любыми препятствиями. До и после датчика следует установить прямые участки трубы длиной как минимум 100...150 мм. Следует учитывать падение давления на линейных расходомерах, особенно если используются трубы или трубки диаметром меньше 1/4": значительный перепад давления может вызвать повреждение подшипников или уплотнений.

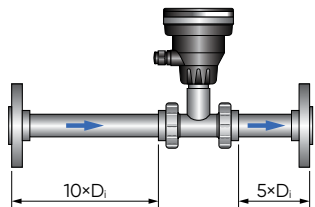
### ► Ротаметры

Ротаметры не требуют специальных рекомендаций по установке. Единственным фундаментальным ограничением для правильного измерения расхода является то, что этот прибор должен быть установлен вертикально на восходящем потоке и без каких-либо механических напряжений.

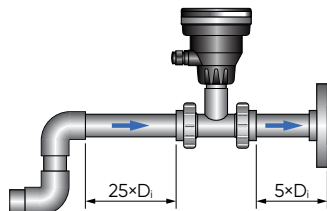
Очевидно, что для обеспечения возможности извлечения расходомера при заполнении трубопровода необходимо предусмотреть на линии запорную арматуру до и после ротаметра. Если есть необходимость периодически демонтировать ротаметр, следует предусмотреть байпас (см. Рис. 2.75, стр. 138).



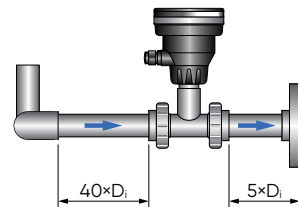
**Фланцы**



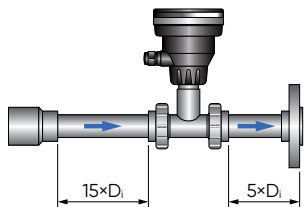
**2 отвода 90° (1 плоскость)**



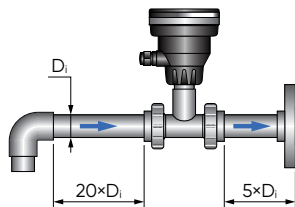
**2 отвода 90° (2 плоскости)**



**Муфта редукционная**



**1 отвод 90° (1 плоскость)**



**Арматура запорная**

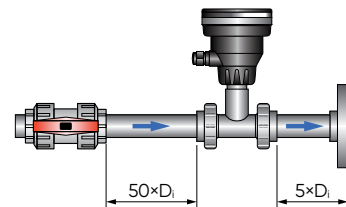


Рис. 2.71. Типовые схемы монтажа расходомеров погружного типа

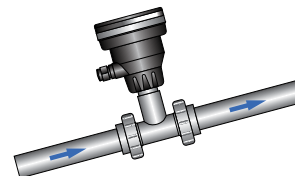
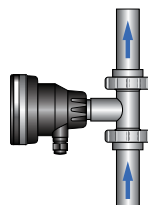
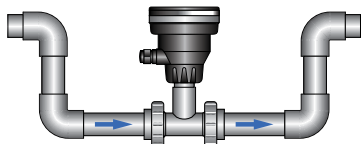


Рис. 2.72. Схемы установки, гарантирующие постоянное заполнение трубы

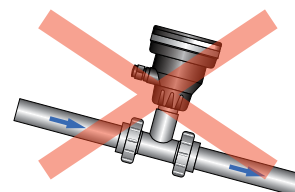
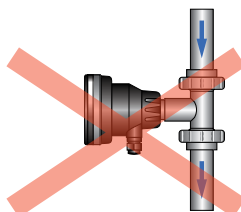
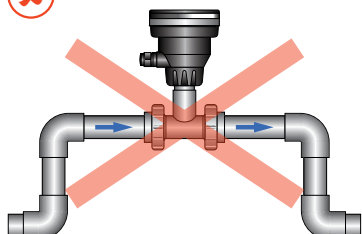


Рис. 2.73. Схемы установки, которые могут приводить к неполному заполнению трубы

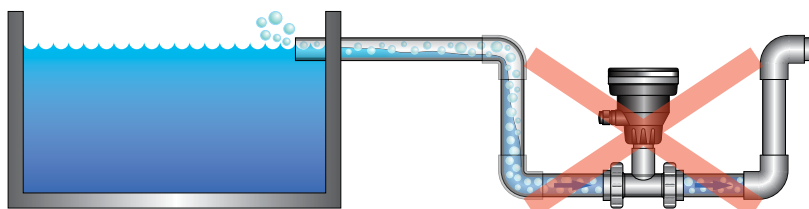


Рис. 2.74. Последствия неправильного монтажа расходомера в безнапорных системах

Для правильной установки ротаметра рекомендуется следовать нескольким простым правилам (см. Рис. 2.76):

- открутить накидные гайки [2] с корпуса ротаметра [1];
- надеть накидные гайки на трубу [3] (см. Рис. 2.76, поз. А);
- приклеить, приварить или накрутить на трубу трубные вставки [4] (см. Рис. 2.76, поз. Б);
- вложить уплотнительные кольца [5] в корпус ротаметра;
- вставить корпус ротаметра между трубными вставками и прикрутить его накидными гайками [2];
- ротаметр установлен. Необходимо лишь проверить герметичность соединений (см. Рис. 2.76, поз. В).

На этапе запуска в обязательном порядке следует убедиться, что:

- фактическое рабочее давление и температура не превышают пределов, указанных на самом приборе.
- поплавков не ударится о верхнюю часть корпуса. Рекомендуется запускать систему при закрытом кране и поднимать рабочее давление, медленно открывая кран. В этой связи не рекомендуется использовать в качестве запорной арматуры быстро открывающиеся электромагнитные клапаны.
- Когда ротаметр служит для измерения расхода жидкостей, следует осторожно опорожнять трубопровод, чтобы избежать скачков давления из-за образования газовых пузырей.
- Когда ротаметр служит для измерения расхода газов, давление в системе следует поднимать осторожно, чтобы избежать его резких скачков.
- При использовании ротаметра в самом низком диапазоне измерений необходимо на короткое время увеличить скорость потока, чтобы избежать залипания поплавка в нижнем положении.
- При вводе в эксплуатацию новой установки возможно образование осадка в ротаметре. Поэтому компания **Aliaxis** рекомендует его профилактическую очистку после короткого периода работы системы.

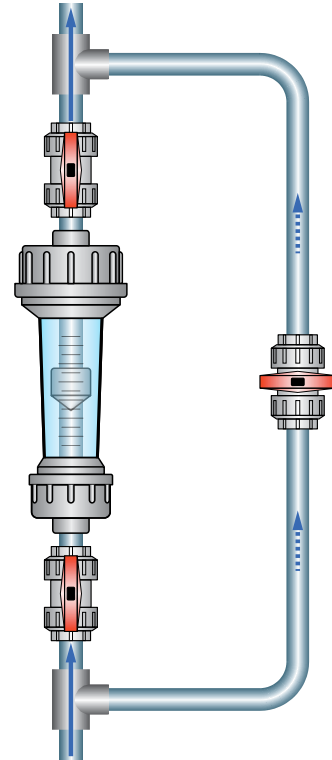


Рис. 2.75. Установка ротаметров



**На что обращать особое внимание при монтаже ротаметров:**

- накидные гайки откручивать осторожно, не допуская выпадения поплавка;
- корпус ротаметра и поплавков должны быть чистыми и свободными от посторонних предметов;
- перед монтажом снять пылезащитные колпачки и транспортировочную упаковку;
- подводящие трубы должны быть выровнены и установлены без каких-либо механических воздействий;
- поток должен быть направлен снизу вверх;
- трубопровод должен быть промыт и очищен от посторонних предметов и вредных веществ;
- ротаметр не должен подвергаться вибрационному воздействию трубопровода. Для этого необходимо применять соответствующие монтажные меры;
- давление среды должно быть достаточным для преодоления веса поплавка.



**Особенности измерения расхода газа ротаметрами:**

- когда давление среды превышает 1 бар, за ротаметром следует установить запорное устройство. Когда давление среды равно 1 бару, запорное устройство также следует установить и перед ротаметром;
- следует установить дроссель непосредственно за ротаметром чтобы предотвратить воздействие вибрации от работы запорной арматуры во время измерений.
- Во избежание неправильных измерений рабочее давление в ротаметре должно соответствовать давлению, при котором ротаметр был откалиброван.

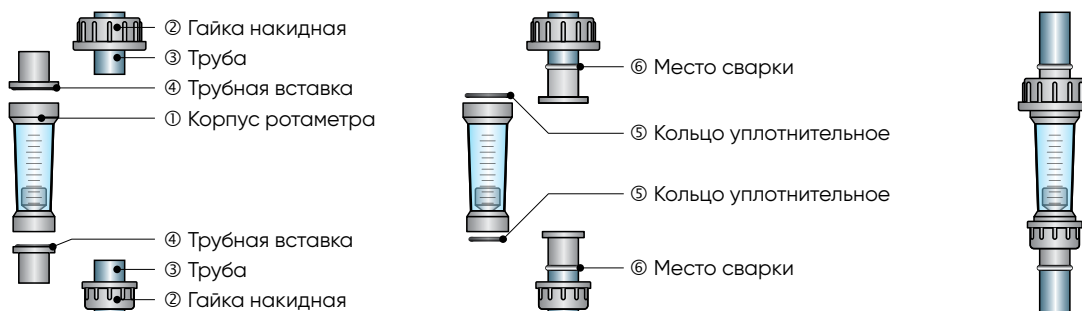


Рис. 2.76. Порядок монтажа ротаметра

## 2.10. Выбор датчиков pH и ОВП

### 2.10.1. Устройство датчиков pH и ОВП

#### ► Измерение pH

Датчик pH (pH-метр) – это прибор, используемый для измерения кислотности или щёлочности среды. Значения pH (или водородного показателя, от лат. pondus Hydrogenii) измеряются по шкале от 0 до 14.

pH определяется как отрицательный десятичный логарифм активности ионов водорода:

$$\text{pH} = -\lg(1/\text{H}^+) \quad [48], \text{ где}$$

pH – водородный показатель;

$\text{H}^+$  – концентрация водородных ионов (моль/л).

Значение pH является выражением соотношения ионов  $[\text{H}^+]$  и  $[\text{OH}^-]$  в водном растворе. Таким образом, если концентрация  $[\text{H}^+]$  выше концентрации  $[\text{OH}^-]$ , раствор является кислотным. И наоборот, если концентрация  $[\text{OH}^-]$  выше концентрации  $[\text{H}^+]$ , раствор является щелочным. В случае равенства концентраций раствор является нейтральным. Значение pH нейтральных растворов равно 7.

Измерение pH производится с помощью электрода, способного измерять концентрацию ионов водорода. Фактически измеряется ЭДС электродной системы.

pH-метр состоит из трёх основных частей (см. Рис. 2.77):

- электрод для измерения pH, оснащённый чувствительной к ионам водорода стеклянной колбой;
- референсный электрод, не чувствительный к изменению активности ионов водорода;
- измеритель сигнала с очень высоким входным сопротивлением.

Поведение электрода описывается уравнением Нернста:

$$E_p = E_0 - (2,3 \times R \times T) / (n/F) \times \ln a \quad [49], \text{ где}$$

$E_p$  – потенциал между электродами (В);

$E_0$  – стандартный электродный потенциал (В);

$R$  – универсальная газовая постоянная, равная 8,314 Дж/(моль·К);

$T$  – температура (К);

$n$  – число электронов, участвующих в процессе;

$F$  – постоянная Фарадея, равная 96485,33 Кл·моль<sup>-1</sup>;

$a$  – активность иона.

Выражение  $(2,3 \times R \times T) / (n/F)$  называется коэффициентом Нернста, или крутизной. Он обозначает величину изменения потенциала между электродами  $E_p$  при десятикратном изменении концентрации ионов.

Для активности ионов водорода при  $n=1$  коэффициент Нернста равен 59,16 мВ на каждое десятикратное изменение концентрации ионов при +25 °С. Это означает, что при изменении pH на одну единицу потенциал между электродами будет изменяться на 59,15 мВ (при температуре +25 °С).

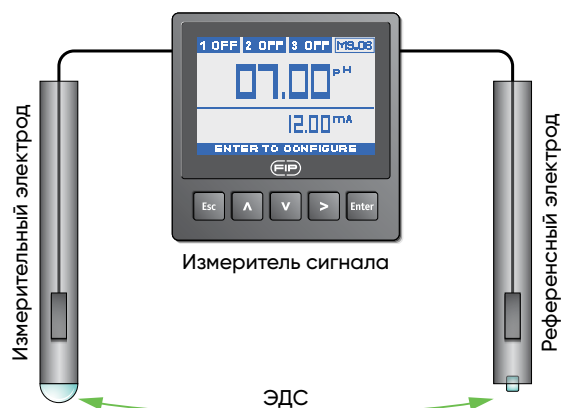


Рис. 2.77. Схема устройства pH-метра

Соответственно, щелочные растворы будут давать отрицательный потенциал, кислотные – положительный. В нейтральных средах потенциал равен нулю (см Рис. 2.78).

Измерительный и эталонный электроды могут быть двух форм: два физически отдельных электрода (см. Рис. 2.77) или соединённые вместе в одном корпусе (комбинированный электрод).

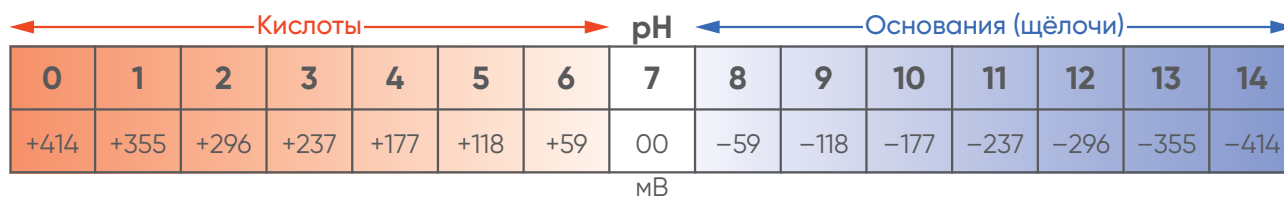


Рис. 2.78. Электродные потенциалы для кислотных и основных сред

Комбинированный электрод это электрод, состоящий из двух элементов: измерительного и сравнительного (референсного). Измерительным электродом является тонкая стеклянная мембрана, чувствительная к ионам  $[H^+]$ .

Обычно комбинированный электрод конструктивно состоит из внешней стеклянной трубки, содержащей хлор-серебряную проволоку и электролит. Это и есть референс-электрод. Внутренняя стеклянная трубка также содержит хлор-серебряную проволоку и буферный раствор. Это измерительный электрод (см. Рис. 2.79).

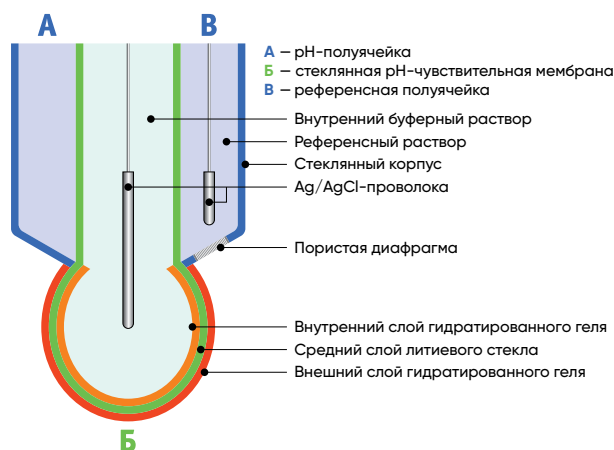


Рис. 2.79. Устройство комбинированного электрода pH-метра

Внутренняя трубка контактирует с исследуемым раствором через тонкую стеклянную мембрану, расположенную на её конце, а внешняя трубка контактирует с исследуемым раствором через пористую диафрагму, которая действует как солевой мостик.

На внешней и внутренней поверхности тонкой стеклянной мембраны происходит обмен между ионами литиевого стекла и ионами  $[H^+]$  растворов, с которыми контактируют эти поверхности.

Внутренняя поверхность контактирует с буферным раствором с известным pH и физически изолирована от внешней среды, внешняя поверхность контактирует с исследуемым раствором:

- если раствор кислый, на поверхностном слое мембраны будет происходить накопление ионов  $[H^+]$ ;
- если раствор щелочной, на поверхностном слое мембраны будет происходить истощение ионов  $[H^+]$ .

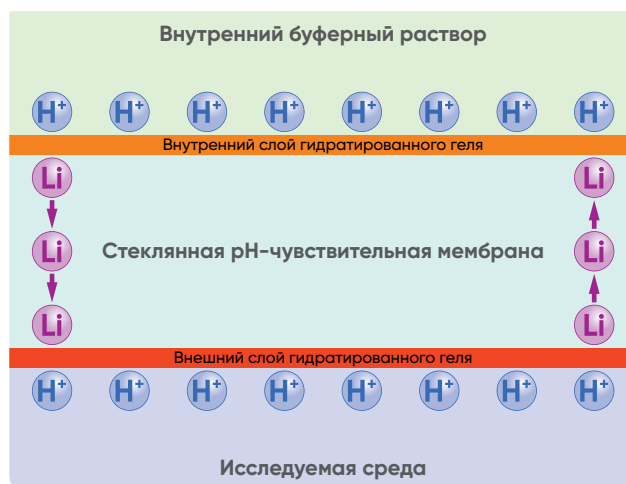


Рис. 2.80. Процесс измерения электрического потенциала pH-метром

Электрический потенциал, регистрируемый прибором, обусловлен дисбалансом между ионами  $[H^+]$ , присутствующими на внутреннем и внешнем поверхностных слоях мембраны (см. Рис. 2.80).

Что касается референсных электродов, они могут иметь две различных конструкции:

- **однокамерные.** Это электроды общего назначения. Они подходят в том случае, когда анионы хлоридов и катионы серебра не вступают в нежелательные реакции (см. Рис. 2.81, поз. А).
- **двухкамерные.** Применяется в случаях, когда нужно избежать загрязнения эталонного раствора сульфидами, белками и солями тяжёлых металлов. Фактически эти электроды имеют дополнительный солевой мостик для предотвращения реакции между буферным и измеряемым раствором, которая может привести к повреждению мембраны (см. Рис. 2.81, поз. Б).

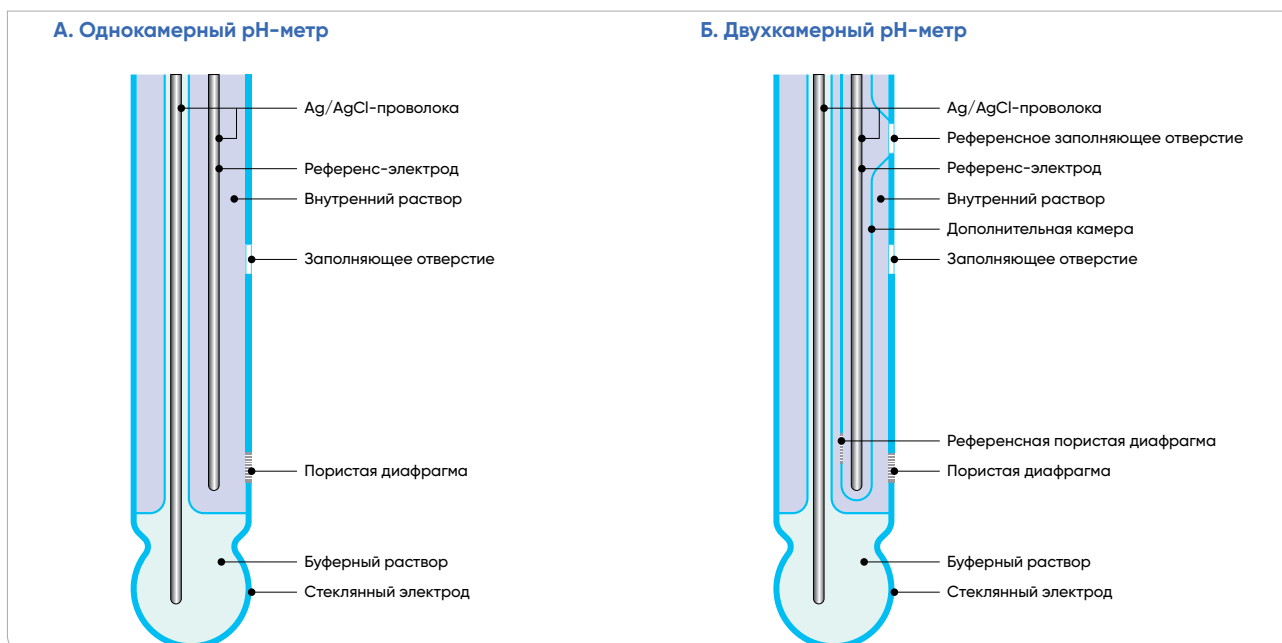


Рис. 2.81. Варианты устройства референс-электрода рН-метра

► **Влияние температуры на значение рН**

Температура влияет на измерение рН двумя способами:

- при изменении температуры раствора значение рН также изменяется из-за изменений констант диссоциации ионов в измеряемом растворе. Имеющиеся приборы не могут учитывать это явление, поскольку константы диссоциации варьируются от раствора к раствору;
- поскольку стеклянный измерительный электрод является проводником ионов, сопротивление стекла будет изменяться при изменении температуры раствора. Следовательно, электрический потенциал стеклянного рН-электрода будет изменяться в зависимости от температуры в соответствии с уравнением Нернста.

В частности, при повышении температуры увеличивается крутизна выходного напряжения (в милливольтгах):

- при 0 °С крутизна сигнала составляет 54,20 мВ/1 ед. рН;
- при +25 °С крутизна сигнала составляет 59,16 мВ/1 ед. рН;
- при +50 °С крутизна сигнала составляет 64,10 мВ/1 ед. рН;

Это изменение может быть учтено в электронной части рН-метра. Фактически эта линейная функция зависимости изменения рН от изменения температуры может быть выражена как:

0,003 единицы рН на каждую единицу рН и каждый градус Цельсия [50]

Следует также помнить, что повышение температуры влияет на срок службы рН-электрода. Типичный срок службы рН-электрода составляет порядка 12...18 месяцев, но он сокращается на 50% при каждом повышении рабочей температуры на 25 °С (см. Рис. 2.82). Срок службы рН-электрода можно повысить несколькими способами. Например, использовать охлаждение или проводить однократные измерения вместо непрерывных. Таким образом температура будет меньше влиять на старение электрода.

⊕ **Практический пример**

Например, если система калибрована в буферном растворе с рН=7 при +25 °С, и значение рН измеряемого раствора равно 4, при +75 °С рН-метр покажет значение раствора 4,45 рН, поскольку ошибка составит:

$$0,003 \times (7 \text{ рН} - 4 \text{ рН}) \times (75 \text{ °С} - 25 \text{ °С}) = 0,003 \times 3 \times 50 = 0,45$$

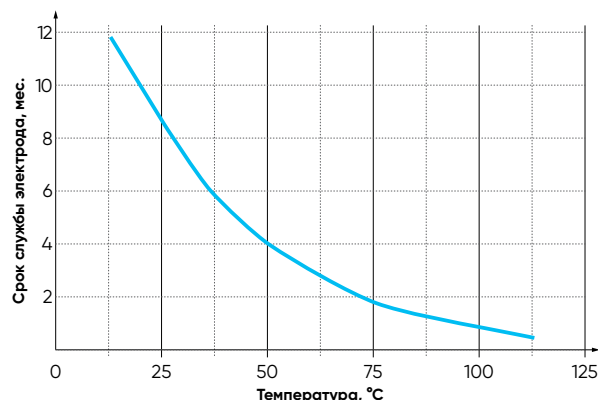


Рис. 2.82. Срок службы рН-электрода в зависимости от температуры измеряемой среды

### ► Измерение окислительно-восстановительного потенциала (ОВП)

ОВП (окислительно-восстановительный потенциал) – это мера, способность химического вещества или раствора окислять или восстанавливать другое химическое вещество. ОВП обычно измеряется в милливольтгах.

Окисление – это потеря электронов атомом, молекулой или ионом, восстановление – это процесс приобретения электронов. Принцип измерения ОВП заключается в использовании инертного металлического электрода (платинового или золотого), который из-за своего низкого сопротивления отдаёт электроны окислителю или принимает электроны от восстановителя.

Датчик ОВП состоит из электрода ОВП и референсного электрода, подобного таковому в рН-метрах (см. Рис. 2.83).

Электрод ОВП будет продолжать принимать или отдавать электроны до тех пор, пока его потенциал не сравняется с потенциалом измеряемого раствора. Это и будет значение ОВП.

Для референсного электрода ОВП применимы те же соображения, что и для аналогичного электрода рН-метра.

### ► Электроды рН/ОВП

Можно выделить четыре типа датчиков рН/ОВП, предназначенных для различных областей применения.

#### i. Электроды с корпусом из эпоксидной смолы (см. Рис. 2.84)

Эта линейка была разработана как экономичное решение для широкого круга задач. Доступны одно- и двухкамерные модели, которые можно использовать при температурах до +60 °С. Некоторые модели рН-электродов снабжены встроенным датчиком температуры для автоматической компенсации теплового дрейфа рН.

Ввиду высокой химической стойкости корпусов эти электроды подходят для:

- систем очистки воды;
- систем нейтрализации;
- мониторинга качества воды;
- плавательных бассейнов и СПА-салонов;
- гидропоники;
- разнообразных применений в сельском хозяйстве;
- систем внесения удобрений;
- управления технологическими процессами.

#### ii. Электроды со стеклянным корпусом (см. Рис. 2.85)

Эти высокопроизводительные датчики были разработаны для широкого спектра применений:

- очистка воды;
- системы нейтрализации;
- мониторинг качества воды;
- управление технологическими процессами;
- сельское хозяйство и системы внесения удобрений;
- гальванические и кожевенные производства;
- градирни и скрубберы.

Керамическое соединение гарантирует работоспособность прибора при высоком давлении и температуре до +130 °С. Эти электроды не рекомендуются к применению при высоких скоростях потока.

В зависимости от технических требований доступны различные типы керамических соединений: кольцевые для более быстрой реакции отклика, с тремя диафрагмами для более высокого давления. Кроме того, двойная камера предотвращает загрязнение эталонного раствора и обеспечивает длительный срок службы электрода.



### iii. Электроды с плоским корпусом из ХПВХ (см. Рис. 2.86)

Это прочная версия традиционных плоских электродов с улучшенным эффектом самоочистки: благодаря плоской поверхности нижней части электрода грязь, присутствующая в перекачиваемой среде, не оседает на приборе. Электроды этого типа рекомендованы также для потоков высокой скорости.

В корпусе электрода имеется две герметичных камеры, заполненных гелем. Такая конструкция обеспечивает дополнительный барьер от загрязнения эталонного раствора и позволяет использовать электроды в тяжёлых условиях эксплуатации, продлевая срок их службы.

Типичные области применения электродов этого типа:

- очистка воды и сточных вод;
- предварительное хлорирование и дехлорирование;
- системы нейтрализации;
- мониторинг качества воды;
- озонирование воды;
- градирни, котельные;
- производство отбеливателей;
- отбеливание целлюлозы;
- гидропоника;
- окрашивание тканей.

### iv. Электроды с корпусом из полифениленсульфида (Ryton™), см. Рис. 2.87

Корпуса этих электродов выполнены из полифениленсульфида (торговая марка Ryton™). Они имеют плоскую самоочищающуюся нижнюю поверхность, предотвращающую оседание на них грязи из раствора. Их можно использовать в условиях перекачки грязных сред с большими скоростями потока. Кроме того, они оснащены встроенным датчиком температуры. Значительный размер полупроницаемой мембраны повышает производительность даже в присутствии твёрдых частиц в среде.

Рекомендуемые области применения для датчиков этого типа:

- перерабатывающая и обрабатывающая промышленность;
- химическая обработка;
- процессы очистки воды;
- процессы охлаждения;
- процессы нагрева.

## 2.10.2. Монтаж датчиков pH и ОВП

Конструктивно датчики pH/ОВП производятся в трёх исполнениях, зависящих от способов установки в трубопровод:

- проточные датчики;
- погружные датчики;
- датчики для врезки под давлением.

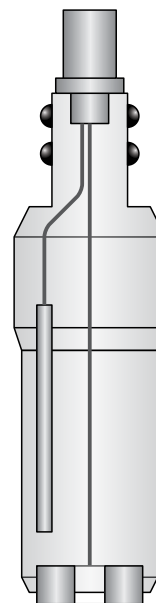


Рис. 2.83. Схема устройства ОВП-метра



Рис. 2.84. Электроды с корпусом из эпоксидной смолы

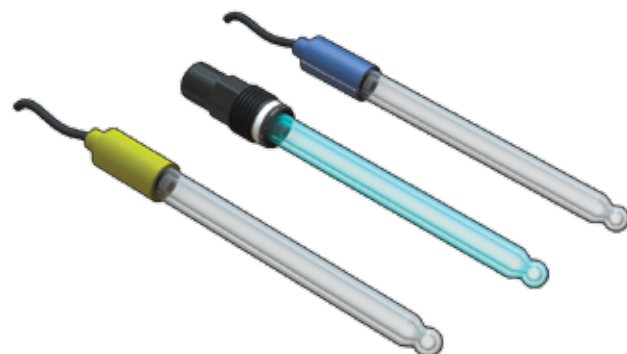


Рис. 2.85. Электроды со стеклянным корпусом

## ► Рекомендации по установке

### i. Проточные датчики (см. Рис. 2.88, поз. А)

В этом конструктиве производятся все семейства датчиков pH/ОВП. Они рекомендуются для использования в трубопроводах от DN15 до DN100. При монтаже в трубах небольшого диаметра следует обращать внимание на то, чтобы концевая часть датчика не касалась трубы.

Датчики pH/ORP следует устанавливать максимум под углом 30° от вертикального положения так, чтобы сенсор гарантированно был погружён в жидкость.

### ii. Погружные датчики (см. Рис. 2.88, поз. Б)

В этом конструктиве доступны датчики с корпусом из эпоксидной смолы (см. стр. 142) и колбообразным электродом, а также датчики из ХПВХ с плоским основанием (см. стр. 143).

Электрод следует устанавливать вблизи выходного отверстия резервуара и как можно дальше от точек ввода дозирующих растворов, чтобы увеличить точность измерений. Необходимо обеспечивать постоянное пребывание датчика в жидкости чтобы предотвратить высыхание электрода.

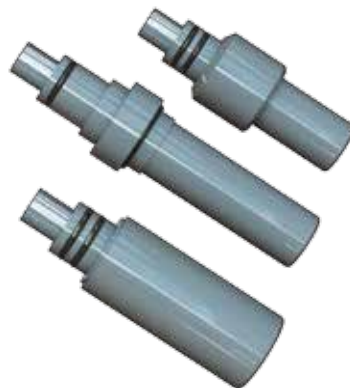


Рис. 2.86. Электроды с корпусом из ХПВХ

### iii. Датчики для врезки под давлением (см. Рис. 2.88, поз. В)

В этом конструктиве доступны лишь специальные версии (модели PH655CD, ORP655CD) электродов с плоским основанием из ХПВХ (см. Рис. 2.86).

Датчики этого типа могут быть полезны, если требуется нестандартное его расположение (например, отличное от предельных 30°, рекомендованных для других электродов). Их главная особенность – возможность обслуживания и замены непосредственно на работающей линии, без сброса давления. Кроме того, эти датчики удобно использовать на линиях с DN > 100.

## ► Руководство по эксплуатации

### Хранение

Когда измерения pH производятся нерегулярно, например, с интервалом в несколько дней или недель, электрод можно хранить, просто надев на него защитный колпачок с дистиллированной водой или с буферным раствором с pH=4 внутри. Если раствор в защитном колпачке высох, рекомендуется использовать трёхмольный раствор KCl или буферный раствор с pH=4.

### Уход и чистка

Налёт на измерительной поверхности электрода может привести к неправильным показаниям, укорочению диапазона измерений и медленному времени отклика.

Тип налёта определяет методику очистки:

- мягкий налёт можно удалить энергичным перемешиванием, с помощью распылителя или же аккуратным и осторожным протиранием мягкой и чистой неабразивной бумагой или тканью;
- нельзя использовать щётки или абразивные очистители для очистки стеклянных колб электрода;
- твёрдый налёт следует удалять только химическим путём, с помощью минимально агрессивных веществ, способных этот налёт растворить за 1...2 минуты, и не воздействующих на конструкционные элементы датчика.



Рис. 2.87. Электроды с корпусом из Ryton™

**Никогда не следует полировать или шлифовать поверхность pH-электрода.**

Электрод датчика ОВП можно аккуратно отшлифовать влажной наждачной бумагой №600, ювелирной полировальной пудрой или очень тонкой стальной ватой, но перед шлифовкой всё-таки рекомендуется попробовать удалить налёт химическим путём.

### Восстановление электрода

Если есть необходимость восстановления стареющего электрода, рекомендуется испробовать следующие методы химической обработки. Методы приведены в порядке увеличения силы воздействия на материал электрода.

**Следует иметь в виду, что это воздействие может не улучшить, а ухудшить характеристики датчика.**

- Окунуть наконечник электрода в 0,1 моль HCl на 15 секунд, промыть в водопроводной воде, а затем погрузить в 0,1 моль раствор NaOH на 15 секунд и промыть в водопроводной воде. Повторить эту последовательность три раза, а затем ещё раз проверить работоспособность электрода.

Если производительность не была восстановлена, следует выполнить следующий шаг.

- Окунуть наконечник электрода в 20% раствор бифторида аммония ( $\text{NH}_4\text{HF}_2$ ) на 2...3 минуты, промыть в водопроводной воде и ещё раз проверить производительность.

Если производительность не была восстановлена, следует выполнить следующий шаг.

- Погрузить наконечник электрода в 5% раствор HF на 10...15 секунд, хорошо промыть в водопроводной воде, затем быстро промыть в 5 моль HCl, хорошо промыть в водопроводной воде и проверить работоспособность.

**Если работоспособность не была восстановлена, следует использовать другой pH-электрод.**

Металлические поверхности датчика ОВП рекомендуется очищать, например, зубной пастой или очень тонкими абразивами.



### Меры предосторожности:

- накидные гайки ротаметров откручивать осторожно, не допуская выпадения поплавка;
- дифторид аммония и плавиковая кислота чрезвычайно опасны и должны использоваться только квалифицированным персоналом.

### Калибровка

Процесс калибровки датчиков имеет важнейшее значение для получения точных и стабильных данных.

Периодичность калибровки прежде всего зависит от типа электрода и измеряемой среды. Кроме того, она зависит от температуры измеряемой среды, а так же от требуемой точности измерений. В общем случае может оказаться достаточной автоматическая калибровка в буферных растворах с pH = 4, pH = 7 или pH = 10.

Необходимо учитывать, что буферный раствор pH = 10 менее стабилен, чем раствор pH = 4, так как в нём может быть растворён углекислый газ, поэтому, если для нескольких калибровок используется одна и та же ёмкость с раствором, лучше предпочесть pH = 4. Чтобы избежать загрязнения буферного раствора, перед каждым измерением следует промывать электрод водой.

Если требуется повысить точность измерений для раствора с фиксированным pH, для калибровки датчика рекомендуется применять буферный раствор с pH, близким к этому значению.

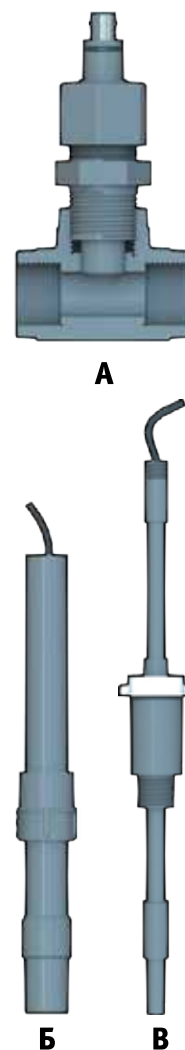


Рис. 2.88. Датчики pH/ОВП по способу монтажа

## 2.11. Выбор датчика электропроводности

### 2.11.1. Конструкция датчиков электропроводности

#### ► Измерение электропроводности

Электропроводность (проводимость) – это способность раствора электролита пропускать электрический ток. Электрический заряд переносится катионами и анионами. В Международной системе единиц (СИ) единицей измерения электрической проводимости является сименс (русское обозначение: См; международное: S), определяемый как  $1 \text{ См} = 1 \text{ Ом}^{-1}$ , то есть как электрическая проводимость участка электрической цепи сопротивлением  $1 \text{ Ом}$  при температуре  $+25 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Электропроводность раствора зависит от концентрации, подвижности и валентности ионов, а также от температуры.

Проводимость измеряется путём приложения определённого напряжения ( $U$ ) к двум электродам, погруженным в раствор на определённом расстоянии ( $d$ ). Во время этого процесса катионы мигрируют к отрицательному электроду, анионы – к положительному. Сам раствор действует как электрический проводник. Измеряется электрический ( $I$ ), а по нему рассчитывается проводимость или удельное сопротивление (см. Рис. 2.89).

Важной характеристикой датчиков электропроводности (кондуктометров) является т.н. постоянная ячейки. Она определяется как отношение расстояния ( $d$ ) между электродами к площади ( $S$ ) электродов:

$$K = d/S \quad [51], \text{ где}$$

- $K$  – постоянная ячейки ( $\text{м}^{-1}$ );
- $d$  – расстояние между электродами ( $\text{м}$ );
- $S$  – суммарная площадь электродов ( $\text{м}^2$ ).

Значение электропроводности  $k$  вычисляется по формуле:

$$k = (d/S) \times (1/R) = K \times (1/R) \quad [52], \text{ где}$$

- $k$  – электропроводность ( $\text{См/м}$ );
- $d$  – расстояние между электродами ( $\text{м}$ );
- $S$  – суммарная площадь электродов ( $\text{м}^2$ );
- $K$  – постоянная ячейки ( $\text{м}^{-1}$ );
- $R$  – удельное сопротивление ( $\text{ом}\cdot\text{м}$ ).

Постоянная ячейки имеет основополагающее значение для расчёта проводимости, поскольку она напрямую влияет на чувствительность и точность измерения.

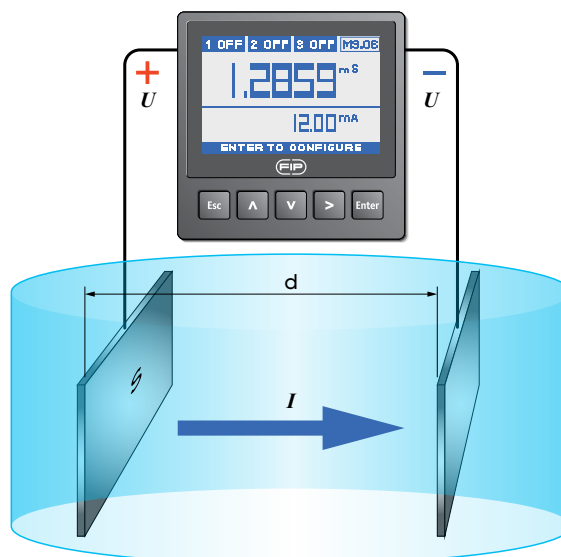


Рис. 2.89. Устройство датчика электропроводности

В частности, для обеспечения хороших результатов при измерении образцов с низкой проводимостью (и, следовательно, с высоким удельным сопротивлением) требуется выбрать прибор более низкой постоянной ячейки. И наоборот: при измерении образцов с высокой проводимостью (а потому – с низким удельным сопротивлением) требуются датчики с более высокой постоянной ячейки. Измерительный прибор должен знать точную постоянную ячейки подключённого к нему датчика и соответствующим образом нормализовать показания.

В качестве примера в Таб. 2.29 приведены характерные измерения для датчиков с различными значениями постоянной ячейки.

Таб. 2.29. Диапазоны измерений датчиков электропроводности в зависимости от постоянной ячейки

Постоянная ячейки $K, \text{ м}^{-1}$	0,01	0,1	1	10
Диапазон измерений, мкСм	0,055...200	0,1...2000 Оптимум: 0,5...200	0,1...20 000 Оптимум: 5...10 000	10...200 000 Оптимум: 500...200 000
Примеры измерения	Сверхчистая вода	Деионизированная, дистиллированная вода	Дистиллированная, водопроводная вода, градирни	Стоки, морская вода

## Электропроводность и температура

Температура оказывает значительное влияние на электропроводность.

В общем случае повышение температуры раствора вызывает снижение его вязкости и увеличение подвижности и количества ионов в растворе за счёт диссоциации молекул. Поскольку электропроводность раствора зависит от этих факторов, повышение температуры приводит к увеличению его проводимости.

При низких концентрациях ионов (например, в сверхчистой воде), ионизация воды приводит к образованию нескольких проводящих ионов: этот процесс зависит от температуры, и в результате электропроводность зависит от температуры. Эта зависимость обычно выражается как относительное изменение электропроводности на один градус Цельсия при определённой температуре, называемой эталонной температурой, обычно соответствующей +18 °С, +20 °С или +25 °С.

Скорость, с которой увеличивается проводимость раствора, называется температурным коэффициентом вариации или температурным коэффициентом термокомпенсации.

Этот коэффициент различен для различных растворов или смесей. Некоторые его значения приведены в Таб. 2.30. При измерении электропроводности при высоких и низких температурах данные обычно нормализуются (пересчитываются) к стандартной температуре +25 °С.

Таб. 2.30. Температурный коэффициент термокомпенсации для некоторых сред

Среда	Коэффициент термокомпенсации, %/°С при +25 °С
Сверхчистая вода	5,50
NaOH (5%)	2,01
NaOH (30%)	4,50
HCl (5%)	1,58
HCl (30%)	1,52
KCl (5%)	2,01
KCl (20%)	1,68
Чистая вода	~2,00

Небольшая разница в температуре приводит к большой разнице в проводимости, и этот эффект очень неудобен, когда требуется высокая точность измерений.

### ► Электроды датчиков электропроводности

Существует три типа датчиков электропроводности, рассчитанных на различные условия применения.

#### i. Датчики с графитовыми и платиновыми электродами

Эти датчики проводимости оснащены графитовыми или платиновыми электродами для обеспечения высокой точности измерений, а корпус из эпоксидной смолы гарантирует высокое сопротивление агрессивным средам и надёжность работы (см. Рис. 2.90).

Датчики этого типа способны обеспечить точное измерение с высоким разрешением благодаря входящему в комплект датчику температуры и электронному блоку автоматической температурной компенсации.

Кроме того, электроды эффективно защищены, поэтому маловероятно, что они будут повреждены присутствующими в среде твёрдыми частицами.

Датчики этого типа выпускаются с ячейками с  $K=0,1$ ,  $K=1$  и  $K=10$ . Они используются в лабораториях и в промышленности при работе с чистыми средами. Области применения:

- измерение концентрации химических веществ;
- пищевая промышленность;
- выработка пара;



Рис. 2.90. Датчики с графитовыми и платиновыми электродами

- обработка металла и добыча полезных ископаемых;
- текстильная промышленность;
- целлюлозно-бумажная промышленность;
- промышленная очистка воды;
- обратный осмос;
- деионизация воды;
- дистилляция воды;
- гидропоника;
- сельское хозяйство, системы внесения удобрений.

## ii. Датчики с электродами из нержавеющей стали

Выпускается две разновидности датчиков этого типа. В частности, серия С100 предназначена для сельского хозяйства, а также для применения в лёгкой промышленности и при работе с загрязнёнными жидкостями, где условия позволяют использовать нержавеющую сталь (см. Рис. 2.91). Типичные области применения:

- очистка воды;
- пищевая промышленность;
- сельское хозяйство;
- питание котлов электростанций водой.



Рис. 2.91. Датчики с электродами из нержавеющей стали

Этот тип датчиков характеризуется особенно хорошим соотношением стоимости и производительности.

Благодаря входящему в комплект датчику температуры и электронному блоку автоматической температурной компенсации датчики этого типа имеют высокую точность измерений. Кроме того, датчики выпускаются с широким диапазоном значений постоянной ячейки, что позволяет использовать их в самых различных областях.

Серия С300 была разработана специально для мониторинга сверхчистой воды (постоянная ячейки 0,01), и для измерений электропроводности сточных вод (постоянная ячейки 10).

## Индуктивные датчики электропроводности

В состав индуктивных датчиков электропроводности входит устройство преобразования сигнала к стандартным аналоговым токам 4...20 мА.

Эта технология позволяет очень широко использовать такие датчики, особенно для измерения высоких значений проводимости (10...1000 мС) в агрессивных средах, поскольку со средой фактически контактирует лишь корпус из ХПВХ (см. Рис. 2.92).

Поскольку электроды не соприкасаются непосредственно со средой, гарантируются надёжные и стабильные результаты измерений в течение длительного времени работы. В состав прибора также входит датчик температуры и электронный блок автоматической температурной компенсации.

Основные области применения индуктивных датчиков электропроводности:

- очистка воды и сточных вод;
- градирни;
- скрубберы;
- финишная отделка металлов;
- защита металлов от коррозии.



Рис. 2.92. Индуктивные датчики электропроводности



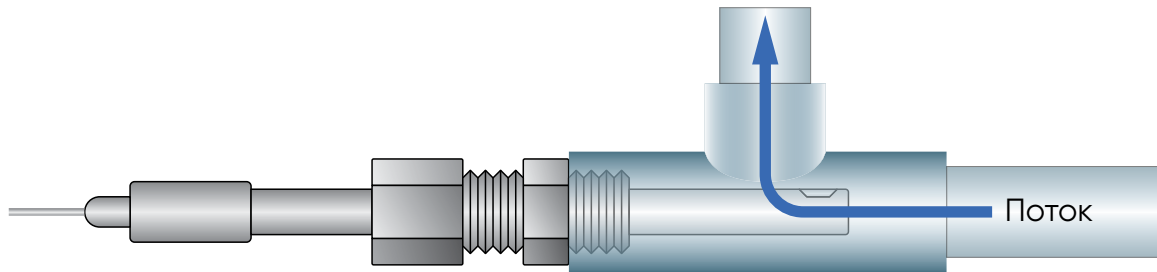


Рис. 2.93. Предпочтительная установка проточных датчиков электропроводности

## 2.11.2. Монтаж датчиков электропроводности

Конструктивно датчики исполняются в двух вариантах:

- проточные датчики;
- погружные датчики.

### ► Рекомендации по установке

#### i. Проточные датчики

В этом исполнении выпускаются все типы датчиков электропроводности. Установку проточных датчиков можно производить двумя способами:

- вертикально на прямом участке трубопроводе с использованием подходящего Т-образного фитинга. Установка должна выполняться «вверх ногами» (или, по крайней мере, под углом 45°), чтобы предотвратить попадание воздуха между электродами;
- через боковую часть Т-образного фитинга. Этот тип установки предпочтителен, поскольку такая конфигурация снижает вероятность попадания пузырьков воздуха и лучше всего обеспечивает непрерывные измерения (см. Рис. 2.93).

Датчики электропроводности могут корректно работать в любом положении. Следует, однако, устанавливать их так, чтобы электроды всегда находились в измеряемой жидкости.

#### ii. Погружные датчики

В этом исполнении производятся датчики электропроводности с электродами из графита или платины (см. Рис. 2.94). Датчик следует устанавливать вблизи выходного отверстия резервуара и как можно дальше от точек ввода дозирующих растворов, чтобы увеличить точность измерений.

### ► Руководство по эксплуатации

#### Хранение и очистка

Все датчики электропроводности можно чистить мягким моющим средством. Кроме того, датчики с графитовыми или платиновыми электродами можно чистить 5% раствором HCl.

Не следует шлифовать или полировать сами электроды абразивами, так как при этом может измениться площадь электродов, что неизбежно приведёт к искажению измерений. В любом случае можно использовать любые моющие средства, химически совместимые с материалом электродов и корпуса датчика.

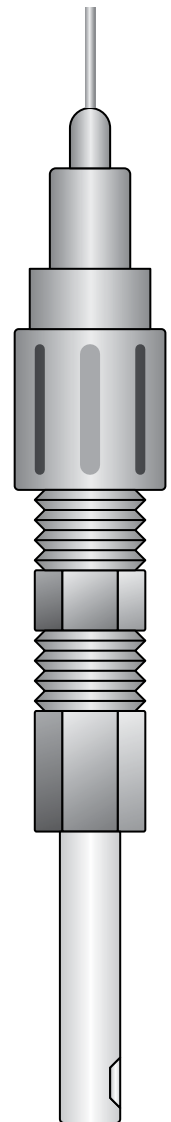


Рис. 2.94. Предпочтительная установка погружных датчиков электропроводности

## Калибровка

Регулярная калибровка имеет основополагающее значение для достижения хорошей точности и надёжности измерений.

Частота калибровки зависит от датчика, от измеряемой среды и от критичности точности самих измерений.

Всегда следует обращать внимание, чтобы во время калибровки в среде не было пузырьков воздуха, так как это может привести к ошибочным измерениям и неверной калибровке. Поскольку температура сильно влияет на измерение электропроводности, необходимо обратить внимание на следующие моменты:

- **контрольная температура.** Она должна быть одинаковой для измеряемой среды и для калибровочного раствора;
- **температурная компенсация.** Если она реализована в датчике и активирована, следует использовать значение проводимости калибровочного раствора при контрольной температуре. Если она не активирована, рекомендуется использовать значение проводимости калибровочного раствора при температуре калибровочного раствора;
- **коэффициент температурной компенсации.** Следует убедиться, что он подходит для калибровки и для измеряемого раствора.









# Рекомендации по монтажу



### 3.1. Способы соединения

Одной из причин, по которой все больше проектировщиков в гражданском и промышленном секторе выбирают полимерные трубопроводные системы, является простота соединения и монтажа разнообразными способами. В сочетании с рассмотренными выше физико-химическими особенностями полимерных трубопроводных систем (стойкость к химическим реагентам, коррозионная стойкость) это привело к существенному снижению затрат на монтаж и обслуживание. Поэтому в средне- и долгосрочных проектах использование таких трубопроводов часто становится предпочтительнее систем из традиционных материалов.

В зависимости от типа желаемых соединений, физико-механических характеристик выбранных конструкционных материалов и условий эксплуатации соединения труб и фитингов из термопластов может быть осуществлено несколькими различными методами, которые требуют очень разных инвестиций и затрат.

Все методы соединения полимерных труб можно разделить на две группы: неразъёмные соединения и разъёмные соединения.

В этом разделе будут даны практические советы монтажникам, которым впервые приходится иметь дело с установкой и монтажом полимерных труб и фитингов. Материал раздела – обобщение данных и информации, которые считаются необходимыми и полезными для выполнения правильного монтажа компонентов из термопластических материалов в соответствии с методиками, принятыми в настоящее время при изготовлении труб для транспортировки жидкостей под давлением.

#### Неразъёмные соединения

Неразъёмные соединения – это соединения, которые используют необратимые физико-химические процессы для создания неразборных трубопроводных систем.

Неразъёмные соединения широко используются там, где требуется высокая механическая прочность соединения и чрезвычайная безопасность при транспортировке опасных или токсичных жидкостей, а также веществ, чувствительных к загрязнениям любой природы.

К методам, создающим неразъёмные соединения, относятся следующие (подробнее они будут рассмотрены ниже):

- холодная сварка (сварка растворителем);
- стыковая сварка;
- инфракрасная сварка;
- сварное соединение в раструб;
- сварка горячим газом;
- электрофузионная (электромужфтовая) сварка.

**Знания и навыки, необходимые для выполнения монтажных и ремонтных работ, изложены в Стандарте EN 13067.**

После описания каждого метода соединений даны наиболее распространённые дефекты, которые могут проявиться при монтаже. Более подробная информация содержится в Стандарте EN 14728:2019.

#### Разъёмные соединения

Разъёмные соединения – это системы, которые созданы с помощью определённых механических соединений, позволяющих демонтировать элементы трубопровода без ущерба для его целостности. Эти соединения применяются там, где необходимо периодическое обслуживание и/или проверка труб.

Основные системы разъёмных соединений:

- фланцевые соединения;
- резьбовые соединения;
- соединения посредством муфт Straub.



### 3.1.1. Холодная сварка (сварка растворителем)

Холодная сварка (или химическая сварка растворителями) – наиболее распространённый метод соединения труб, фитингов и клапанов из НПВХ, ХПВХ и АБС.

Применительно к монтажу полимерных трубопроводов термины «клей» и «цемент-растворитель» часто используются равноправно, поскольку оба материала выполняют одну и ту же соединительную функцию. Однако технология соединения отличается принципиально.

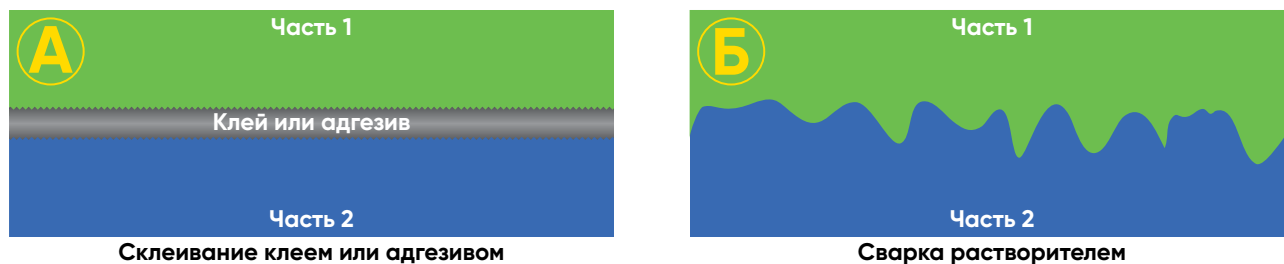


Рис. 3.1. Клеевое соединение и сварка растворителем («холодная сварка»)

Слой клея или адгезива между двумя деталями соединяет их силами сцепления (см. Рис. 3.1, поз. А). Силы сцепления – это силы, которые соединяют клей с каждой деталью, а сила сцепления удерживает клей на себе.

Сварка растворителем работает совершенно иначе – с помощью смеси из растворителя НПВХ, ХПВХ или АБС и растворённого в ней соответствующего материала. Эта смесь, растворитель, разжижает поверхности соединяемых деталей, давая возможность материалу взаимопроникать друг в друга, давая прочное и надёжное соединение (см. Рис. 3.1, поз Б).

Этот метод позволяет получать неразъёмные соединения с механическими и химическими характеристиками, аналогичными соответствующим характеристикам используемых труб и фитингов.

Растворитель выбирается в зависимости от материала соединяемых деталей. Для различных типов полимеров применяются различные растворители.

Следует подчеркнуть, что этот метод соединения должен применяться только для монтажа элементов из одинакового типа полимеров. Растворитель также должен соответствовать соединяемому материалу.

**Холодную сварку нельзя применять для соединения деталей из различных полимеров.**

#### ► Монтаж трубопроводных систем из НПВХ

Монтаж трубопроводных систем из НПВХ производится сваркой растворителем, как наиболее простым и доступным методом, требующим минимального количества ресурсов.

Этот метод монтажа требует применения фитингов с раструбами. При этом получаются очень прочные соединения, отвечающие требованиям безопасности и с прочностными характеристиками, соответствующими характеристикам материала трубопровода.

Если не указано иное, соединяемые поверхности должны отвечать следующим допускам:

- максимальный натяг – 0,2 мм;
- максимальный заполняемый растворителем зазор – 0,6 мм.

В нижеследующей таблице даны значения давления при гидравлических испытаниях, которое должно выдерживать сварное соединение согласно Стандарту ISO 15493 (с учётом коэффициента запаса 2,5).

Таб. 3.1. Гидравлические испытания сварных соединений деталей из НПВХ по ISO 15493

Тестовая температура, °С	Мин. длительность теста, час	Тестовое давление, кг/см <sup>2</sup>
+20	1000	0,6 × PN
+60	1000	1,7 × PN

Поскольку не допускаются сварные соединения разнородных материалов, сварка часто комбинируется с разъёмными методами монтажа: фланцевыми и резьбовыми и проч. соединениями. Это позволяет создавать сложные трубопроводные системы, содержащие разнообразными контрольно-измерительные приборы и аксессуары.

Для получения качественного соединения необходимо выбрать и использовать наиболее подходящий растворитель, специально разработанный для соединения труб и фитингов из жёсткого НПВХ, и соответствующий по характеристикам (например, по вязкости, по времени схватывания и проч.) как габаритам соединительных элементов трубопровода, так и запроектированным условиям эксплуатации.

### Инструкция по холодной сварке труб и фитингов из НПВХ

Перед началом любых операций необходимо проверить эффективность и состояние используемого оборудования и собираемых деталей, в частности однородность, текучесть и срок годности растворителя.

Основные этапы работы.

- 1] Отрезать трубу строго перпендикулярно её оси. Предпочтительно использовать роликовый труборез, специально разработанный для резки полимерных труб (см. Рис. 3.2).
- 2] Снять фаску под углом 15° с наружных краёв труб. Эта операция строго обязательна, поскольку при отсутствии фаски труба при входе в фитинг может соскоблить нанесённый растворитель, что ухудшит прочность соединения. Снимать фаску следует посредством специального инструмента. Параметры фаски указаны на Рис. 3.4 и в Таб. 3.2.



Рис. 3.2. Резка трубы

Таб. 3.2. Параметры фаски в зависимости от внешнего диаметра трубы (НПВХ)

Внешний диаметр трубы D <sub>е</sub> , мм	Ширина слоя растворителя L, мм	Длина фаски s, мм
16	14,0	—
20	16,0	1,5
25	18,5	3,0
32	22,0	3,0
40	26,0	3,0
50	31,0	3,0
63	37,5	5,0
75	43,5	5,0
90	51,0	5,0
110	61,0	5,0
125	68,5	5,0
140	76,0	5,0
160	86,0	5,0
180	96,0	5,0...6,0
200	106,0	5,0...6,0
225	118,5	5,0...6,0
250	131,0	5,0...6,0
280	146,0	5,0...6,0
315	163,5	5,0...6,0



Рис. 3.3. Снятие фаски

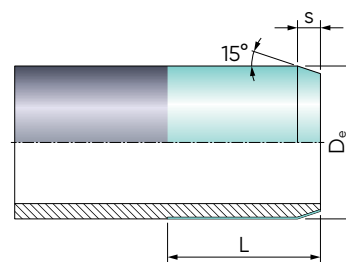


Рис. 3.4. Параметры фаски (НПВХ)

- 3] Измерить глубину растрюба фитинга до внутреннего выступа (см. Рис. 3.5).



Рис. 3.5. Определение глубины растрюба

- 4] Отметить соответствующее расстояние на конце трубы. **Внимание:** не следует царапать поверхность трубы! Отметки следует наносить только маркером (см. Рис. 3.6).



Рис. 3.6. Отметка глубины вставки на трубе

- 5] Используя чистое бумажное полотенце или аппликатор, смоченный очистителем-грунтовкой, удалить все следы грязи или жира с внешней поверхности трубы по всей длине зоны нанесения растворителя (см. Рис. 3.7). Повторить ту же операцию на внутренней поверхности растрюба фитинга, чтобы размягчить обе свариваемые поверхности. Дать поверхностям подсохнуть в течение нескольких минут, прежде чем наносить растворитель. Кроме очистки поверхности очиститель-грунтовка выполняет важную роль: размягчает свариваемые поверхности перед нанесением растворителя. Это позволяет получить идеальное соединение. **Внимание:** следует избегать контакта с очищенными и прогрунтованными соединениями.



Рис. 3.7. Очистка трубы и фитинга

- 6] Равномерно нанести растворитель в продольном направлении на обе собираемые детали, то есть на внешнюю поверхность трубы и внутреннюю поверхность фитинга. Слой растворителя следует нанести на всю ширину отмеченной на трубе области (см. Рис. 3.8, поз. А), а также на всю глубину растрюба фитинга до внутреннего упора (см. Рис. 3.8, поз. Б).



Рис. 3.8. Нанесение растворителя

Для нанесения растворителя рекомендуется использовать грубую и чистую щётку или специальный аппликатор соответствующего размера и формы. Размер щётки (аппликатора) должен быть не меньше половины диаметра трубы. Более подробная информация содержится в Таб. 3.3.

Таб. 3.3. Размер щётки или аппликатора в зависимости от диаметра трубы

Внешний диаметр трубы $D_e$ , мм	Тип кисти или аппликатора	Диаметр кисти или аппликатора, мм
16...25	Круглая	8...10
32...63	Круглая	20...25
75...160	Плоская/шарообразная	45...50
> 160	Плоская/цилиндрическая	45...50
> 160...315	Плоская/цилиндрическая	60...65

7] Труба должна быть вставлена в фитинг или клапан сразу после нанесения растворителя, без вращения. Только вставив трубу до внутреннего ограничителя в фитинге, её можно повернуть максимум на  $\frac{1}{4}$  оборота (Рис. 3.9).

8] В зависимости от внешнего диаметра трубы из-за трудностей обращения с габаритными деталями, вставку трубы в фитинг необходимо выполнять:

- вручную одним человеком – для наружных диаметров менее 90 мм;
- вручную двумя людьми – для наружных диаметров 90...160 мм;
- с использованием специальных механических съёмников – для наружных диаметров >160 мм.

9] Сразу же после установки трубы в фитинг следует надавливать на соединяемые детали в течение нескольких секунд. Затем с помощью крепированной бумаги или чистой ткани нужно удалить излишки растворителя с наружных поверхностей трубы и, по возможности, с внутренних поверхностей фитинга (см. Рис. 3.10).

10] Свариваемые детали необходимо оставить в покое, чтобы растворитель испарился естественным путём, не создавая очагов напряжений (см. Рис. 3.11). Время полного высыхания зависит от нагрузок, которым будет подвергаться соединение. В зависимости от температуры окружающей среды необходимо соблюдать следующие минимальные сроки:

- перед дальнейшей обработкой соединения (время схватывания):
  - от 5 до 10 минут при температуре окружающей среды  $>10$  °С;
  - от 15 до 20 минут при температуре окружающей среды  $<10$  °С;
- для соединений любого размера, работающих при любых давлениях, не подлежащих гидравлическим испытаниям:
  - 1 час на каждую атмосферу рабочего давления;
- для соединений любого диаметра, подлежащих гидравлическим испытаниям на давление до PN16:
  - 24 часа.

Указанное выше время полного высыхания растворителя действительно при температуре окружающей среды  $+25$  °С. Для получения информации о времени схватывания и полного высыхания для конкретных климатических условий рекомендуется обратиться в отдел технического обслуживания компании Aliaxis и/или непосредственно к производителю растворителя.



Рис. 3.9. Ввод трубы в фитинг



Рис. 3.10. Очистка соединения от избытков растворителя



Рис. 3.11. Фиксация соединения

## Расход растворителя при работе с трубопроводами из НПВХ

Расход растворителя зависит от целого ряда факторов: условий окружающей среды, диаметра труб, вязкости растворителя, квалификации монтажника и проч. Его зачастую трудно оценить количественно.

В см. Таб. 3.4 приведены приблизительные количества растворителя, которые обычно расходуются для сварки труб и фитингов из НПВХ.

Таб. 3.4. Средний расход растворителя в зависимости от диаметра труб (НПВХ)

Диаметр трубы, мм	Кол-во соединений на 1 кг растворителя
16	550
20	500
25	450
32	400
40	300
50	200
63	140
75	90
90	60
110	40
125	30
140	25
160	15
180	12
200	10
225	6
250	4
280	2
315	2

### ► Монтаж трубопроводных систем из ХПВХ

Благодаря высокой механической прочности и химической устойчивости трубопроводные системы из ХПВХ представляют собой одно из наиболее экономичных решений в области горячего и холодного водоснабжения, а также транспортировки агрессивных сред под давлением.

Основными причинами такого предпочтения являются следующие свойства ХПВХ:

- высокая устойчивость к особо агрессивным химическим веществам;
- инертность к электрохимической коррозии (трубопроводы из ХПВХ оптимальны для подачи горячей воды с традиционных установок и с солнечных батарей);
- низкий коэффициент теплопроводности устраняет многие проблемы, связанные с конденсацией;
- высокая устойчивость к старению, обусловленная химико-физическими свойствами ХПВХ;
- высокая гладкость поверхности труб значительно снижает потери жидкости на трение и рост налёта и водорослей;
- возможность транспортировки пищевых жидкостей;
- высокая термостойкость при температурах до +100 °С;
- высокая устойчивость к горению.

В нижеследующей таблице даны значения давления при гидравлических испытаниях, которое должно выдерживать сварное соединение согласно Стандарту ISO 15493 (с учётом коэффициента запаса 2,5).

Таб. 3.5. Гидравлические испытания сварных соединений деталей из ХПВХ по ISO 15493

Тестовая температура, °С	Мин. длительность теста, час	Тестовое давление, кг/см <sup>2</sup>
+20	1000	0,5×PN
+80	1000	1,7×PN

Для деталей из ХПВХ также не допускаются сварные соединения с элементами из других материалов, поэтому сварка часто комбинируется с разъёмными методами монтажа: фланцевыми и резьбовыми и иными соединениями.

Если не указано иное, соединяемые поверхности должны отвечать следующим допускам:

- максимальный натяг – 0,2 мм;
- максимальный заполняемый растворителем зазор – 0,3 мм.

### Инструкция по холодной сварке труб и фитингов из ХПВХ

Перед началом любых операций необходимо проверить эффективность и состояние используемого оборудования и собираемых деталей, в частности однородность, текучесть и срок годности растворителя.

Основные этапы работы.

- 1] Отрезать трубу строго перпендикулярно её оси. Предпочтительно использовать роликовый труборез, специально разработанный для резки полимерных труб (см. Рис. 3.12).
- 2] Снять фаску под углом 15° с наружных краёв труб. Эта операция строго обязательна, поскольку при отсутствии фаски труба при входе в фитинг может соскоблить нанесённый растворитель, что ухудшит прочность соединения. Снимать фаску следует посредством специального инструмента. Параметры фаски указаны на Рис. 3.14 и в Таб. 3.6.

Таб. 3.6. Параметры фаски в зависимости от внешнего диаметра трубы (ХПВХ)

Внешний диаметр трубы $D_e$ , мм	Ширина слоя растворителя $L$ , мм	Длина фаски $s$ , мм
16	14,0	1,5
20	16,0	1,5
25	18,5	3,0
32	22,0	3,0
40	26,0	3,0
50	31,0	3,0
63	37,5	5,0
75	43,5	5,0
90	51,0	5,0
110	61,0	5,0
160	86,0	5,0
225	118,5	5,0...6,0



Рис. 3.12. Резка трубы



Рис. 3.13. Снятие фаски

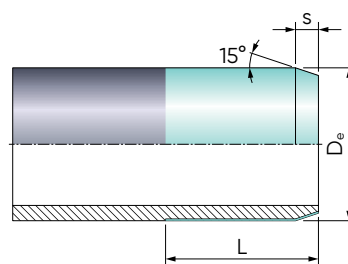


Рис. 3.14. Параметры фаски (ХПВХ)

- 3] Измерить глубину раструба фитинга до внутреннего выступа (Рис. 3.15).



Рис. 3.15. Определение глубины раструба



- 4] Отметить соответствующее расстояние на конце трубы. **Внимание:** не следует царапать поверхность трубы! Отметки следует наносить только маркером (см. Рис. 3.16).



Рис. 3.16. Отметка глубины вставки на трубе

- 5] Используя чистое бумажное полотенце или аппликатор, смоченный очистителем-грунтовкой, удалить все следы грязи или жира с внешней поверхности трубы по всей длине зоны нанесения растворителя. Повторить ту же операцию на внутренней поверхности раструба фитинга, чтобы размягчить обе свариваемых поверхности. Дать поверхностям подсохнуть в течение нескольких минут, прежде чем наносить растворитель. Кроме очистки поверхности очиститель-грунтовка выполняет важную роль: размягчает свариваемые поверхности перед нанесением растворителя. Это позволяет получить идеальное соединение. **Внимание:** следует избегать контакта с очищенными и прогрунтованными соединениями.



- 6] Равномерно нанести растворитель в продольном направлении на обе собираемые детали, то есть на внешнюю поверхность трубы и внутреннюю поверхность фитинга. Слой растворителя следует нанести на всю ширину отмеченной на трубе области (см. Рис. 3.17, поз. А), а также на всю глубину раструба фитинга до внутреннего упора (см. Рис. 3.17, поз. Б).



Для нанесения растворителя рекомендуется использовать грубую и чистую щётку (см. Рис. 3.17, поз. В) или специальный аппликатор соответствующего размера и формы (см. Рис. 3.17, поз. Г). Размер щётки (аппликатора) должен быть не меньше половины диаметра трубы. Более подробная информация содержится в Таб. 3.7.



Таб. 3.7. Размер щётки или аппликатора в зависимости от диаметра трубы

Внешний диаметр трубы $D_e$ , мм	Тип кисти или аппликатора	Диаметр кисти или аппликатора, мм
16...25	Круглая	8...10
32...63	Круглая	20...25
75...160	Плоская/ шарообразная	45...50
>160	Плоская/ цилиндрическая	45...50



Рис. 3.17. Процесс нанесения растворителя на фитинг

**7]** Труба должна быть вставлена в фитинг как можно быстрее. Рекомендуется не более чем через 20...25 секунд.

В зависимости от внешнего диаметра трубы из-за трудностей обращения с габаритными деталями, вставку трубы в фитинг необходимо выполнять:

- вручную одним человеком — для наружных диаметров менее 90 мм;
- вручную двумя людьми — для наружных диаметров 90...160 мм;
- с использованием специальных механических съёмников — для наружных диаметров >160 мм.



Рис. 3.18. Процесс сварки

**8]** Сразу же после установки трубы в фитинг следует надавливать на соединяемые детали в течение нескольких секунд. Затем с помощью крепированной бумаги или чистой ткани нужно удалить излишки растворителя с наружных поверхностей трубы и, по возможности, с внутренних поверхностей фитинга (см. Рис. 3.18).

**9]** Свариваемые детали необходимо оставить в покое, чтобы растворитель испарился естественным путём, не создавая очагов напряжений (см. Рис. 3.19). Время полного высыхания зависит от нагрузок, которым будет подвергаться соединение. В зависимости от температуры окружающей среды необходимо соблюдать следующие минимальные сроки:

- перед дальнейшей обработкой соединения (время схватывания):
  - от 5 до 10 минут при температуре окружающей среды >10 °С;
  - от 15 до 20 минут при температуре окружающей среды <10 °С;
- для соединений любого размера работающих при любых давлениях, не подлежащих гидравлическим испытаниям:
  - 1 час на каждую атмосферу рабочего давления;
- для соединений любого диаметра, подлежащих гидравлическим испытаниям на давления до PN16:
  - 24 часа.



Рис. 3.19. Фиксация соединения

**Указанное выше время полного высыхания растворителя действительно при температуре окружающей среды +25 °С. Для получения информации о времени схватывания и полного высыхания для конкретных климатических условий рекомендуется обратиться в отдел технического обслуживания компании Aliaxis и/или непосредственно к производителю растворителя.**

### Расход растворителя при работе с трубопроводами из ХПВХ

Расход растворителя зависит от целого ряда факторов: условий окружающей среды, диаметра труб, вязкости растворителя, квалификации монтажника и проч. Его зачастую трудно оценить количественно.

В Таб. 3.8 приведены приблизительные количества растворителя, которые обычно расходуются для сварки труб и фитингов из ХПВХ.

Таб. 3.8. Средний расход растворителя в зависимости от диаметра труб (ХПВХ)

Диаметр трубы, мм	Кол-во соединений на 1 кг растворителя
16	550
20	500
25	450
32	400
40	300
50	200
63	140
75	90
90	60
110	40
160	15
225	6

### ► Монтаж трубопроводных систем из АБС

Основные свойства АБС, позволяющие использовать его в самых разных областях: от перекачки агрессивных и абразивных жидкостей до транспортировки пищевых продуктов:

- высокая износостойкость (подходит для транспортировки агрессивных суспензий и абразивов);
- низкая шероховатость поверхности, которая значительно снижает потери на трение жидкости и рост отложений и эрозии;
- широкий диапазон рабочих температур – от  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- высокая ударная прочность до температур  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- возможность транспортировать пищевые продукты.

При монтаже трубопроводов из ABS действуют те же правила, что и в случае НПВХ и ХПВХ.

Если не указано иное, соединяемые поверхности должны отвечать следующим допускам:

- максимальный натяг – 0,6 мм;
- максимальный заполняемый растворителем зазор – 0,2 мм.

В нижеследующей таблице даны значения давления при гидравлических испытаниях, которое должно выдерживать сварное соединение согласно Стандарту ISO 15493 (с учётом коэффициента запаса 1,8).

Таб. 3.9. Гидравлические испытания сварных соединений деталей из АБС по ISO 15493

Тестовая температура, $^{\circ}\text{C}$	Мин. длительность теста, час	Тестовое давление, кг/см <sup>2</sup>
+20	1000	2,0×PN

Как и в случае с другими полимерами, детали из АБС так же не допускается непосредственно сваривать с элементами из других материалов, поэтому сварка часто комбинируется с разъёмными методами монтажа: фланцевыми и резьбовыми и иными соединениями.

### Монтаж изделий из АБС рекомендуется выполнять растворителем типа Duraripе ABS.

После обработки поверхности абразивной бумагой рекомендуется использовать очиститель типа МЭК (метил-этилкетон), прежде чем приступить к нанесению растворителя.

### Инструкция по сварке труб и фитингов из АБС

Перед началом любых операций необходимо проверить эффективность и состояние используемого оборудования и собираемых деталей, в частности однородность, текучесть и срок годности растворителя.

### Не следует пытаться увеличить зазор между трубой и фитингом.

Основные этапы работы.

- 1) Труба должна быть сухой и чистой. Отрезать трубу строго перпендикулярно её оси. Предпочтительно использовать роликовый труборез, специально разработанный для резки полимерных труб (см. Рис. 3.20).



Рис. 3.20. Резка трубы

- 2] Специальным инструментом снять фаску под углом  $45^\circ$  с наружных краёв труб. Ширина фаски – 3...5 мм в зависимости от диаметра трубы (см. Рис. 3.21).



Рис. 3.21. Снятие фаски

- 3] Измерить глубину раструба фитинга до внутреннего выступа. Отметить это расстояние на трубе и очистить трубу на ширину будущего слоя растворителя. Отметка на трубе должна быть видна – для контроля за глубиной её вставки в фитинг (см. Рис. 3.22).



Рис. 3.22. Разметка трубы

- 4] Убедиться, что поверхности соединений чистые и сухие. Используя ткань без ворса или бумажное полотенце, смоченное праймером Durapipe, тщательно очистить свариваемые поверхности (см. Рис. 3.23).



Рис. 3.23. Очистка трубы

- 5] Используя чистую кисть, нанести растворитель на поверхность трубы от конца до отметки, а также на всю глубину раструба фитинга до внутреннего упора. Растворитель следует наносить с помощью кисти и банки соответствующего размера. Важно наносить его быстро и аккуратно, чтобы обеспечить сборку без чрезмерных усилий. Размер кисти должен быть примерно вдвое меньше диаметра трубы. Для банок объемом 0,5 л размер кисти – 63 мм, для банок объемом 1 л – 75 мм (см. Рис. 3.24).



Рис. 3.24. Нанесение растворителя

- 6] Труба должна быть вставлена в фитинг или запорно-регулирующую арматуру сразу после нанесения растворителя, без вращения. После того, как арматура вставлена до упора (контролируется по сделанной ранее отметке на трубе), её можно провернуть максимум на  $\frac{1}{4}$  оборота. Удерживать соединение неподвижно, от одной секунды до одной минуты, в зависимости от диаметра трубы, дождавшись схватывания растворителя. Иначе небольшая конусность внутренней части фитинга может привести к тому, что труба слегка выйдет из фитинга, ухудшив тем самым прочность соединения (см. Рис. 3.25).



Рис. 3.25. Процесс сварки

Правильное количество нанесённого растворителя позволяет сформировать на месте стыка трубы и фитинга аккуратный буртик. Следует избегать чрезмерного количества растворителя внутри фитинга, особенно малого диаметра, так как это может истончить его стенку.

**При работе в холодных условиях всегда следует убедиться в том, что свариваемые поверхности не покрыты влагой или инеем.**

- 7]** Стереть излишки растворителя с внешней стороны соединения.

Используя ранее сделанную на трубе отметку, ещё раз проверить, вставлена ли труба полностью.

- 8]** Не следует трогать сваренное соединение как минимум 10 минут. При больших диаметрах трубы не следует подвергать соединение скручивающим или изгибающим нагрузкам как минимум в течение 4 часов.

При монтаже следующих соединений необходимо следить за тем, чтобы усилия не передавались на уже сваренные элементы в течение всего срока схватывания, указанного в предыдущем пункте.

Время полного высыхания зависит от диаметра трубы, количества используемого растворителя, температуры окружающей среды и рабочего давления монтируемого трубопровода.

В общем случае рекомендуется для труб диаметром до 225 мм установить время полного высыхания не менее 24 часов. Для труб диаметром 250...315 мм – не менее 48 часов. Эти рекомендации справедливы при температуре окружающей среды от +10 °C до +40 °C. Если температура выше или ниже, время полного высыхания следует увеличить.

Время полного высыхания (при температуре окружающей среды от +10 °C до +40 °C и температуре перекачиваемой среды +20 °C) можно оценить по данным Таб. 3.10.

Таб. 3.10. Среднее время полного высыхания растворителя в зависимости от диаметра труб

Диаметр трубопровода, мм	> 75	90...125	140...160	200...225	250...315
Время полного высыхания, часов на 1 бар рабочего давления	0,5/бар	1,0/бар	1,5/бар	2,0/бар	48 минимум

**Внимание.** Время полного высыхания никогда не должно быть меньше 1 часа.

Необходимо помнить, что время высыхания должно быть увеличено при температуре окружающей среды ниже +20 °C и что нельзя выполнять сварные соединения при температуре окружающей среды ниже 0 °C.

За более подробной информацией рекомендуется обращаться в отдел технического обслуживания компании **Aliaxis**.

### Расход растворителя при работе с трубопроводами из АБС

Расход растворителя зависит от целого ряда факторов: условий окружающей среды, диаметра труб, вязкости растворителя, квалификации монтажника и проч. Его зачастую трудно оценить количественно.

В Таб. 3.11 приведены приблизительные количества растворителя, которые обычно расходуются для сваривания труб и фитингов из АБС.

Таб. 3.11. Средний расход растворителя в зависимости от диаметра труб (АБС)

Диаметр трубы, мм	Объём банки, л	Кол-во соединений на 1 кг растворителя
16...32	0,5	400
40...63	0,5	200
75...110	0,5	70
125...140	1,0	20
160...225	1,0	10
250...315	1,0	5



Рис. 3.26. Проверка сваренного соединения

**Общие предупреждения при сварке растворителем**

Во время сварки рекомендуется следовать приведённым ниже рекомендациям.

- 1] В случае, когда внешний диаметр трубы и внутренний диаметр фитинга имеют предельные допустимые отклонения от стандартного размера, сухая труба может не войти в сухой фитинг. Собрать соединение возможно лишь после нанесения праймера и растворителя на обе поверхности после их размягчения.
- 2] При использовании праймера и растворителя следует соблюдать следующие меры предосторожности:
  - использовать перчатки и защитные очки;
  - использовать праймер и растворитель в вентилируемом помещении, чтобы избежать образования воздушных карманов, содержащих повышенные концентрации паров растворителя: они могут раздражать слизистые оболочки и дыхательные пути;
  - поскольку пары летучи, контейнеры с праймером и растворителем должны быть плотно закрыты сразу после использования;
  - пары растворителя склонны к образованию легко воспламеняемых смесей. Поэтому в зоне работ запрещено производить электросварку, пользоваться открытым огнём, курить. Следует избегать работ, связанных с накоплением электростатического электричества. Во всех случаях рекомендуется строго придерживаться инструкций производителя, напечатанных на упаковке;
  - чтобы предотвратить ухудшение характеристик праймера и растворителя, все работы следует производить при температуре окружающей среды от +5 °C до +40 °C;
  - Для достижения нужной скорости нанесения растворителя при работе с трубами диаметром более 140 мм, его следует наносить одновременно на трубу и на фитинг силами двух работников;
- 3] После завершения всех соединений и перед вводом трубопроводов в эксплуатацию следует убедиться, что на внутренней стороне труб и фитингов полностью отсутствуют следы растворителя, а в трубопроводе отсутствуют его пары. Это предотвратит загрязнение транспортируемой среды.
- 4] Не следует закапывать траншеи с трубопроводом ранее чем через 10...12 часов после окончания монтажа.
- 5] Не следует окончательно затягивать фланцевые соединения до истечения предусмотренного времени полного высыхания растворителя в соединениях.
- 6] Шаровые краны компании **Aliaxis** рекомендуется приваривать, предварительно отсоединив корпус, чтобы избежать попадания растворителя на уплотнители.
- 7] Во избежание загрязнения транспортируемых жидкостей (питьевой воды, пищевых продуктов, напитков), следует убедиться, что в смонтированном трубопроводе не осталось паров растворителя.
- 8] При установке запорной арматуры на вертикальных линиях рекомендуется выполнять сварку с отсоединёнными от корпусов запорными элементами, чтобы избежать затекания в арматуру растворителя под действием силы тяжести.
- 9] Правильно выполненные сварные соединения сохраняют все характеристики материала. Возможные дефекты объясняются ошибками при монтаже. Причины ошибок следует анализировать отдельно для каждого случая.

**Области применения и преимущества метода**

Сварка растворителем применяется для создания водопроводов, дренажных и вентиляционных систем, для прокладки канализационных коллекторов в зданиях и под землёй. Важнейшей особенностью этого метода соединения является создание однородных и непрерывных трубопроводных линий. Это может быть очень полезно при работе с чувствительными материалами, поскольку сварка растворителем не требует высокой температуры.

Кроме того, метод гарантирует длительный срок службы и химическую стойкость системы, соответствующую стойкости материала трубопровода. Метод прост в освоении и экономически выгоден, поскольку не требует дорогостоящего оборудования и инструментов.



## Основные дефекты сварки растворителем

Наиболее распространённые типы дефектов, обнаруживаемых при несоблюдении правильной процедуры сварки, перечислены в Таб. 3.12.

Таб. 3.12. Основные дефекты сварки

<b>Слишком жидкий растворитель</b>	
Немедленный эффект	Невозможность сварки
Последствия	Соединение самостоятельно распадётся или будет протекать
<b>Избыток растворителя</b>	
Немедленный эффект	Следы растворителя снаружи и внутри соединения вне зоны соединения
Последствия	Ослабление внешней поверхности зоны соединения и образование пузырьков с микротрещинами – источниками разрушения в основном материале
<b>Слишком густой растворитель из-за испарения</b>	
Немедленный эффект	Невозможность сварки
Последствия	Соединение самостоятельно распадётся или будет протекать. Возможно образование поверхностных трещин в основном материале
<b>Недостаток растворителя или его неправильное распределение</b>	
Немедленный эффект	Невозможность сварки или ослабленное место сварки
Последствия	Соединение самостоятельно распадётся или будет протекать
<b>Неправильная установка трубы (неполный, чрезмерный ввод, перекос)</b>	
Немедленный эффект	Некачественное соединение
Последствия	Передача механических напряжений от трубы к фитингу и/или протечки
<b>Загрязнения и/или влага на соединяемых поверхностях</b>	
Немедленный эффект	Некачественное соединение
Последствия	Соединение самостоятельно распадётся или будет протекать.

Возможные дефекты сварки полимеров описаны в Стандарте EN 14728.

На Рис. 3.27 показаны основные дефекты сварного соединения:

- неправильное распределение растворителя: есть области, где растворитель отсутствует (поз. А);
- инородный материал, попавший в зону сварки из-за наличия предварительно не удалённых загрязнений на соединяемых поверхностях (поз. Б);
- труба не введена до ограничителя внутри фитинга (поз. В).

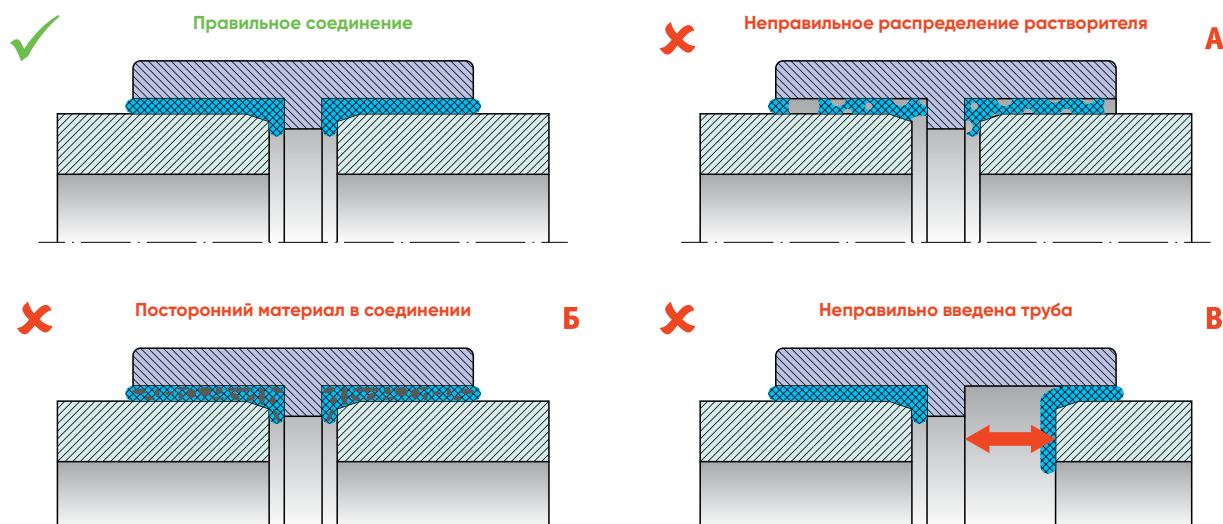


Рис. 3.27. Основные дефекты сварных соединений

### 3.1.2. Сварка встык

Стыковая сварка (сварка встык) контактными нагревательными элементами – это процесс соединения двух элементов (труб, фитингов или концевых соединителей запорной арматуры) одинакового диаметра и толщины. Соединяемые поверхности нагреваются до плавления при контакте с нагревательным элементом, а затем, после удаления нагревательного элемента, прижимаются друг к другу для образования сварного шва (см. Рис. 3.28).

Следующие Инструкции приведены только в справочных целях и не могут служить учебным пособием. Монтажники должны пройти соответствующее обучение и обладать глубокими знаниями процедур, которые необходимо соблюдать в зависимости от типа используемого сварочного оборудования.



Рис. 3.28. Аппарат для сварки встык

#### Инструкции по сварке встык

Для обеспечения правильного соединения:

- температура окружающей среды должна находиться в диапазоне от +5 °С до +40 °С;
- следует осмотреть свариваемые поверхности, обращая особое внимание на размеры соединяемых элементов, проверив, нет ли избыточной овальности;
- проверить рабочую температуру нагревательного элемента с помощью калиброванного контактного термометра. Измерение следует проводить через 10 минут после достижения номинальной температуры. Это гарантирует, что нагревательный элемент прогреется по всей площади поверхности и по глубине. Рабочая температура должна быть от +200 °С до +220 °С;
- проверить поверхность нагревательного элемента (целостность антипригарного покрытия) и очистить его тканью без ворса или мягкой бумажной салфеткой;
- проверить правильность работы сварочного агрегата;
- проверить эффективность зажимов сварочного аппарата, убедиться, что они обеспечивают правильное выравнивание между двумя сторонами соединения и что контактные поверхности параллельны друг другу;
- проверить тяговое усилие гидроагрегата: отсутствие избыточного трения, достаточное усилие прижима, например, в случае сварки длинных плетей;
- проверить работоспособность измерительных приборов (манометра и таймера);
- убедиться, что трубы и/или фитинги, подлежащие сварке, имеют одинаковый диаметр и толщину (одинаковый SDR);

Ниже приведены пошаговые инструкции по подготовке материала трубы и/или фитинга к стыковой сварке.

- 1] Удалить все следы грязи, жира, масла и пыли с внешних и внутренних поверхностей соединяемых деталей, а также с торцов чистой тканью без ворса, смоченной подходящим моющим средством. При выборе типа жидкого моющего средства следует использовать рекомендованные продукты, поставляемые специализированными производителями. Для очистки подходят трихлорэтан, трихлорэтилен, этиловый или изопропиловый спирт (см. Рис. 3.29).
- 2] Концы двух свариваемых деталей должны быть зажаты таким образом, чтобы осевое смещение не превышало 10% толщины стенки.



Рис. 3.29. Подготовка поверхностей

- 3] Чтобы гарантировать надлежащую соосность труб и параллельность торцов, а также удалить грязь и дефекты, необходимо торцы острогать с помощью электроторцевателя (см. Рис. 3.30). После этого следует свести вместе оба торца и убедиться, что зазоры нигде не превышают 0,5 мм. Стружка должна сниматься непрерывно одно- временно с обоих свариваемых торцов.



Рис. 3.30. Торцевание

Стыковая сварка труб и/или фитингов плавлением с использованием контактных нагревательных элементов должна выполняться путём выполнения всех этапов сварочного цикла. На Рис. 3.31 показана циклограмма сварки, в соответствии со Стандартом DVS 2207-1.

**Примечание.** Следует обратить внимание на изменение значений в таблице циклов для различных материалов. В Таб. 3.13...Таб. 3.17 приведены значения для ПП-гомо, ПЭ и ПВХДФ, указанные в Стандарте DVS 2207-1.

Таб. 3.13. ПП-гомо. Цикл сварки (время остывания – см. Таб. 3.14)

Номинальная толщина стенки, мм	Подгонка <sup>1)</sup> , мм	Предварительный нагрев <sup>2)</sup> , с	Выдержка максимальная, с	Время соединения <sup>3)</sup> , с
до 4,5	0,5	до 53	5	6
4,5...7	0,5	53...81	5...6	6...7
7...12	1,0	81...135	6...7	7...11
12...19	1,0	135...206	7...9	11...17
19...26	1,5	206...271	9...11	17...22
26...37	2,0	271...362	11...14	22...32
37...50	2,5	362...450	14...17	32...43
50...70	3,0	450...546	17...22	43

<sup>1)</sup> Высота грата (валика) на нагревательном элементе в конце времени выравнивания. Давление выравнивания –  $0,15 \pm 0,01$  Н/мм<sup>2</sup>

<sup>2)</sup> Время нагрева приблизительно равно десятикратной номинальной толщине стенки. Давление –  $\leq 0,01$  Н/мм<sup>2</sup>

<sup>3)</sup> Максимальное время соединения. Может быть уменьшено на 50%

Таб. 3.14. ПП-гомо. Время остывания

Номинальная толщина стенки, мм	Время охлаждения (минимум) при давлении соединения $0,10 \pm 0,01$ Н/мм <sup>2</sup> в зависимости от температуры окружающей среды, мин			
	до +15 °С	+15...+25 °С	+25...+40 °С	Специальные условия <sup>1)</sup>
до 4,5	4	5	6,5	3,5
4,5...7	4...6	5,0...7,5	6,5...9,5	3,5...5,0
7...12	6,0...9,5	7,5...12	9,5...15,5	5...8
12...19	9,5...14,0	12...18	15,5...24,0	8...12
19...26	14...19	18...24	24...32	12...16
26...37	19...27	24...34	32...45	16...23
37...50	27...36	34...46	45...61	23...31
50...70	36...50	46...64	61...85	31...43

<sup>1)</sup> Это время охлаждения следует применять только при следующих условиях:

- сварка выполняется в лаборатории/мастерской;
- извлечение сваренного соединения из сварочного аппарата и его окончательное охлаждение в течение времени, указанного в колонке «Специальные условия», не сопровождается нагрузкой на сваренное соединение.

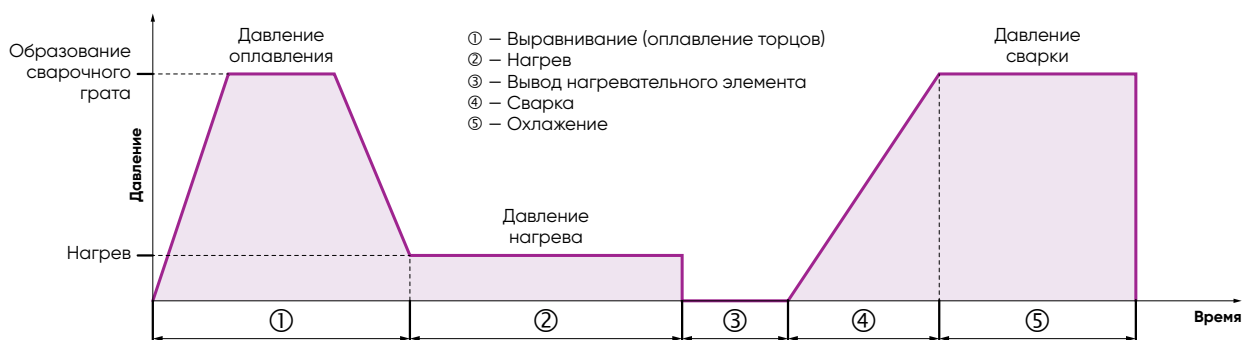


Рис. 3.31. Циклограмма сварки встык

Таб. 3.15. ПЭ. Цикл сварки (время остывания – см. Таб. 3.16)

Номинальная толщина стенки, мм	Подгонка <sup>1)</sup> , мм	Предварительный нагрев <sup>2)</sup> , с	Выдержка максимальная, с	Время соединения <sup>3)</sup> , с
до 4,5	0,5	до 45	5	5
4,5...7,0	1,0	45...70	5...6	5...6
7...12	1,5	70...120	6...8	6...8
12...19	2,0	120...190	8...10	8...11
19...26	2,5	190...260	10...12	11...14
26...37	3,0	260...370	12...16	14...19
37...50	3,5	370...500	16...20	19...25
50...70	4,0	500...700	20...25	25...35
70...90	4,5	700...900	25...30	35
90...110	5,0	900...1100	30...35	35
110...130	5,5	1100...1300	35 (макс.)	35

<sup>1)</sup> Высота грата (валика) на нагревательном элементе в конце времени выравнивания. Давление выравнивания –  $0,15 \pm 0,01$  Н/мм<sup>2</sup>

<sup>2)</sup> Время нагрева приблизительно равно десятикратной номинальной толщине стенки. Давление –  $\leq 0,01$  Н/мм<sup>2</sup>

<sup>3)</sup> Максимальное время соединения. Может быть уменьшено на 50%

Таб. 3.16. ПЭ. Время остывания

Номинальная толщина стенки, мм	Время охлаждения (минимум) при давлении соединения $0,10 \pm 0,01$ Н/мм <sup>2</sup> в зависимости от температуры окружающей среды, мин		
	до +15 °С	+15...+25 °С	+25...+40 °С
до 4,5	4	5	6,5
4,5...7,0	4...6	5,0...7,5	6,5...9,5
7...12	6,0...9,5	7,5...12,0	9,5...15,5
12...19	9,5...14,0	12...18	15,5...24,0
19...26	14...19	18...24	24...32
26...37	19...27	24...34	32...45
37...50	27...36	34...46	45...61
50...70	36...50	46...64	61...85
70...90	50...64	64...82	85...109
90...110	64...78	82...100	109...133
110...130	78...92	100...118	133...157

Таб. 3.17. ПВДФ. Цикл сварки

Номин. толщина стенки, мм	Подгонка <sup>1)</sup> , мм	Предварительн. нагрев <sup>2)</sup> , с	Выдержка максимальная, с	Время соединения <sup>3)</sup> , с	Время остывания <sup>4)</sup> , мин
1,9...3,5	0,5	59...75	3	3...4	5,0...6,0
3,5...5,5	0,5	75...95	3	4...5	6,0...8,5
5,5...10,0	0,5...1,0	95...140	4	5...7	8,5...14,0
10...15	1,0...1,3	140...190	4	7...9	14...19
15...20	1,3...1,7	190...240	5	9...11	19...25
20...25	1,7...2,0	240...290	5	11...13	25...32

<sup>1)</sup> Высота грата (валика) на нагревательном элементе в конце времени выравнивания. Давление выравнивания –  $0,15 \pm 0,01$  Н/мм<sup>2</sup>

<sup>2)</sup> Время нагрева приблизительно равно десятикратной номинальной толщине стенки. Давление –  $\leq 0,01$  Н/мм<sup>2</sup>

<sup>3)</sup> Максимальное время соединения. Может быть уменьшено на 50%

<sup>4)</sup> Минимальное время остывания  $t$  при давлении соединения  $0,10 \pm 0,01$  Н/мм<sup>2</sup>:  $t \approx 1,2 \times$  толщина стенки + 2 мин

## Основные этапы цикла сварки

- 1] Первым этапом сварки является выравнивание. Две свариваемые кромки прижимаются к нагревательному элементу при давлении  $p_1 + p_t$  на время, необходимое для создания внешнего и внутреннего буртика (см. Рис. 3.32, поз. А). Этап выравнивания завершают, когда высота буртика (грата) по всей окружности трубы достигает значений, указанных в Таб. 3.13, Таб. 3.15, Таб. 3.17.

Значения выравнивающего давления на нагревательные элементы должно соответствовать указанным в вышеперечисленных таблицах. Значение  $p_1$  берётся из предоставляемой производителем сварочной машины информации: помимо диаметра и толщины свариваемых труб значения давления зависят также от конструктивных особенностей конкретного сварочного аппарата.

Значение  $p_t$  – это «давление сопротивления» («тянущее давление»), т.е. давление, необходимое для преодоления сил трения в сварочном аппарате и для протягивания трубы машиной. Эта величина измеряется оператором по манометру на гидроагрегате (см. Рис. 3.32, поз. Б). В любом случае значение  $p_t$  не должно превышать  $p_1$ . В противном случае необходимо использовать каретки или подвесные системы для облегчения перемещения трубы.



Рис. 3.32. Выравнивание с образованием грата

- 2] После образования грата на этапе предварительного нагрева давление понижается (примерно на 10% от предыдущего значения), что позволяет материалу равномерно нагреваться по всей его глубине.
- 3] Этап удаления нагревательного элемента должен быть выполнен как можно быстрее. Разводятся каретки машины, нагревательный элемент удаляется из зоны, не повреждая наплыв на трубах. Затем свариваемые поверхности немедленно приводятся в соприкосновение друг с другом.

**Примечание.** Эту процедуру необходимо выполнять быстро, чтобы избежать риска чрезмерного охлаждения кромок (температура поверхности падает на 17 °С всего за 3 секунды).



Рис. 3.33. Этап повышения давления

- 4] На этапе повышения давления две кромки соприкасаются (см. Рис. 3.33) и давление постепенно увеличивается до значения  $p_5 + p_t$ , где  $p_5$  – сварочное давление.  $p_5 = p_1$ .
- 5] На этапе сварки давление  $p_1 + p_t$  должно поддерживаться в течение времени, указанного в Таб. 3.13, Таб. 3.15, Таб. 3.17. На Рис. 3.34 показано, как выглядит область сварки после окончания этапа.
- 6] Как только сварка заканчивается, контактное давление снимается, и соединяемые детали могут быть извлечены из машины. Они, однако, не должны подвергаться механическим нагрузкам до полного охлаждения.

Время, требуемое для полного охлаждения, приведено в Таб. 3.14, Таб. 3.16, Таб. 3.17.



Рис. 3.34. Сваренное соединение



### Общие предупреждения при сварке встык

Во время сварки встык рекомендуется следовать приведённым ниже рекомендациям.

- все работы следует проводить в средствах индивидуальной защиты (очки, перчатки);
- необходимо следовать всем инструкциям по технике безопасности, указанным производителем сварочного оборудования;
- после электроторцевания рекомендуется осмотреть полученную стружку, чтобы убедиться в отсутствии производственных дефектов труб. Стружку необходимо удалить с внутренней поверхности свариваемых деталей с помощью щётки или чистой ткани;
- после электроторцевания поверхности не должны соприкасаться или загрязняться чем-либо; по этой причине сварочные работы должны выполняться сразу после торцевания;
- если на торцованных поверхностях осели какие-либо следы пыли, перед сваркой их следует очистить тканью, смоченной специальным моющим средством.

### Преимущества метода и области применения

Сварка встык хорошо подходит для широкого диапазона размеров и форм сечений, так как этот метод весьма экономичен, особенно для деталей диаметром более 200 мм. Кроме того, этот метод сварки не требует каких-либо дополнительных фитингов для соединения, а оборудование может работать полуавтоматически или полностью в автоматическом режиме.

Компоненты, сваренные встык, в основном используются на строительных площадках, а также широко применяются в химической промышленности и водоснабжении.

### Проверка качества сварных соединений

Соединения можно проверить с помощью двух альтернативных методов: неразрушающего и разрушающего контроля. Эти методы контроля требуют использования специального оборудования, но качество соединения также можно проверить простым визуальным осмотром. При визуальном осмотре следует обращать особое внимание на следующие моменты:

- сварной шов должен быть однородным по всей окружности соединения;
- грат (буртик) на всём своём протяжении должен выступать над поверхностью свариваемых деталей;
- на внешней поверхности грата не должно быть никаких признаков пористости или включений пыли или других загрязнений;
- не должно быть видимых признаков разрушения поверхности;
- поверхность сварного шва не должна сильно блестеть, поскольку это признак перегрева;
- осевое смещение свариваемых деталей должно составлять не более 10% от их толщины.

### Основные дефекты сварки встык

Наиболее распространенные типы дефектов, обнаруживаемых при несоблюдении правильной процедуры сваривания, перечислены в см. Таб. 3.18.

Таб. 3.18. Основные дефекты сварки встык

<b>Сварной шов «гуляет» по поверхности трубы</b>	
Причина	Недостаточно тщательная подготовка торцов. Результат – неравномерное распределение тепла
<b>Недостаточная высота грата</b>	
Причина	Неверное задание параметров сварки (температуры, давления, времени)
<b>Очень глубокая впадина в центре грата</b>	
Причина	Слишком низкие значения давления и температуры в процессе сварки
<b>Посторонние включения на поверхности грата</b>	
Причина	Недостаточно хорошо очищенные поверхности и стыки
<b>Пористая поверхность грата</b>	
Причина	Сварка проводилась в слишком влажных условиях
<b>Слишком блестящая поверхность грата</b>	
Причина	Перегрев в процессе сварки
<b>Несоосность превышает 10% толщины стенок</b>	
Причина	Неправильно выполненное выравнивание или чрезмерная овальность трубы



## Инфракрасная сварка

Инфракрасная сварка (ИК-сварка) – это метод бесконтактной термической сварки, который создаёт чрезвычайно прочные сварные швы, герметичные и непроницаемые для жидкости. Инфракрасным излучением является, например, тепло от солнечного света. Оно имеет электромагнитную природу. Как и в случае любого электромагнитного излучения, можно добиться его чрезвычайно высокой интенсивности посредством специальной аппаратуры.

В качестве источника нагрева для сварки может использоваться ИК-излучение. Его широко применяют во многих областях промышленности, в частности, при производстве полупроводников.

Термопласты также очень легко нагревать до температуры плавления, а длину электромагнитной волны можно точно подбирать для каждого типа полимера, регулируя точную температуру плавления. Таким образом, соединяемые детали можно нагревать и соединять совершенно аналогично описанной выше сварке встык.

### Инструкции по ИК-сварке

Во время инфракрасной сварки обе половины детали жёстко удерживаются в нужном положении вблизи пластины, излучающей инфракрасное излучение в обе стороны.

После расплавления поверхности излучающая пластина быстро удаляется, а соединяемые детали сводятся вместе и остаются под давлением до полного остывания. Сварные соединения, полученные в результате ИК-сварки, однородны и обладают хорошими механическими характеристиками.

### Преимущества и области применения инфракрасной сварки

Одним из главных преимуществ ИК-сварки является то, что данный бесконтактный метод нагрева позволяет не прикасаться к свариваемым элементам, что гарантирует чистоту соединения и минимизирует величину грата. ИК-сварка в два раза быстрее сварки встык и за счёт равномерного нагрева свариваемых поверхностей механические напряжения в готовом шве минимальны.

ИК-сварку обычно применяют при соединении деталей неправильной или сложной формы.

## 3.1.3. Сварка в раструб

Сварка в раструб (раструбная сварка) – это метод сварки трубы в раструб фитинга. Сварка происходит путём одновременного сплавления наружной поверхности труб и внутренней поверхности фитинга посредством ручных или автоматических нагревательных устройств. Простейшие сварочные аппараты состоят из нагревательного элемента, на который надеваются нужного диаметра нагревательные втулки. Аппараты обычно поставляются с набором втулок разного диаметра и автоматическим регулятором температуры.

Для сварки в раструб не требуется никаких дополнительных материалов. Метод не влияет на химическую стойкость соединения и на сопротивление внутреннему давлению сваренной трубы и фитинга.

Привариваемая труба должна быть ровно обрезана, с неё необходимо снять фаску. Внешняя поверхность трубы и внутренняя поверхность фитинга должны быть тщательно очищены. Рекомендуется сделать пометки на трубе и фитинге чтобы избежать поворота деталей во время сварки. Также рекомендуется на трубе отметить глубину вставки в фитинг.

Труба вставляется в охватывающую нагревательную муфту, в фитинг вставляется внутренняя втулка (дорн). После установленного времени нагрева втулки быстро извлекаются, а труба вставляется в фитинг до сделанной ранее отметки или до упора, совмещая продольные отметки и не допуская проворачивания трубы в фитинге. Сваренные элементы следует держать в таком положении в течение примерно 15 секунд, а затем оставить до полного охлаждения до температуры окружающей среды. Принудительно охлаждать (воздухом или опусканием в воду) сваренное соединение не нужно.



Рис. 3.35. Полуавтомат для сварки в раструб

### Инструкции по сварке в раструб

Ниже описаны этапы сварки в раструб применительно к ручному сварочному оборудованию.

Использование автоматических и полуавтоматических устройств, которые особенно подходят для диаметров более 63 мм, требует специальных знаний в области сварочного инструмента. В этом случае следует строго придерживаться инструкций производителя оборудования.

- 1] Выбрать внутренние и наружные муфты требуемого диаметра и закрепить на нагревательном элементе (см. Рис. 3.36).



Рис. 3.36. Закрепление муфт

- 2] Тщательно очистить поверхности муфт (см. Рис. 3.37). Моющие средства следует выбирать исходя из рекомендаций производителя. Для очистки подходят трихлорэтан, трихлорэтилен, этиловый или изопропиловый спирт.



Рис. 3.37. Очистка фитинга

- 3] Установить температуру сварочного инструмента. Для правильного формирования соединения температура должна быть установлена в диапазоне от +250 °С до +270 °С.
- 4] Когда будет достигнута заданная температура, следует проверить температуру нагревательного элемента с помощью быстродействующего термозонда.
- 5] Отрезать трубу (см. Рис. 3.38, поз. А) и при необходимости снять фаску (см. Рис. 3.38, поз. Б).



Рис. 3.38. Обрезка трубы и снятие фаски

Длина зачищаемой области, а также ширина фаски должны соответствовать значениям, указанным в Таб. 3.19 и Таб. 3.20. Снимать фаску можно либо после зачистки, либо одновременно с ней, посредством соответствующего оборудования.

Таб. 3.19. Длина зачищаемой области и ширина фаски (ПП-гомо)

Внешний диаметр трубы, мм	Длина зачищаемой области, мм	Ширина фаски, мм
20	14	2
25	16	2
32	18	2
40	20	2
50	23	2
63	27	3
75	31	3
90	35	3
110	41	3

Таб. 3.20. Длина зачищаемой области и ширина фаски (ПВДФ)

Внешний диаметр трубы, мм	Длина зачищаемой области, мм	Ширина фаски, мм
16	13	2
20	14	2
25	16	2
32	18	2
40	20	2
50	23	2
63	27	3
75	31	3
90	35	3
110	41	3

- 6] Отметить на трубе глубину вставки (см. Рис. 3.39), в соответствии со значениями, указанными в см. Таб. 3.21 и см. Таб. 3.22.

Таб. 3.21. Длина вставляемой части трубы (ПП-гомо)

Внешний диаметр трубы, мм	Длина вставляемой части трубы, мм
20	14
25	15
32	17
40	18
50	20
63	26
75	29
90	32
110	35



Рис. 3.39. Разметка трубы

Таб. 3.22. Длина вставляемой части трубы (ПВДФ)

Внешний диаметр трубы, мм	Длина вставляемой части трубы, мм
16	12
20	14
25	15
32	17
40	18
50	20
63	26
75	29
90	32
110	35

- 7] Сделать продольную контрольную отметку на внешней стороне трубы и фитинга, чтобы избежать вращения деталей во время выполнения сварки (см. Рис. 3.40).



Рис. 3.40. Разметка трубы

8] Очистить фитинг и трубу от любых следов масла или пыли на свариваемых поверхностях (см. Рис. 3.41).



Рис. 3.41. Очистка трубы

9] Убедившись, что температура нагревательного элемента стабилизировалась на требуемом значении, вставить трубу в охватывающую муфту, а в фитинг вставить дорн (Рис. 3.42).

Удерживая детали, вставленные в две нагревательные муфты (дорн вставлен в фитинг до упора, труба вставлена в охватывающую муфту до конца очищенной части), подождать минимальное время (время разогрева), указанное в Таб. 3.23 и Таб. 3.24 (информация взята из Стандарта DVS 2207-1).



Рис. 3.42. Установка деталей на нагреватель

Таб. 3.23. Время нагрева свариваемых элементов (ПП)

Внешний диаметр трубы, мм	Толщина стенки, мм	Время нагрева, с	Время сварки, с	Время охлаждения, мин
20	2,5	5	4	2
25	2,7	7	4	2
32	3,0	8	6	4
40	3,7	12	6	4
50	4,6	18	6	4
63	3,6	24	8	6
75	4,3	30	8	6
90	6,1	40	8	6
110	6,3	50	10	8

Для получения качественного результата рекомендуется использовать трубы с толщиной стенки более 2 мм:

- для  $D_e$  до 50 мм – трубы серии PN16 и PN10;
- для  $D_e$  63...110 мм – трубы серии PN16, PN10 и PN6.

Таб. 3.24. Время нагрева свариваемых элементов (ПВДФ)

Внешний диаметр трубы, мм	Толщина стенки, мм	Время нагрева, с	Время соединения, с	Время охлаждения, мин
16	1,5	4	4	2
20	1,9	6	4	2
25	1,9	8	4	2
32	2,4	10	4	4
40	2,4	12	4	4
50	3,0	18	4	4
63	3,0	20	6	6
75	3,0	22	6	6
90	3,0	25	6	6
110	3,0	30	6	8

Для получения качественного результата рекомендуется использовать трубы с толщиной стенки более 2 мм:

- для  $D_e$  до 50 мм – трубы серии PN16 и PN10;
- для  $D_e$  63...110 мм – трубы серии PN16, PN10 и PN6.

**10]** По истечении минимального времени нагрева быстро извлеките элементы из муфт и вставьте трубу в фитинг на всю отмеченную длину вставки. **Не поворачивать трубу в фитинге!** Убедитесь, что продольные контрольные метки выровнены (Рис. 3.43).

**11]** В соответствии с Таб. 3.23 и Таб. 3.24 удерживать соединяемые элементы неподвижно в течение необходимого времени (времени сварки).

В соответствии с Таб. 3.23 и Таб. 3.24 дать соединению окончательно остыть. Важно отметить, что этот этап должен проводиться при температуре окружающей среды без принудительного охлаждения.



Рис. 3.43. Сваривание деталей

**12]** Когда соединение остынет, можно проводить гидравлические испытания.



#### Общие предупреждения при сварке в раструб

Во время сварки в раструб рекомендуется следовать приведённым ниже рекомендациям.

- Все работы следует проводить в средствах индивидуальной защиты (очки, перчатки);
- необходимо следовать всем инструкциям по технике безопасности, указанным производителем сварочного оборудования;
- следует помнить, что как только труба вставлена в фитинг, никакая коррекция положения уже невозможна, поскольку охлаждение происходит очень быстро.
- в ограниченном рабочем пространстве и при небольшом количестве запланированных соединений рекомендуется организовать работу с частями собираемой трубопроводной системы таким образом, чтобы нагревательный элемент можно было жёстко закрепить в тисках;
- правильно, с должным выравниванием и глубиной ввода трубы, выполнить соединение сложно физически. Это верно и для работы в бригаде при ручной сборке, когда сварочный аппарат переносится одним человеком, другой помещает в фитинг сварочный дорн, а третий вставляет трубу в нагревательную муфту. Чтобы правильно соединить детали, требуется сильное, но устойчивое усилие, возможное лишь при расплавлении соприкасающихся поверхностей. Реальная задача состоит в том, чтобы поддерживать усилие, необходимое для достаточно быстрого и аккуратного введения муфты в трубу для обеспечения правильной ориентации трубы и глубины проникновения в муфту. Поэтому предлагается организовать работу и само рабочее место так, чтобы все этапы монтажа были легко осуществимы;
- перед сваркой в раструб соединяемые элементы необходимо проверить на предельные допуски по размерам, иначе соединение может оказаться непрочным или вовсе не получится.
- расплавленный полимер способен вызвать сильные ожоги. Следует избегать контакта с горячим инструментом. Покидая рабочее место, разумно накрывать сварочный аппарат термоодеялом. Рекомендуется также выставлять знак «Внимание!», который можно аккуратно нарисовать на куске картона или полимера.
- при настройке ручного сварочного аппарата следует быть предельно внимательным. Приборы обычно приходят с предустановленной температурой +250...+270 °С. Эти настройки можно при необходимости изменять специальным инструментом, прилагаемым к сварочному аппарату. Вращая регулировочный винт по часовой стрелке, температура сварки будет уменьшена. При вращении против часовой стрелки – увеличена.

#### Преимущества и области применения раструбной сварки

Метод удобен тем, что не требует множества специального оборудования. Поскольку при сварке этим методом происходит нагрев больших контактных площадей, требуется меньше времени для плавления. Кроме того, метод требует меньше усилий для соединения свариваемых деталей.

Типичными областями применения раструбной сварки являются, например, водо- и газоснабжение, ирригационные системы, химическое производство, работа со стоками и т.д.

### Проверка качества сварных соединений

Испытания на скручивание и на осевое растяжения применяются для быстрого контроля качества сварных соединений. Толщина стенки трубы должна быть  $\geq 4$  мм.

- Испытание на скручивание проводится для оценки качества соединения и поведения сваренной области при разрушении. Образец одной частью фиксируется в тисках. Другая часть захватывается подходящим инструментом и очень медленно проворачивается на  $90^\circ$  чтобы не допустить разрушения образца вне зоны сварки. При испытании круглых образцов следует подрезать площадки, чтобы скручивающий момент приходился именно на зону испытаний.
- Для испытаний на осевое растяжение одна часть соединения зажимается в тисках, а другая часть захватывается подходящим инструментом и медленно вытягивается.

Для оценки результатов испытаний см. Таб. 3.25.

Таб. 3.25. Критерии оценки испытаний на скручивание и на растяжение

Поведение при разрушении	Тип, характеристики	Оценка
Высокие усилия отрыва, вязкое разрушение >80% зоны сварки	Очень структурированный пластичный внешний вид излома	Незначительные недостатки сварного соединения
Зона сварки частично или полностью расплавлена, но лишь точечно	Изолированные зоны расслоения, загрязнения, недостаточное отшелушивание поверхности	
Хрупкий излом	Крупнопористая, мелко структурированная зона сварки с множеством пустот, частично обожжённая, перегретый сварочный шов	Недопустимые недостатки сварного соединения
	Поверхность трубы не расплавлена, слишком широкий сварочный зазор	

### Основные дефекты сварки в раструб

- Неправильно отрегулированная температура нагрева, что может привести к перегреву зоны сварки и выходу из строя нагревательного элемента;
- выполнение сварки без предварительной очистки свариваемых соединений;
- неправильная установка нагревательных втулок, приводящая к смещению трубы;
- выполнение сварки в неподходящих рабочих условиях (например, температура окружающей среды, температура нагревательного элемента и т.д.) приводит к получению некачественных соединений.

### 3.1.4. Электрофузионная (электромуфтовая) сварка

Электрофузионная (электромуфтовая) сварка – это практически совершенно безопасная и удобная в использовании технология, в основном используемая для полиэтиленовых труб. Она используется при монтаже газо- и водопроводов, канализационных коллекторов и в промышленности.

Суть метода заключается в том, что выполненная из проволоки с высоким удельным сопротивлением нагревательная катушка является неотъемлемой частью фитингов, запорной арматуры, муфт.

При подаче тока на нагревательный элемент окружающий полимер нагревается до  $200^\circ\text{C}$ . При этом расплавляется внутренняя часть раструба и внешняя часть трубы. Температура и длительность нагрева контролируются автоматикой аппарата подачи напряжения на нагревательный элемент. После охлаждения образуется прочное и однородное соединение, не требующее дополнительных уплотнительных материалов.



Рис. 3.44. Аппараты для электрофузионной сварки

Электрофузионную сварку можно использовать для работы с полиолефиновыми полимерами, имеющими полукристаллическую структуру: полиэтиленом, полипропиленом, полибутиленом, поливинилбутиралем, полиамидом. Это наиболее часто используемый в настоящее время метод сварки полиэтиленовых труб и некоторых многослойных труб.



## Инструкции по электрофузионной сварке

- 1] Измерить и отметить глубину вставки трубы в фитинг.
- 2] Очистить концы труб скребком, чтобы удалить окисленный поверхностный слой (возникающий, например под воздействием на материал УФ-излучения). В зоне сварки должен быть только чистый материал.
- 3] Очистить концы труб и внутреннюю поверхность фитинга одобренным производителем чистящим средством.
- 4] В случае необходимости обновите отметку глубины вставки, чтобы обеспечить контроль во время процесса электрофузионной сварки.
- 5] Ориентируясь на отметку, вставить конец трубы в фитинг на нужную глубину.
- 6] Присоединить нагревательную катушку проводами к блоку управления.
- 7] Отсканировать или прочесть штрих-код на корпусе электрофузионного фитинга. Если блок управления не снабжён устройством считывания штрих-кодов или если он не опознаётся, числовой код можно ввести в сварочный аппарат вручную. В этом коде расшифрованы параметры сварки.
- 8] После остановки работы программы сварки соединение нельзя перемещать или подвергать нагрузкам до полного охлаждения.

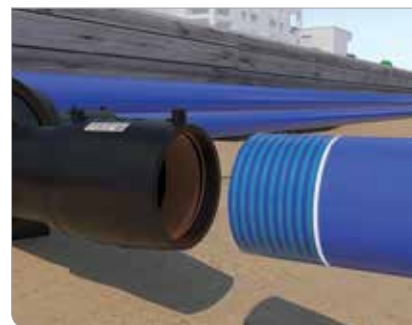


Рис. 3.45. Трубы для электрофузионной сварки



Рис. 3.46. Присоединение аппарата управления сваркой

Для выполнения электрофузионной сварки необходимо правильное понимание процесса, знание оборудования и инструментов, связанных с ней. От монтажников требуется понимание инструкций по сварке, знание времени нагрева, времени охлаждения, температурной компенсации и т.д.

На Рис. 3.47 показан пример штрих-кода. Информация на нём закодирована в соответствии с указаниями Стандарта ISO 13950. Чтобы начать сварку, штрих код необходимо отсканировать считывателем, входящим в состав аппаратуры, или ввести вручную.

Значение цифр в штрих-коде (кодировка ITF 2:5, 24 цифры) следующее:

- цифры 1...8: наименование изготовителя или торговая марка, тип детали, коррекция энергии, тип цикла, время охлаждения;
- цифры 9...11: диаметр фитинга;
- цифра 12: положение запятой для номинального сопротивления и типа регулирования;
- цифры 13...14: уровень регулирования (напряжения или тока);
- цифры 15...17: номинальное сопротивление нагревательного элемента;
- цифра 18: изменение сопротивления нагревательного элемента;
- цифры 19...21: время нагрева, энергия, температура остановки;
- цифры 22...23: коррекция энергии;
- цифра 24: контрольная.



Рис. 3.47. Сварочный штрих-код

Цифры, выделенные жирным шрифтом, обозначают номер партии.

Для получения дополнительной информации следует обратиться к Стандарту ISO 13950.



### Общие предупреждения при электрофузионной сварке

Во время электрофузионной сварки рекомендуется следовать приведённым ниже рекомендациям.

- все работы следует проводить в средствах индивидуальной защиты (очки, перчатки);
- необходимо следовать всем инструкциям по технике безопасности, указанным производителем сварочного оборудования;
- после очистки концов труб скребком (для удаления окисленного слоя) поверхности соединяемых труб и внутренняя поверхность фитингов должны быть абсолютно чистыми, сухими и свободными от жира или масла. Эти участки должны быть очищены подходящим чистящим средством, только абсорбирующей, безворсовой и неокрашенной бумагой непосредственно перед сборкой. При очистке надо следить за тем, чтобы в зону плавления не попадали загрязнения с необработанной поверхности трубы;
- если окисленный слой не будет удалён полностью, это может привести к неоднородным и протекающим сварным соединениям;
- чрезмерное удаление окисленного слоя может привести к слишком большому кольцевому зазору, который может не заплываться должным образом. Поэтому следует регулярно проверять состояние лезвия скребкового инструмента. Изношенные лезвия необходимо заменить;
- возможно сваривать детали из полиэтилена разных марок: PE80 и PE100, PE100 и PE100-RC или PE100 и PE-X. Детали из разнородных полимеров сваривать запрещается;
- правильное время охлаждения очень важно для обеспечения высокого качества соединения;
- при резке трубы следует соблюдать осторожность. Косой рез трубы может привести к тому, что нагревательная катушка частично не будет закрыта трубой, что может привести к перегреву, неконтролируемому образованию расплава или самовозгоранию.

### Преимущества и области применения электрофузионной сварки

Этот метод сварки очень хорошо подходит для полиолефинов и других полукристаллических полимеров. Электрофузионная сварка становится всё более популярной, поскольку сейчас компоненты для неё выпускаются в широком диапазоне диаметров. Кроме того, метод позволяет проводить ремонт без значительного демонтажа трубопровода. Отсутствие капель расплавленного полимера внутри соединения расширяет области применения метода. Автоматизация процесса сварки обеспечивает высокую надёжность получаемых соединений.

Типичные области применения технологии электрофузионной сварки — строительство газо- и водопроводов, канализационных коллекторов из полиэтилена, промышленные трубопроводы из полипропилена или полиэтилена.

### Большая глубина вставки для идеального результата

Одним из преимуществ использования электрофузионных фитингов является большая глубина вставки, что делает их высокоэффективным решением для получения хорошего результата. Это обеспечивает дополнительную безопасность, так как концы труб намного лучше удерживаются во время процесса сварки.

### Значительная область сплавления для хорошего схватывания

Ещё одним достоинством электрофузионных фитингов является широкая зона плавления, обеспечивающая более прочное сцепление свариваемых элементов. Результатом этого является снижение напряжений в зоне сварки и уменьшение потерь сварочного давления. Кроме того, широкая зона плавления частично компенсирует возможные дефекты подготовки труб (неперпендикулярный рез, загнутые или замятые концы).

Более широкие зоны сварки позволяют поглощать энергию большей площадью. Кроме того, это обеспечивает более высокую стабильность и более высокую безопасность установки.

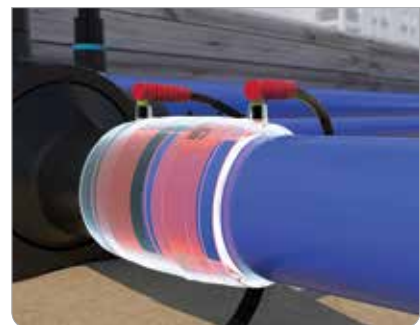


Рис. 3.48. Сварочный процесс

Таб. 3.26 полезна для лучшего понимания различий между зоной сварки фитингов Frialen® и требованиями европейских Стандартов. Таблица соответствует Стандартам DIN EN 12201-3, DIN EN 1555-3

Таб. 3.26. Зоны сварки фитингов Frialen® и требования европейских Стандартов DIN EN 12201-3, DIN EN 1555-3

Внешний диаметр трубы, мм	Ширина зоны сварки, мм (евростандарт)	Ширина зоны сварки фитингов Frialen®, мм	Отношение
32	10	21	2,1
63	11	29	2,6
125	16	42	2,6
225	26	71	2,7

### Открытая нагревательная катушка для улучшенной фиксации

Главное преимущество открытой нагревательной катушки в электрофузионных фитингах компании **Aliaxis** заключается в обеспечении улучшенной фиксации.

Есть и множество других преимуществ. Оксидная плёнка, которая всегда присутствует на внутренней поверхности фитинга, намного тоньше и не влияет на качество сварки. Кроме того, наличие открытой катушки обеспечивает быстрое плавление поверхностей свариваемых поверхностей и достижение нужного сварочного давления.

Две трети нагревательной катушки встроены в фитинг, что позволяет избежать повреждения нагревательного провода. На Рис. 3.49 показан пример сварки с открытой нагревательной катушкой и сформированная волна расплава в конце процесса.

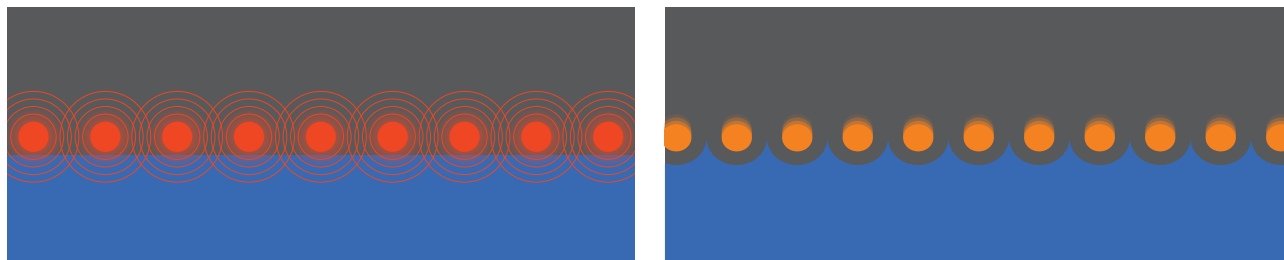


Рис. 3.49. Сварка с открытой катушкой и конечная «сварочная волна»

### Проверка качества сварного соединения

Специальные индикаторы фитингов Frialen® наглядно показывают, была ли выполнена сварка или нет (см. Рис. 3.50). Следует убедиться, что процесс сварки завершился успешно.

Соединительные муфты большого диаметра оснащены цветным индикатором: после успешной сварки он светится фиолетовым цветом, а до неё остаётся тёмным.



Рис. 3.50. Показания индикатора до (фото слева) и после (фото справа) успешной сварки

### Основные дефекты электрофузионной сварки

- Неперпендикулярный рез трубы может привести к тому, что нагревательная катушка будет не полностью перекрыта трубой, что может привести к перегреву, неконтролируемому образованию расплава или самовозгоранию.
- Неправильная очистка поверхности трубы также является одной из наиболее распространённых причин некачественных соединений.
- Чтобы избежать подобных проблем, настоятельно рекомендуется использовать надлежащие скребковые инструменты.
- Неправильная маркировка глубины вставки приводит к плохому соединению. Для правильной маркировки глубины вставки следует убедиться, что на трубе отмечена половина длины соединительной муфты плюс дополнительно 5 мм.
- Гибкие трубы, свёрнутые в бухты, могут во время хранения потерять круглую форму. Если некруглость в зоне сварки превышает 1,5% наружного диаметра или составляет более 3 мм, абсолютно необходимо посредством специального инструмента вернуть им первоначальную форму.
- Неправильное использование удерживающих устройств или их игнорирование может привести к неправильному выравниванию трубы.
- Наклон трубы во время установки, многократное использование одной и той же салфетки для обезжиривания и перемещение фитинга до его полного охлаждения могут привести к неправильному соединению.

### 3.1.5. Сварка горячим воздухом (газом)

При этом методе сварки соединяемые поверхности и наружные зоны сварочной канавки переводятся в пластичное состояние горячим газом (как правило, нагретым воздухом), и соединяются между собой под давлением. Этим методом можно сваривать термопласты: полиэтилен, ПВХ, полипропилен, ПВДФ и др. Как правило, аппарат для сварки горячим газом предназначен для выполнения трёх функций: предварительного нагрева основного материала, разделочного шва (сварочного канта) и предварительного нагрева сварочного стержня (сварочной проволоки) и приложения нужного давления к зоне сварки.

Существует два типа сварочных аппаратов:

- сварка горячим газом с отдельной от присадочного материала (сварочной проволоки) горелкой (т.н. тип WF). Нагрев осуществляется через круглое сопло. Скошенный конец проволоки подводят к началу сварочной канавки и нагревают вместе с основным материалом. Сопло направляют вдоль шва так, чтобы поток горячего воздуха распределялся по основному материалу и по сварочной проволоке. Это делается в направлении сварного шва. Сварочную проволоку держат как можно более вертикально, вдавливая на шов (см. Рис. 3.51);

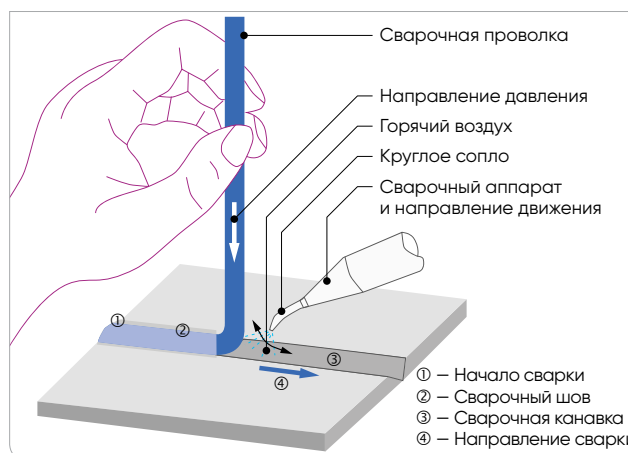


Рис. 3.51. Сварочный аппарат типа WF

- скоростная сварка с прижимом в горячем газе (т.н. тип WZ). Сварочная проволока нагревается в специальной фильере и вдавливается в сварочный кант через экструдер в нижней части сопла. Сварочная проволока протягивается автоматически за счёт движения сопла вперед. Нужное давление при этом обеспечивается гораздо проще и равномернее (см. Рис. 3.52).

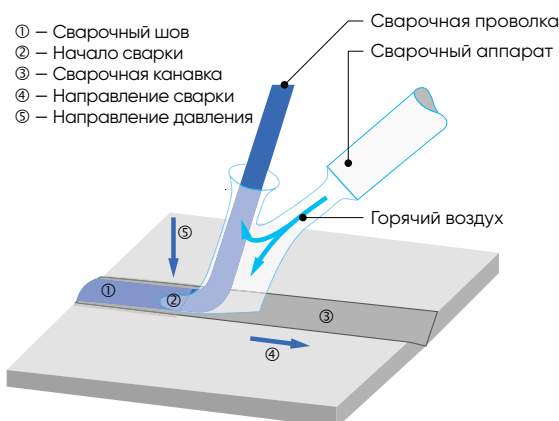


Рис. 3.52. Сварочный аппарат типа WZ

## Инструкции по сварке горячим воздухом

Решающими параметрами, влияющими на качество сварного шва, являются качество используемого газа, его температура и давление сварной проволоки.

Высокоскоростная сварка горячим газом требует использования газа, не содержащего влаги и масла, и подаваемого в большом объеме при низком давлении (см. Таб. 3.27).

Таб. 3.27. Рекомендуемые параметры сварки горячим газом по DVS 2207-1

Код материала по ISO 1043-1	Тип сварочного аппарата <sup>1)</sup>	Сварочное давление (Н) с круглой проволокой <sup>2)</sup>		Температура газа <sup>3)</sup> , °С	Подача воздуха, л/мин
		Ø3 мм	Ø4 мм		
PE-HD	WF	6...10	15...20	+250...+300	40...60
	WZ	10...16	25...35		
PE-LD <sup>4)</sup>	WF	нет данных		+260...+320	
	WZ	нет данных			
PP	WF	6...10	15...20	+280...+330	
	WZ	10...16	25...35		
PVC-U	WF	5...9	8...12	+320...+370	
PVC-HI	WZ	8...12	15...25		
PVC-P <sup>4)</sup>	WF	15...20	18...25	+300...+370	
	WZ	4...8	7...12		
PVC-C	WF	10...15	15...20	+350...+400	
	WZ	15...20	20...25		
PMMA <sup>5)</sup>	WF	12...16	12...16	+320...+370	
	WZ	12...16	20...30		
PVDF	WF	10...15	15...20	+350...+400	
	WZ	12...17	25...35		

1) WF: аппарат с отдельной от присадочного материала горелкой; WZ: аппарат с совмещенной горелкой и автоматической подачей проволоки

2) Сварочное давление можно проверить, выполнив сварку на весах

3) Измеряется в потоке горячего воздуха ~5 мм внутри сопла. В случае круглых сопел – в центре сопла, в случае струнгерных сопел в основном отверстии сопла

4) Сварка аппаратами WF-типа возможна лишь с подходящим роликом

5) Сварка со сварочной проволокой из ПВХ

Чтобы выполнить сварку качественно, необходимо следовать указанным ниже рекомендациям.

**1)** На торцах соединяемых материалов подходящим инструментом (пила, фреза) формируется сварочный кант (скос). Угол скоса – 60...70°, кроме случая, когда деталь присоединяется к другой под прямым углом (тавровая сварка). В этом случае скос необходимо делать под углом 45° (Рис. 3.53).

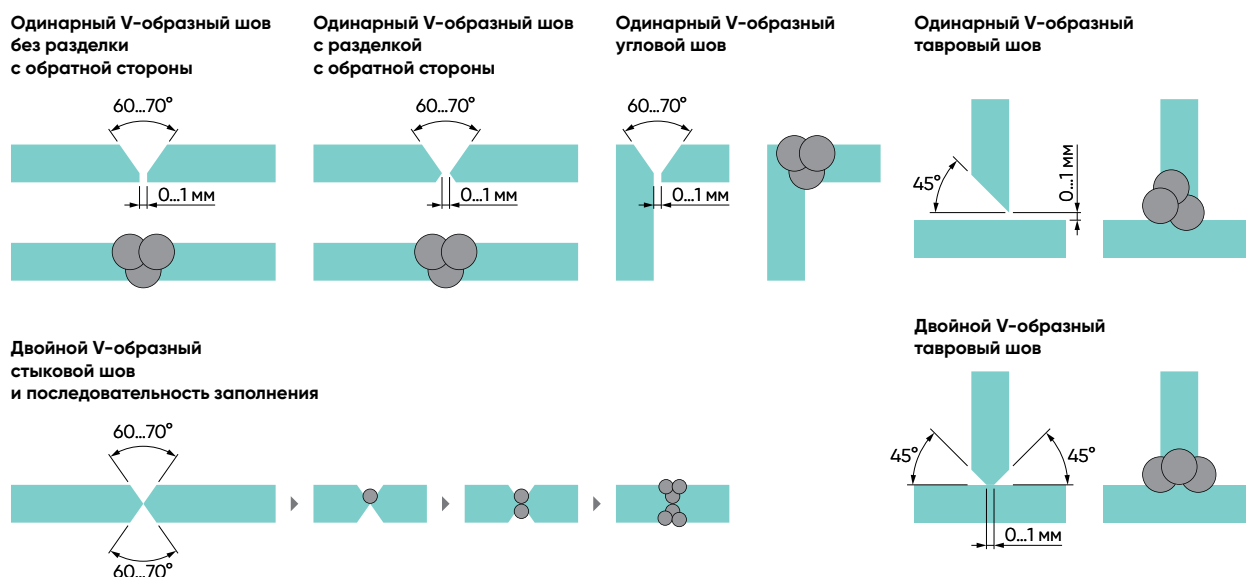


Рис. 3.53. Разделка сварочных кантов при сварке листовых материалов

- 2] Детали, подлежащие сварке, должны быть очень чистыми. Рекомендуется слегка ошкурить или соскоблить острым лезвием верхний слой в области сварки и конец сварочной проволоки.
- 3] Если детали не сжаты перед сваркой, рекомендуется оставлять между ними зазор 0,5...1,0 мм чтобы расплавленный материал сварочной проволоки мог проникнуть на обратную сторону детали. Соединяемые детали должны быть прочно закреплены на месте подходящими приспособлениями.
- 4] Чтобы облегчить начало сварки, нижний конец сварочной проволоки срезается под острым углом. При сварке скоростными аппаратами (WZ-типа) не следует вставлять сварочную проволоку в аппарат до полной готовности к работе, иначе это может привести к её возгоранию.
- 5] Чтобы начать сварку, оператор удерживает сварочный наконечник над свариваемой областью, чтобы предотвратить подгорание материала до начала работы (Рис. 3.54).



Рис. 3.54. Начало сварочного процесса

- 6] Затем вставляется сварочная проволока и её срезанный конец помещается в начало сварного шва. Удерживая сварочный аппарат примерно под углом 45°, необходимо протолкнуть проволоку через наконечник до тех пор, пока он не соприкоснётся с основным материалом. Как только сварка началась, её необходимо продолжать с постоянной скоростью (см. Рис. 3.55).
- 7] Чтобы прервать сварку (например, для замены сварочной проволоки), следует отодвинуть сварочный аппарат, отрезать конец проволоки и немедленно извлечь её остаток из аппарата. Сварку также можно прекратить, потянув наконечник сварочного аппарата вверх над оставшимся куском проволоки и перерезав её.



Рис. 3.55. Продолжение сварочного процесса

Широкие зоны сварки необходимо заполнять последовательными швами. Двойные V-образные швы правильнее всего заполнять попеременно с каждой стороны свариваемых листов (см. Рис. 3.53).

В см. Таб. 3.28 представлены рекомендации по количеству швов для различных толщин и конфигураций соединений.

Таб. 3.28. Рекомендации по количеству швов при сварке горячим газом

Тип стыка	Толщина материала, мм	количество швов × Ø проволоки, мм
V-образный одиночный	2	1×Ø4
	3	3×Ø3
	4	1×Ø3 + 2×Ø4
	5	6×Ø3
V-образный двойной	4	2 [1×Ø4]
	5	2 [3×Ø3]
	6	2 [3×Ø3]
	8	2 [1×Ø3 + 2×Ø4]
	10	2 [6×Ø3]



**Предупреждение**

Поскольку температура и давление являются критическими факторами при сварке горячим газом (воздухом), для получения качественного соединения важно тщательно и постоянно контролировать и сварочную температуру, и прикладываемое к сварочному шву давление.

**Преимущества и области применения**

Сварка горячим газом посредством сварочной проволоки используется при монтаже водо- и газопроводов. В частности, она рекомендуется для небольших или отдельных производств и специальных работ, поскольку она позволяет соединять детали практически любой формы, особенно листовые материалы. Кроме того, полимерные швы гораздо легче любых крепёжных элементов. Поэтому всегда рекомендуется по возможности заменять механический крепёж сваркой.



## Проверка качества сварного соединения

По мере выполнения сварки визуальный осмотр сварного шва может указывать на его качество: потемневшие или обугленные края возникают, когда сварочная головка перемещается слишком медленно или перегревается. Если сварочная проволока слишком сильно размягчается из-за перегрева, она начинает растягиваться и либо отрывается, либо плющится.

### 3.1.6. Фланцевые соединения

Фланцевые соединения являются наиболее распространённым видом разъёмных соединений для монтажа полимерных трубопроводных систем большого диаметра. Они особенно хорошо подходят для установок, где требуется быстрый демонтаж тех или иных элементов и компонентов.

Фланцевые соединения обеспечивают возможность монтажа оборудования из разнородных материалов. Единственное условие – одинаковый тип исполнения соединяемых фланцев.

Фланцы, используемые при монтаже полимерных труб и фитингов, различаются системой соединения: количеством и размером соединительных отверстий, формой соединительной поверхности, на которой размещаются уплотнительные элементы.

Фланцы можно разделить на свободные разборные (на приварном кольце) и фиксированные.

- **Свободные фланцы.** Фланцы, которые не соединены жёстко с трубой или фитингом, но могут свободно вращаться. Уплотнение достигается за счёт сжатия прокладок из эластомеров, размещённых между контактирующими поверхностями буртов – единственных элементов фланцевого соединения, контактирующих с трубопроводом посредством разъёмных или неразъёмных соединений.

Преимущества свободных фланцев:

- ♦ нет необходимости в сверлении отверстий и выравнивании положения отверстий при монтаже соединения между фланцем и трубой;
- ♦ любые отводы и ответвления можно свободно ориентировать, вращая вокруг центральной оси на 360°;
- ♦ возможно использовать фланцы из материала, отличного от материала буртов;
- ♦ широкая доступность буртов из различных полимеров с самыми разными типами уплотнителей;
- **Фиксированные фланцы.** Фланцы, которые непосредственно соединяются с трубопроводом с помощью неразъёмных или разъёмных соединений. Для неразъёмных соединений (сварка растворителем, встык) фланец с соединительной шейкой следует подбирать из того же материала, что и материал трубопровода. Для разъёмных соединений можно выбирать фланцы с шейками из материалов, отличных от материала трубопровода.

Поскольку соединительная шейка повышает механическую прочность фланца, фланцы фиксированного типа подходят как для работы под высоким давлением, так и для соединения через плоские уплотнительные кольца, где момент затяжки болтов особенно высок.

Конструктивно фиксированные фланцы производятся в разных исполнениях: с плоской поверхностью (тип FF), с соединительным выступом (тип RF). Фланцы с соединительным выступом имеют выступающую над плоской поверхностью зону, возвышающуюся над линией крепления фланца. На этой зоне располагается герметизирующая прокладка, сжимаемая болтами. Фланцы с плоской поверхностью, как следует из названия, такого выступа не имеют и контактируют всей площадью сопряжения.

#### Уплотнительные прокладки

В зависимости от требуемых условий важно правильно выбрать фланцевые уплотнения (прокладки). Они различаются по следующим параметрам:

- форма прокладки;
- размер прокладки;
- материал прокладки;
- химическая стойкость прокладки к среде.

Обычно заранее невозможно точно определить все нужные параметры уплотнения. Можно лишь оценить критерии выбора, опираясь на прошлый опыт.

Свободные фланцы производятся с тремя основными типами контактных поверхностей:

- **с плоской поверхностью.** Обычно они используются при монтаже трубопроводов для перекачки неагрессивных сред при низком давлении. Фиксированные фланцы типа FF широко используются для монтажа вентиляционных и дренажных систем. Кроме того, они применяются для монтажа дисковых затворов и обратных клапанов, снабжённых уплотнительными прокладками;
- **с зубчатой поверхностью.** Поверхности фланцев такого типа имеют концентрические канавки, которые увеличивают сжатие уплотняющих прокладок, особенно при высоком давлении. Этот тип поверхности особенно часто применяют в случае соединения полимерных фланцев с металлическими (чугунными, стальными);
- **с посадочным местом для уплотнителя.** Они используются реже. Такие поверхности полимерных фланцев используются если необходима незначительная затяжка болтов, но надёжное гидравлическое уплотнение.

### Материалы уплотнительных прокладок

Прокладки, используемые в фланцевых соединениях, различаются по материалу и форме, что напрямую связано с типом уплотнительной поверхности фланца.

При транспортировке агрессивных жидкостей широко используются прокладки из этилен-пропиленовых и фтористых каучуков (EPDM и FKM) ввиду их высокой химической и механической стойкости даже при высоких температурах.

Каучуки типа NBR и PTFE обеспечивают высокую надёжность при транспортировке питьевой воды, хотя прокладки из NBR используются реже ввиду низкой химической стойкости этого материала.

Выбор конструкционного материала прокладки зависит от характера жидкости, транспортируемой по трубопроводу, и от условий эксплуатации, которым подвергается фланцевое соединение. Кроме того, от применяемого материала зависит усилие затяжки болтов. Для каждого используемого материала этот момент разный.

Поскольку необходимое усилие сжатия прокладки зависит от характеристик материала, от типа контактной поверхности фланца и от рабочего давления трубопровода, всегда рекомендуется, если предыдущий опыт непригоден, проверять усилия затяжки опытным путём.

### Выбор болтов

Для соединения фланцев используются либо шпильки с полной или неполной резьбой, на которые с обеих сторон фланцев накручиваются гайки, либо болты с полной или неполной резьбой, затягиваемые гайкой.

Тип и размеры болтов и шпилек зависят от типа фланцевого соединения.

Болты из углеродистых и низколегированных сталей, имеющие нагрузку на разрыв от 50 до 70 кг/мм<sup>2</sup>, практически всегда гарантируют надёжное фланцевое соединение, поскольку предполагается, что ввиду естественных ограничений полимерных трубопроводов явления температурной ползучести в металле отсутствуют.

Использование болтов, гаек и шпилек из нержавеющей стали и высокопрочных сплавов меди, бронзы и латуни оправдано лишь в случаях, когда есть повышенный риск коррозии: прокладка подземных трубопроводов в агрессивных почвах, риск атмосферной коррозии, прокладка трубопроводов в морской среде и т.п. В последнем случае гораздо эффективнее может оказаться использование оцинкованного крепежа или покрытие его эпоксидными смолами.

Для выбора крепежа рекомендуется обратиться к различным действующим международным Стандартам.

Рекомендуется использовать крепёж с крупным шагом резьбы, поскольку в случае необходимости его легче зачищать перед демонтажом, нежели крепёж с мелким шагом.

Аналогичные рекомендации применимы и к выбору гаек.

### Нормализованные фланцы

Чтобы облегчить взаимозаменяемость оборудования, оснащённого фланцами, и избежать расчётов размеров на этапе проектирования, все фланцы, используемые в настоящее время в полимерных трубопроводных системах, изготавливаются в соответствии с международными Стандартами.

Стандарты конструкции фланцев для полимерных трубопроводных систем аналогичны Стандартам для металлических труб. Они определяют размеры соединительных элементов фланца:

- межосевое расстояние крепёжных отверстий;
- количество, диаметр крепёжных отверстий;
- наружный диаметр и толщина фланца.

Все эти размеры унифицированы в соответствии с номинальным давлением в трубопроводе (PN) и номинальным диаметром трубопровода (DN). В Таб. 3.29 приведены основные параметры фланцев, применяемых для монтажа полимерных трубопроводных систем.

Таб. 3.29. Основные параметры фланцев

Внешний диаметр трубы, мм	DN	Межосевое расстояние крепёжных отверстий, мм	Диаметр отверстий под крепёж, мм	Количество отверстий
20	15	65	14	4
25	20	75	14	4
32	25	85	14	4
40	32	100	18	4
50	40	110	18	4
63	50	125	18	4
75	65	145	18	4
90	80	160	18	8
110	100	180	18	8
125	125	210	18	8
140	125	210	18	8
160	150	240	22	8
200	200	295	22	8
225	200	295	22	8
250	250	350	22	12
280	250	350	22	12
315	300	400	22	12
355	350	460	22	16
400	400	515	25	16

Для получения дополнительной информации о полном ассортименте фланцев, стандартах исполнения и доступных размерах рекомендуется обратиться к соответствующим Каталогам компании **Aliaxis**.

#### Инструкции по сборке фланцевых соединений

- 1] Надеть фланцы на бурты (для свободных фланцев).
- 2] Монтируя фиксированные фланцы, следует убедиться что крепёжные отверстия совпадают.
- 3] Убедиться, что положение ответного фланца учитывает габаритные размеры межфланцевого расстояния монтируемых компонентов.

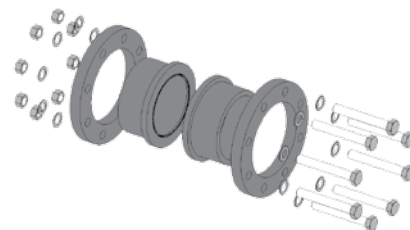


Рис. 3.56. Сборка фланца (1)

- 4] Вставить уплотнительную прокладку между фланцами (не требуется для дисковых затворов **FIP** и **Astore**), убедившись, что расстояние между поверхностями фланцев не превышает установленного.

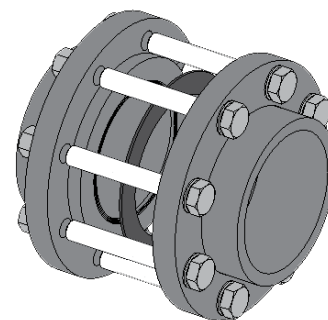


Рис. 3.57. Сборка фланца (2)

- 5] Выполнить приварку неподвижных фланцев или буртов (в случае свободных фланцев), следуя соответствующим инструкциям.
- 6] Вставить все шпильки или болты, надеть шайбы и наживить гайки.

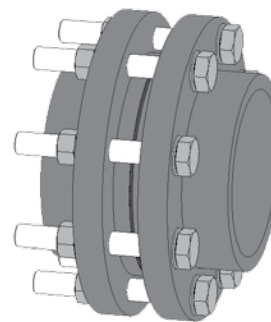


Рис. 3.58. Сборка фланца (3)

- 7] По истечении времени высыхания растворителя или остывания сварного соединения можно приступить к затяжке гаек в порядке «крест-накрест» (см. Рис. 3.59).

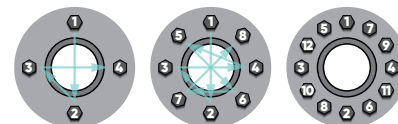


Рис. 3.59. Порядок затяжки гаек

- 8] Процесс следует завершить с помощью динамометрического ключа, пока не будет достигнуто нужное значение момента затяжки.

В нижеследующих таблицах представлены значения моментов затяжки гаек для фланцев из различных материалов с прокладками из EPDM, FPM и NBR, а также другая справочная информация.

Таб. 3.30. Свободные фланцы из НПВХ и ХПВХ. Момент затяжки

Внешний диаметр трубы, мм	DN	Момент затяжки <sup>1)</sup> , Н·м
20	15	9
25	20	9
32	25	9
40	32	9
50	40	9
63	50	12
75	65	15
90	80	18
110	100	20
125	125	35
140	125	55
160	150	40
200	200	55
225	200	55
250	250	70
280	250	70
315	300	70
355	350	75
400	400	75

<sup>1)</sup> Допуск момента затяжки – ±10%

Таб. 3.31. Свободные фланцы из АБС. Момент затяжки

Внешний диаметр трубы, мм	DN	Момент затяжки <sup>1)</sup> , Н·м
16	10	15
20	15	15
25	20	15
32	25	15
40	32	20
50	40	30
63	50	35
75	65	40
90	80	40
110	100	40
140	125	50
160	150	60
225	200	70
250	250	80
315	300	100

<sup>1)</sup> Допуск момента затяжки – ±10%

Таб. 3.32. Свободные фланцы из ПП и стальные глухие фланцы. Моменты затяжки

Внешний диаметр трубы, мм	DN	Свободный фланец. Момент затяжки <sup>1)</sup> , Н·м	Стальной глухой фланец. Момент затяжки <sup>1)</sup> , Н·м
20	15	15	15
25	20	15	15
32	25	15	15
40	32	20	25
50	40	30	35
63	50	35	35
75	65	40	40
90	80	40	40
110	100	40	45
125	100	40	45
140	125	50	50
160	150	60	60
180	150	60	60
200	200	70	70
225	200	70	70
250	250	80	100
280	250	80	100
315	300	100	110
355	350	120	160
400	400	140	170

<sup>1)</sup> Допуск момента затяжки – ±10%

Таб. 3.33. Параметры болтов для монтажа фланцевых дисковых затворов FIP

Внешний диаметр трубы, мм	DN	Болты, М×мм (минимальная длина)
50	40	M16 × 150
63	50	M16 × 150
75	65	M16 × 170
90	80	M16 × 180
110	100	M16 × 180
125/140	125	M16 × 210
160/180	150	M20 × 240
200/225	200	M20 × 260
250/280	250	M20 × 310
315	300	M20 × 340
355	350	M20 × 360
400	400	M24 × 420

Таб. 3.34. Параметры болтов для фланцевого соединения труб

Внешний диаметр трубы, мм	DN	Болты, М*мм (минимальная длина)
20	15	M12 × 70
25	20	M12 × 70
32	25	M12 × 70
40	32	M16 × 85
50	40	M16 × 85
63	50	M16 × 95
75	65	M16 × 95
90	80	M16 × 105
110	100	M16 × 105
125	125	M16 × 115
140	125	M16 × 120
160	150	M20 × 135
200	200	M20 × 140
225	200	M20 × 140
250	250	M20 × 150
280	250	M20 × 160
315	300	M20 × 180
355	350	M20 × 180
400	400	M22 × 180

Следует обратить внимание, что:

- использование свободных фланцев из металла или стекловолокна позволяет применять более высокие моменты затяжки (при условии, что они не превышают предел прочности материала);
- использование эластомерных уплотнительных материалов, отличных от перечисленных в предыдущих таблицах, может потребовать несколько более высоких моментов затяжки;
- компания **Aliaxis** всегда рекомендует использовать шайбы подходящего размера для любого крепежа, используемого для соединения фланцев.



#### Предупреждение

Дисковые затворы **FIP** комплектуются собственными уплотнителями. Поэтому при фланцевом монтаже дополнительные прокладки не требуются. Более того, дополнительные уплотнители могут создать проблемы при затяжке из-за контакта резины с резиной.

#### Преимущества и области применения

Фланцевые соединения чрезвычайно широко используются в трубопроводах пожаротушения, в водо- и газопроводах, во многих областях промышленности. Они предоставляют удобную возможность обеспечить герметичную точку присоединения КИП или регулирующей арматуры, а также позволяют соединять разнородные трубы различного диаметра.

### 3.1.7. Резьбовые соединения

Резьбовое соединение – соединение деталей при помощи резьбы – чередующихся выступов и впадин на поверхности тела вращения, расположенных по винтовой линии. Применяется как средство соединения, уплотнения или обеспечения заданных перемещений деталей машин, механизмов, приборов, аппаратов, сооружений.

Соединение полимерных труб и фитингов посредством резьбовых соединений широко используется в бытовых и промышленных системах, где существует необходимость в соединении разнородного оборудования.

Резьбовые соединения предпочтительно использовать, когда трубопроводную систему планируется периодически очищать или модернизировать.

Поскольку резьбовые соединения уменьшают толщину стенки, детали (трубы, фитинги и т.д.) имеют более низкий предел прочности и резьбовые трубопроводы имеют более низкую механическую прочность по сравнению со сваренными системами.



Резьба требует определённой жёсткости материала. Поэтому резьбовые полимерные соединения применяются в основном в трубопроводах из жёсткого ПВХ. Такие трубопроводы отличаются несомненными преимуществами: возможность начать эксплуатацию немедленно после монтажа, возможность, в случае необходимости, быстрого демонтажа и широкий ассортимент фитингов, аксессуаров и КИП для построения сложных систем. Резьба используется также в трубопроводных системах из АБС. Резьбовые системы из полипропилена и полиэтилена используются в случае, если в материал добавляются соответствующие наполнители (например, стекловолокно), повышающие жёсткость и механическую прочность элементов. При производстве жёстких труб и фитингов из ПВХ в основном используется резьба BSP (британский стандарт трубных цилиндрических резьб) и резьба NPT (американский стандарт на конусную резьбу с конусностью 1:16).

### Основные характеристики резьб

**1) Цилиндрическая трубная резьба BSP.** Международный Стандарт трубной резьбы был принят во всём мире кроме США, где действует Стандарт NPT.

Различают два типа резьбы BSP:

- трубная параллельная резьба британского стандарта (BSPP), которая имеет постоянный диаметр. Обозначается буквой G. Внутренняя и наружная резьбы параллельны. Резьба BSPP используется там, где герметичное соединение достигается за счёт сжатия мягкого материала (такого как уплотнительное кольцо или шайба) между торцом наружной резьбы и торцом гнезда с затягиванием гайки;
- трубная коническая резьба британского стандарта (BSPT), диаметр которой увеличивается или уменьшается по длине резьбы. Обозначается буквой R. Резьба BSPT используется там, где герметичность обеспечивается за счёт соединения двух резьб вместе. Международные стандарты требуют, чтобы вся внутренняя резьба была параллельной, а наружная – конической.

Прежде чем подробно рассмотреть конфигурацию резьбы BSPP и сравнить ее с NPT, может быть полезно определить основные элементы резьбы. Номинальный профиль резьбы и размеры его элементов определяются Стандартами ГОСТ 6357-81, ISO 228, EN 10226, DIN 259, BS 2779 (см. Рис. 3.60, резьба BSPT):

- $d$  – наружный диаметр наружной резьбы (трубы);
- $d_1$  – внутренний диаметр наружной резьбы;
- $d_2$  – средний диаметр наружной резьбы;
- $D$  – наружный диаметр внутренней резьбы (муфты);
- $D_1$  – внутренний диаметр внутренней резьбы;
- $D_2$  – средний диаметр внутренней резьбы;
- $P$  – шаг резьбы;
- $H$  – высота исходного треугольника;
- $H_1$  – рабочая высота профиля;
- $R$  – радиус закругления вершины (впадины) резьбы.

Стандарт ISO 228-1 содержит основные размеры и параметры цилиндрической трубной резьбы Уитворта, а стандарт DIN ISO 7/1 определяет параметры трубной конической резьбы Уитворта.

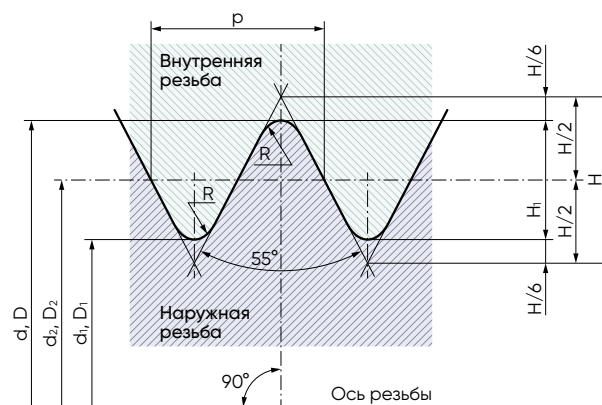


Рис. 3.60. Параметры цилиндрической резьбы Уитворта

Таб. 3.35. Основные размеры цилиндрической трубной резьбы Уитворта

DN, "	Число шагов на 25,4 мм	Шаг резьбы (p), мм	Рабочая высота профиля ( $H_1$ ), мм	Эффективная длина резьбы <sup>1)</sup> , мм
1/4	19	1,337	0,856	9,688
3/8	19	1,337	0,856	10,025
1/2	14	1,814	1,162	13,152
3/4	14	1,814	1,162	14,514
1	11	2,309	1,479	16,714
1 1/4	11	2,309	1,479	19,050
1 1/2	11	2,309	1,479	19,050
2	11	2,309	1,479	23,378
2 1/2	11	2,309	1,479	26,698
3	11	2,309	1,479	29,873
4	11	2,309	1,479	35,791

<sup>1)</sup> Эффективная длина резьбы – длина резьбы с полным профилем

Таб. 3.36. Основные размеры конической трубной резьбы Уитворта

DN, "	Число шагов на 25,4 мм	Шаг резьбы (p), мм	Рабочая высота профиля (H <sub>1</sub> ), мм	Эффективная длина резьбы <sup>1)</sup> , мм
¼	19	1,337	0,856	9,7
⅜	19	1,337	0,856	10,1
½	14	1,814	1,162	13,2
¾	14	1,814	1,162	14,5
1	11	2,309	1,479	16,8
1 ¼	11	2,309	1,479	19,1
1 ½	11	2,309	1,479	19,1
2	11	2,309	1,479	23,4
2 ½	11	2,309	1,479	26,7
3	11	2,309	1,479	29,8
4	11	2,309	1,479	35,8

<sup>1)</sup> Эффективная длина резьбы – длина резьбы с полным профилем

**2] Трубная коническая резьба NPT.** Её параметры определяются американским национальным Стандартом. Резьба NPT применяется при проектировании трубопроводов для транспортировки жидкостей под давлением в химической и нефтехимической промышленности.

Параметры резьбы NPT показаны на см. Рис. 3.61. Размеры и характеристики трубной конической резьбы NPT описаны в Стандарте ANSI B1.20.1.

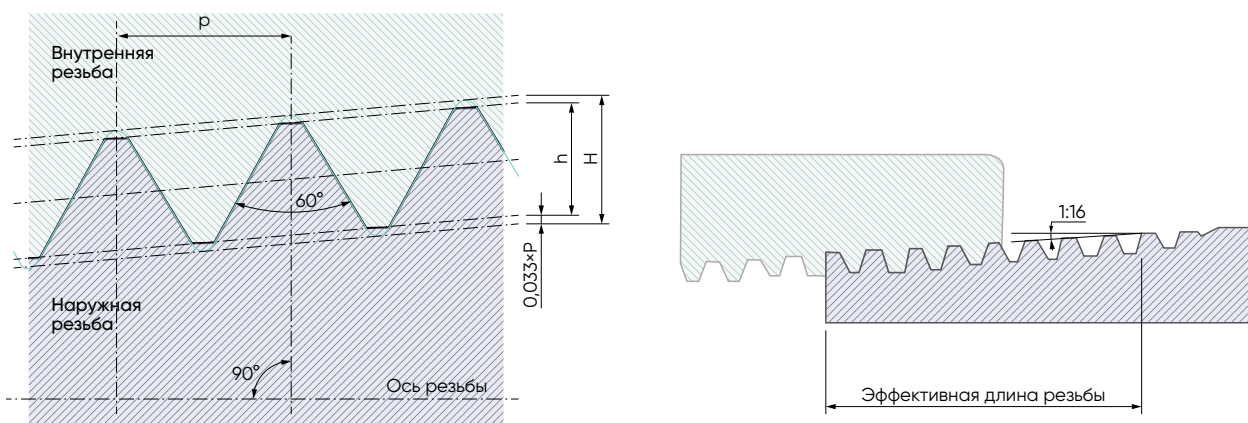


Рис. 3.61. Параметры конической трубной резьбы NPT

Таб. 3.37. Основные размеры конической трубной резьбы NPT

DN, "	Число шагов на 25,4 мм	Шаг резьбы (p), мм	Рабочая высота профиля (h), мм	Эффективная длина резьбы <sup>1)</sup> , мм
¼	18,0	1,4112	1,1288	10,2057
⅜	18,0	1,4112	1,1288	10,3581
½	14,0	1,8143	1,4514	13,5560
¾	14,0	1,8143	1,4514	13,8608
1	11,5	2,2088	1,7671	17,3431
1 ¼	11,5	2,2088	1,7671	17,9527
1 ½	11,5	2,2088	1,7671	18,3769
2	11,5	2,2088	1,7671	19,2151
2 ½	8,0	3,1750	2,5400	28,8925
3	8,0	3,1750	2,5400	30,4800
4	8,0	3,1750	2,5400	33,0200

<sup>1)</sup> Эффективная длина резьбы – длина резьбы с полным профилем

## Инструкции по сборке резьбовых соединений

Чтобы гарантировать должное гидравлическое уплотнение при резьбовом соединении, компания **Aliaxis** рекомендует последовательно выполнить следующие операции.

- 1] Намотать немного уплотнительной ленты из ПТФЭ (ФУМ-ленты) на наружное резьбовое соединение, не закрывая сквозное отверстие на трубе, фитинге или запорной арматуре (см. Рис. 3.62). Наматывать следует по часовой стрелке в случае правой резьбы и против часовой стрелки в случае левой.



Рис. 3.62. Начало намотки ленты

- 2] Завершить первый слой намотки, наматывая ленту по часовой стрелке, пока лентой не будет покрыта вся резьба. Ленту следует держать натянутой на протяжении всего процесса (см. Рис. 3.63).
- 3] Нажать на витки ленты, чтобы убедиться, что она заполнила впадины резьбы.



Рис. 3.63. Продолжение намотки ленты

- 4] Увеличить толщину слоя ленты, продолжая туго наматывать её по часовой стрелке, пока не будет достигнута оптимальная толщина. Обычно она определяется монтажником опытным путём.
- 5] В процессе затяжки резьбового соединения всегда следует контролировать, что слой ФУМ-ленты остаётся на резьбе и не снимается с неё при заворачивании.
- 6] Завершить свинчивать соединение посредством подходящего инструмента, используя всю длину резьбы.
- 7] Следует избегать слишком сильной затяжки, так как это может повредить резьбу или вызвать излишние механические напряжения в соединяемых элементах.



Рис. 3.64. Готовое уплотнение

Компания **Aliaxis** рекомендует использовать уплотнительную ФУМ-ленту только из политетрафторэтилена.

Ни при каких обстоятельствах нельзя использовать такие материалы, как пенька, ворс или краски, обычно применяемые в качестве уплотнителя на металлических резьбах.



### Предупреждение

Не следует использовать резьбовые соединения в следующих случаях:

- особо ответственные области (например, транспортировка химически агрессивных или токсичных жидкостей);
- в трубопроводах среднего и высокого давления. В этих случаях компания Aliaxis рекомендует использовать сварные или фланцевые соединения;
- системы, подверженные механическим и/или термическим нагрузкам (регулярные гидроудары, сильные колебания температуры, механические напряжения, которые могут привести к преждевременному повреждению резьбовых соединений);
- соединение элементов на значительном расстоянии друг от друга.

### 3.1.8. Разъёмные соединения с помощью муфт Straub

Изобретённые более полувека назад, муфты Straub являются альтернативой многим другим методам соединения труб, требующих больших знаний. Основная идея этих муфт – возможность соединения гладких концов труб без какой-либо обработки.

Быстро устанавливаемая, простая и надёжная муфта с внутренними прокладками – вместо сварки или фланцевых соединений. Благодаря своей оригинальной концепции муфты Straub являются инновацией на мировом рынке технологий соединения труб.

В линейке муфт Straub можно выделить два типа: соединительные муфты с жёсткой осевой фиксацией (Straub-Grip) и муфты с осевой компенсацией (Straub-Flex).

За счёт специальных анкерных колец, зацепляющихся за материал трубы и обеспечивающих механическое соединение, динамическая система крепления Straub-Grip способна поглощать осевые усилия, возникающие от внутреннего давления. Чем выше внутреннее давление, тем сильнее анкерное кольцо входит в зацепление с материалом трубы.

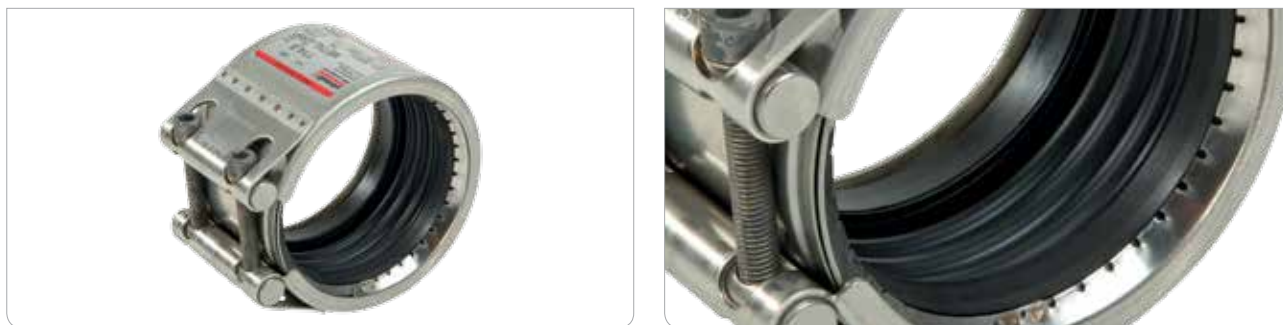


Рис. 3.65. Муфта Straub-Metal-Grip

Муфты серии Straub-Metal-Grip и Straub-Grip в основном используются для соединения стальных труб, хотя они также подходят и для труб из жёсткого полимера. Серия Straub-Combi-Grip используется для перехода от стальных к полимерным трубам, а система Straub-Plast-Grip разработана специально для соединения полимерных труб.

Возможности применения традиционных методов соединения полимерных труб сильно зависят от погоды, от температуры окружающей среды, требуют сложного оборудования или специальных инструментов, а также подразумевают высокую квалификацию персонала. А муфты Straub-Plast-Grip соединяют трубы из любых видов полимера в любых условиях. Муфты также способны соединять трубы из различных материалов.

В случае необходимости (например, при модернизации существующей системы) муфты Straub легко демонтируются и могут быть использованы многократно, что повышает экономическую эффективность и снижает затраты.

Муфты Straub-Plast-Grip и Straub-Combi-Grip – это надёжное соединение труб с осевой фиксацией, которое можно использовать везде и в любое время. Оба типа муфт выпускаются в диапазоне диаметров от 38 до 355 мм и могут использоваться в диапазоне температур от  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$  (с прокладками из EPDM) и от  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$  (с прокладками из NBR).

Существует разновидность муфт с осевой фиксацией Straub-Plast-Pro, которая используется в основном для монтажа напорных труб из полиэтилена. Муфты этого типа предлагают альтернативу традиционным методам соединения полиэтилена, используемым в системах водоснабжения, водоотведения, в промышленных установках и при



Рис. 3.66. Муфта Straub-Plast-Grip

техническом обслуживании. Полный ассортимент продукции доступен для полиэтиленовых труб типоразмера SDR 11 (63...180 мм, PN16) и SDR 17 (125...355 мм, PN10).

Очевидные преимущества – лёгкий монтаж без необходимости иметь источники электропитания и без необходимости специально подготавливать стыкуемые концы труб. Работы можно проводить в любых погодных условиях.

Трубы из ПЭ80 и ПЭ100 соединяются посредством трубной вставки и наружных зажимных хомутов (см. Рис. 3.67). Такая концепция позволяет легко и за очень короткое время собирать трубопроводную систему.



Рис. 3.67. Муфты Straub-Plast-Pro с трубной вставкой

Полиэтиленовые трубы с дополнительными защитными слоями выпускаются в различных модификациях, включая барьерные (диффузионно-стойкие) трубы со слоем алюминиевой фольги. Такие трубы предпочтительно прокладывать в загрязнённой почве, что надёжно предотвращает попадание загрязнений в перекачиваемую среду и перекачиваемые вещества в почву. Муфты Straub-Plast-Pro легко и безопасно соединяют барьерные трубы без необходимости какой-либо подготовки их концов.

Перед сборкой следует проверить наружный диаметр труб, а также соответствие рабочему диапазону давлений каждой отдельной оболочки. Рабочий диапазон температур – от  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Муфты Straub-Plast-Pro успешно прошли испытания в соответствии с британским стандартом WIS 4-24-01 и соответствует требованиям европейского стандарта EN 1254-3.

Соединительные муфты с осевой компенсацией Straub-Flex позволяют соединять трубы практически всех мыслимых диаметров из однородных или разнородных полимеров, предназначенных для работы с самыми разными средами в широком диапазоне рабочих температур и давлений.

Поскольку трубные муфты Straub-Flex не могут поглощать осевые нагрузки, трубы должны быть закреплены в осевом направлении с использованием соответствующих приспособлений: тяг, точек крепления, бетонных опор и т.д. Уплотнительная манжета разделяет корпус муфты и поверхность трубы. При этом оптимально гасятся звуки, вибрации и колебания.

Муфты Straub-Flex доступны в диапазоне диаметров от 48,3 мм до 4064 мм и могут использоваться в диапазоне температур от  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+180\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Уплотнительные манжеты этих муфт изготовлены из EPDM, NBR или FKM.

Соединительные муфты Straub-Open-Flex обладают теми же характеристиками, что и Straub-Flex, но расширяют области их возможного применения. Корпуса муфт Straub-Open-Flex могут быть шарнирными и составными – из двух или трёх частей. Их можно использовать для соединения труб или для ремонта без демонтажа существующих линий.

Муфты Straub-Open-Flex доступны в диапазоне диаметров от 48,3 мм до 4064 мм и могут использоваться в диапазоне температур от  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+180\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Уплотнительные манжеты этих муфт изготовлены из EPDM, NBR или FKM.

Часто возникает необходимость соединять трубы разного диаметра. Для этого разработаны соединительные муфты Straub-Step-Flex.

Возможная разница в диаметре соединяемых труб может составлять от 10 до 30 мм (максимум). Большая разница в диаметре может быть компенсирована использованием редукционного фитинга и двумя муфтами. Для небольшой разницы диаметров (5...9 мм) есть поставляемое по запросу решение Straub-Flex 2/3.

При наличии внутреннего давления соединительные муфты Straub-Step-Flex всегда стремятся сдвинуться в направлении меньшего диаметра и поэтому для предотвращения скольжения их необходимо обязательно закреплять соответствующими приспособлениями-фиксаторами. Такие фиксаторы доступны по запросу. Они не требуются для безнапорных систем.

Муфты Straub-Step-Flex доступны в диапазоне наружных диаметров от 219,1 мм до 2032 мм и могут использоваться в диапазоне температур от  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Уплотнительные манжеты этих муфт изготовлены из EPDM.

### Кольцевые вкладки Straub

Безопасное соединение посредством муфт Straub обеспечивается в том числе их уникальностью, а также набором соответствующих аксессуаров.

Кольцевые вкладки используются для защиты уплотнительной втулки от механических или химических повреждений на концах соединяемых труб.

Кольцевые вкладки необходимы для:

- установки нужного расстояния между концами труб;
- предотвращения осевого перемещения труб (сближение, раздвиг);
- углового отклонения и осевого смещения соединяемых труб;
- при работе с вакуумом (например, на всасывающих линиях);
- в условиях внешнего давления (например, при прокладке подводных трубопроводов);
- при работе в условиях высоких температур;
- при перекачке топлива и горючих материалов;
- в условиях возможного набухания уплотнителей, вызванного контактом с химическими веществами.

Выбор материала кольцевых вкладок определяется средой и температурой. При работе при температуре окружающей среды, с соленой водой и с химическими веществами используются кольцевые вкладки из полимера. Кольцевые вкладки из нержавеющей стали требуются при более высоких температурах, при работе с вакуумом и при наличии внешнего давления на трубопровод. Также возможны комбинации полимера и нержавеющей стали.

T-образные вкладки обеспечивают нужное положение соединяемых труб, предотвращают сползание муфты при сильных и динамических нагрузках.

Кольцевые вкладки из PVDF можно использовать в диапазоне температур от -30 °C до +115 °C. Вкладки из полиэтилена высокой плотности используются в диапазоне температур от -50 °C до +70 °C.

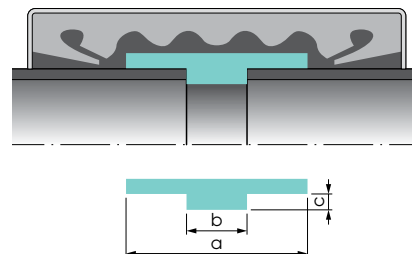


Рис. 3.68. T-образные вкладки

В см. Таб. 3.38 приведены необходимые данные для подбора соответствующих кольцевых вкладок.

Таб. 3.38. Области применения кольцевых вкладок из различных материалов

Тип муфты Straub	Нержавеющая сталь		Полимер		T-образные вкладки <sup>1)</sup>	
	AISI 316 L	AISI 301	ПВДФ	ПНД	ПВДФ	ПНД
Straub-Metal-Grip	✓		✓			
Straub-Grip 25,0...168,3 мм	✓		✓			
Straub-Grip 180,0...711,2 мм	✓			✓		
Straub-Eco-Grip	✓					
Straub-Plast/Combi-Grip	✓		✓			
Straub-Flex/Open-Flex 1	✓		✓		✓ (от Ø76,1 мм)	
Straub-Flex/Open-Flex 2	✓			✓		✓
Straub-Flex/Open-Flex 3	✓			✓		✓
Straub-Flex/Open-Flex 3,5		✓		✓		
Straub-Flex/Open-Flex 4		✓		✓		

<sup>1)</sup> Характеристики T-образных ПОЛИМЕРНЫХ вкладок для муфт Straub-Flex/Open-Flex 1, 2 и 3 приведены на Рис. 3.68 и в см. Таб. 3.39

Таб. 3.39. Параметры T-образных полимерных вкладок

T-образная вкладка	D <sub>e</sub> , мм	Ширина вкладки a, мм	Ширина выступа b, мм	Высота выступа c, мм
Straub-Flex/Open-Flex 1	76,1...118,0	45,0	5,0	3,5
	127,0...168,3	55,0	5,0	3,5
Straub-Flex/Open-Flex 2	Все размеры	75,0	7,5	6,0
Straub-Flex/Open-Flex 3	Все размеры	118,0	10,0	6,0



## Кольца жёсткости Straub

Полимерные трубы могут деформироваться под воздействием давления и тепла. Благодаря использованию колец жёсткости Straub предотвращается сужение концов полимерных труб. Кольца жёсткости Straub изготовлены из нержавеющей стали AISI 304 и выпускаются с прорезями (для диаметров 40...315 мм) и цельными (для диаметров 355...1600 мм). Для подбора нужного кольца надо знать одну из следующих характеристик полимерной трубы:

- внутренний диаметр;
- SDR;
- толщину стенки.



Рис. 3.69. Кольцо жёсткости

Если трубы имеют на концах сужение из-за длительного хранения, настоятельно рекомендуется отрезать эти суженные участки перед установкой колец жёсткости Straub. Кольца жёсткости с прорезями должны быть установлены в направлении, указанном стрелкой, заподлицо с концом трубы.

**Примечание:** для полимерных труб из ПВХ, АБС и ХПВХ, а также для труб из стекловолокна не требуется устанавливать кольца, если рабочая температура среды ниже +40 °С.

Таб. 3.40 может быть полезна при выборе колец жёсткости для муфт типа Straub-Plast-Grip. Указанные в ней параметры распространяются только на гибкие трубы, например, из ПП, ПЭ и т.д.

Таб. 3.40. Параметры гибких полимерных труб по Стандарту DIN 8074

SDR	41,00	33,00/32,25	26,00	17,60	17,00	11,00	7,40/7,25
Серия	S 20	S 16/S 15,625	S 12,5	S 8,3	S 8	S 5	S 3,2/S 3,125
D <sub>вн</sub> , мм	Внутренний диаметр трубы D <sub>вн</sub> , мм						
40	—	—	36,4	35,4	35,2	32,6	29,0
50	—	46,4	46,0	44,2	44,0	40,8	36,2
63	59,4	59,0	58,0	55,8	55,4	51,4	45,8
75	71,2	70,4	69,2	66,4	66,0	61,4	54,4
90	85,6	84,4	83,0	79,8	79,2	73,6	65,4
110	104,6	103,2	101,6	97,4	96,8	90,0	79,8
125	118,8	117,2	115,4	110,8	110,2	102,2	90,8
140	133,0	131,4	129,2	124,0	123,4	114,6	101,6
160	152,0	150,2	147,6	141,8	141,0	130,8	116,2
180	171,2	169,0	166,2	159,6	158,6	147,2	130,8
200	190,2	187,6	184,6	177,2	176,2	163,6	145,2
225	214,0	211,2	207,8	199,4	198,2	184,0	163,4
250	237,6	234,6	230,8	221,6	220,4	204,6	181,6
280	266,2	262,8	258,6	248,2	246,8	229,2	203,4
315	299,6	295,6	290,8	279,2	277,6	257,8	228,8

- Выбор колец жёсткости только по результатам измерений параметров труб возможен лишь условно. Возможно, потребуется ручной подбор наиболее подходящего кольца.
- Таблица применима только к гибким полимерным трубам.
- Кольца жёсткости являются дополнительными аксессуарами и заказываются отдельно.

## Инструкции по монтажу муфт Straub

**1** Зазор между концами труб может возникнуть из-за несоосности, перемещения грунта, неточной сборки или изменения длины. Муфты Straub могут (в определённых пределах) соединять эти промежутки.

- 5...10 мм без кольцевых вставки (в зависимости от диаметра трубы. Информация находится на этикетке муфты);
- 5...35 мм с кольцевой вставкой (в зависимости от диаметра трубы. Необходимо ознакомиться с техническим паспортом).

Кольцевые вставки используются в случае: большого расстояния между концами труб, набухания концов труб из-за воздействия агрессивных жидкостей, при работе с вакуумом, когда трубопровод работает под внешним давлением или при высокой температуре. Кольцевые вставки являются дополнительными аксессуарами и заказываются отдельно.

Нельзя превышать указанные зазоры между трубами!

В Таб. 3.41 и на Рис. 3.70 приведена дополнительная полезная информация.

Зазоры между концами труб образуются из-за углового отклонения, неточной сборки и изменения длины труб под воздействием нагрузок или температуры. Этот зазор не должен превышать значения  $R_p$  ( $R_p$  – максимальный зазор между концами труб. Его величина обозначена в документации к муфте). Используя кольцевую вставку, зазор можно несколько увеличить. Это максимальное значение зависит от конструкции конкретного типа муфты и может быть взято из соответствующей технической документации.

Таб. 3.41. Максимальные зазоры между труб для соединительных муфт Straub

$D_{er}$ , мм	Угловое отклонение труб, °						
	1	2	4	6	8	10	12
	Макс. расст. между концами труб $R_{max}$ , мм						
26,9	0,5	1	2	3	4	5	6
30,0	0,5	1	2	3	4	5	6
33,7	0,5	1	2	3	4	6	7
38,0	1	1	3	4	5	7	8
40,0	1	2	3	4	6	7	8
42,4	1	2	3	4	6	7	9
44,5	1	2	3	5	6	8	9
48,3	1	2	3	5	7	8	10
50,0	1	2	4	5	7	9	11
54,0	1	2	4	6	8	9	11
57,0	1	2	4	6	8	10	12
60,3	1	2	4	6	8	11	13
63,0	1	2	4	7	9	11	13
75,0	1	3	5	8	11	13	16
76,1	1	3	5	8	11	13	16
84,0	2	3	6	9	12	15	18
88,9	2	3	6	9	12	16	19
90,0	2	3	6	9	13	16	19
104,0	2	4	7	11	15	18	22
108,0	2	4	8	11	15	19	23
110,0	2	4	8	12	15	19	23
114,3	2	2	8	12	16	20	24
125,0	2	2	9	13	17	22	26
129,0	2	5	9	14	18	23	27
133,0	2	5	9	14	19	23	28
139,7	2	5	10	15	20	24	29
140,0	2	5	10	15	20	24	29
154,0	3	5	11	16	22	27	32
159,0	3	6	11	17	22	28	33
160,0	3	6	11	17	22	28	33
168,3	3	6	12	18	24	30	35

$D_{er}$ , мм	Угловое отклонение труб, °					
	1	2	3	4	6	8
	Макс. расст. между концами труб $R_{max}$ , мм					
180,0	3	6	9	13	19	25
200,0	4	7	11	14	21	28
219,1	4	8	12	15	23	31
244,5	4	9	13	17	26	34
250,0	4	9	13	17	26	35
267,0	5	9	14	19	28	37
273,0	5	10	14	19	29	38
304,0	5	11	16	21	32	42
323,9	6	11	17	23	34	45
355,6	6	12	19	25	37	50
406,4	7	14	21	28	43	57
457,2	8	16	24	32	48	—
508,0	9	18	27	36	53	—
559,0	10	20	29	39	59	—
575,0	10	20	30	40	—	—
609,6	11	21	32	43	—	—
711,2	12	25	37	50	—	—
762,0	13	27	40	53	—	—
812,8	14	28	43	57	—	—
914,4	16	32	48	—	—	—
1016,0	18	36	53	—	—	—
1117,6	20	39	59	—	—	—
1219,2	21	43	—	—	—	—
1320,8	23	46	—	—	—	—
1422,4	25	50	—	—	—	—
1524,0	27	53	—	—	—	—
1625,6	28	57	—	—	—	—
1727,2	30	—	—	—	—	—
1828,8	32	—	—	—	—	—
1930,4	34	—	—	—	—	—
2032,0	36	—	—	—	—	—

2] Муфты Straub могут соединять две трубы с угловым осевым смещением (в зависимости от диаметра):

- <  $\varnothing 60,3$  мм  $\rightarrow 5^\circ$ ;
- >  $\varnothing 76,1$  мм  $\rightarrow 4^\circ$ ;
- >  $\varnothing 219,1$  мм  $\rightarrow 2^\circ$ ;
- >  $\varnothing 609,6$  мм  $\rightarrow 1^\circ$ .

См. зазор между концами труб  $R_p$ !

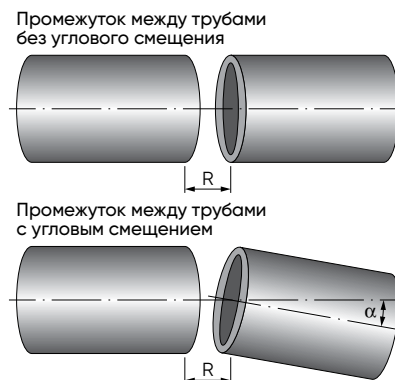


Рис. 3.70. Угловое смещение труб

**3]** Муфты Straub могут компенсировать поперечное смещение двух труб:

- 1% от внешнего диаметра трубы, но не более 3 мм.

Поперечное смещение труб

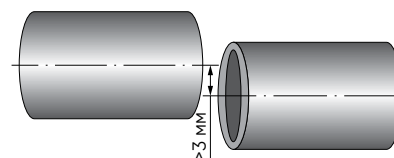


Рис. 3.71. Поперечное смещение труб

**4]** Муфты Straub могут соединять трубы различного наружного диаметра при соблюдении следующих условий:

- <  $\text{Ø}100$  мм  $\rightarrow$  2 мм;
- >  $\text{Ø}100$  мм  $\rightarrow$  2% от  $D_e$ ;
- >  $\text{Ø}300$  мм  $\rightarrow$  6 мм;
- при разнице диаметров до 9 мм – использовать Straub-Flex;
- при разнице диаметров более 10 мм – использовать Straub-Step;

Разный диаметр труб

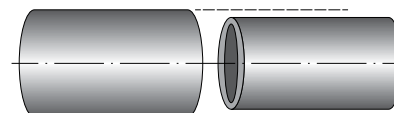


Рис. 3.72. Разный диаметр труб

**5]** Трубы часто бывают неидеально круглыми. Безопасное отклонение от округлости составляет:

- Straub-Flex 1  $\rightarrow$  4 мм;
- Straub-Flex 2  $\rightarrow$  2% от  $\text{Ø}$ ;
- Straub-Flex 3  $\rightarrow$  2% от  $\text{Ø}$ ;
- Straub-Flex 3,5  $\rightarrow$  2% от  $\text{Ø}$ ;
- Straub-Flex 4  $\rightarrow$  2% от  $\text{Ø}$ .

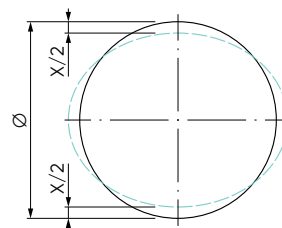
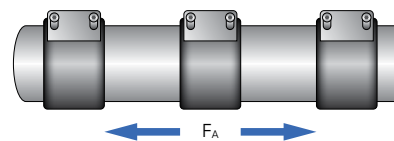


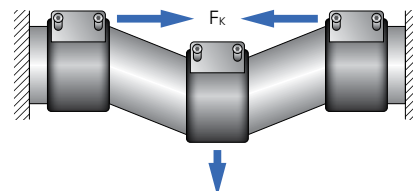
Рис. 3.73. Овальность труб

**Straub-Flex 2...4:** для сохранения возможности закрепления муфты отклонение от формы окружности  $X$  (см. Рис. 3.73) также должно находиться в пределах допустимой разницы в диаметрах (см. п. 4]). Значение  $X$  не должно превышать 6 мм).

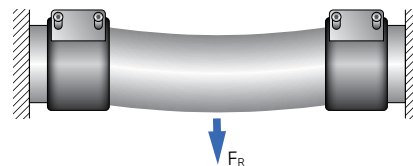
**6]** **Осевая нагрузка  $F_A$ .** Внутреннее давление PN действует непосредственно как растягивающее усилие на каждое соединение труб. Преобладающее растягивающее усилие может быть рассчитано исходя из соответствующего внутреннего давления и известного диаметра трубы (см. Рис. 3.74). Это усилие не может быть компенсировано посредством муфт Straub-Flex и Straub-Open-Flex.

Рис. 3.74. Осевая нагрузка  $F_A$ 

**7]** **Осевая нагрузка на излом  $F_K$ .** Если трубам препятствуют двигаться в осевом направлении (что говорит о неправильном проектировании или монтаже), труба имеет тенденцию прогибаться в случае повышения внутреннего давления (см. Рис. 3.75). Этот прогиб не может быть компенсирован посредством муфт Straub-Flex и Straub-Grip.

Рис. 3.75. Осевая нагрузка на излом  $F_K$ 

**8]** **Радиальная (весовая) нагрузка  $F_R$ .** Нагрузка зависит от веса секции трубы и веса содержащейся в ней среды (см. Рис. 3.76). Соединения труб муфтами Straub-Flex и Straub-Grip могут компенсировать поперечные нагрузки лишь в малой степени.

Рис. 3.76. Радиальная (весовая) нагрузка  $F_R$

**9] Осевое смещение.** Трубы подвержены колебаниям температуры как от перекачиваемой среды, так и от окружающей среды. Эти колебания температуры вызывают осевые смещения в трубе. Осевое перемещение зависит от материала трубы, длины соответствующего участка трубы и колебаний температуры.

При использовании соединительных муфт Straub-Grip места крепления труб выбираются таким образом, чтобы осевые смещения преобразовывались в угловые (см. Рис. 3.77).

Если используются соединительные муфты Straub-Flex, необходимо обеспечить такой монтаж, чтобы осевое смещение в каждой секции трубы не превышало компенсационных возможностей используемых соединительных муфт.

В см. Таб. 3.42 приведены значения максимально допустимых изменений осевой длины при использовании соединительных муфт Straub-Flex и Straub-Open-Flex.

Таб. 3.42. Допустимые изменения осевой длины для муфт Straub-Flex и Straub-Open-Flex

Straub-Flex Straub-Open-Flex	$\Delta l$ , мм
1	5
2	10
3	15
3,5	15
4	20

**10]** Крепление трубы с помощью соединительных муфт Straub-Grip (см. Рис. 3.77, поз. А) с осевой фиксацией:

- трубы закреплены в муфте;
- необходимы только крепления/опоры/подвесы для труб;
- осевые смещения труб должны быть компенсированы вне соединений, например, с помощью П-образных компенсаторов.

Крепление труб с помощью соединительных муфт Straub-Flex (см. Рис. 3.77, поз. Б) без осевой фиксации:

- трубы не закреплены в муфте;
- для каждой секции трубы требуется одна фиксированная опора (подвес) и как минимум одна скользящая опора или подвес;
- осевые смещения труб могут быть компенсированы самой муфтой.

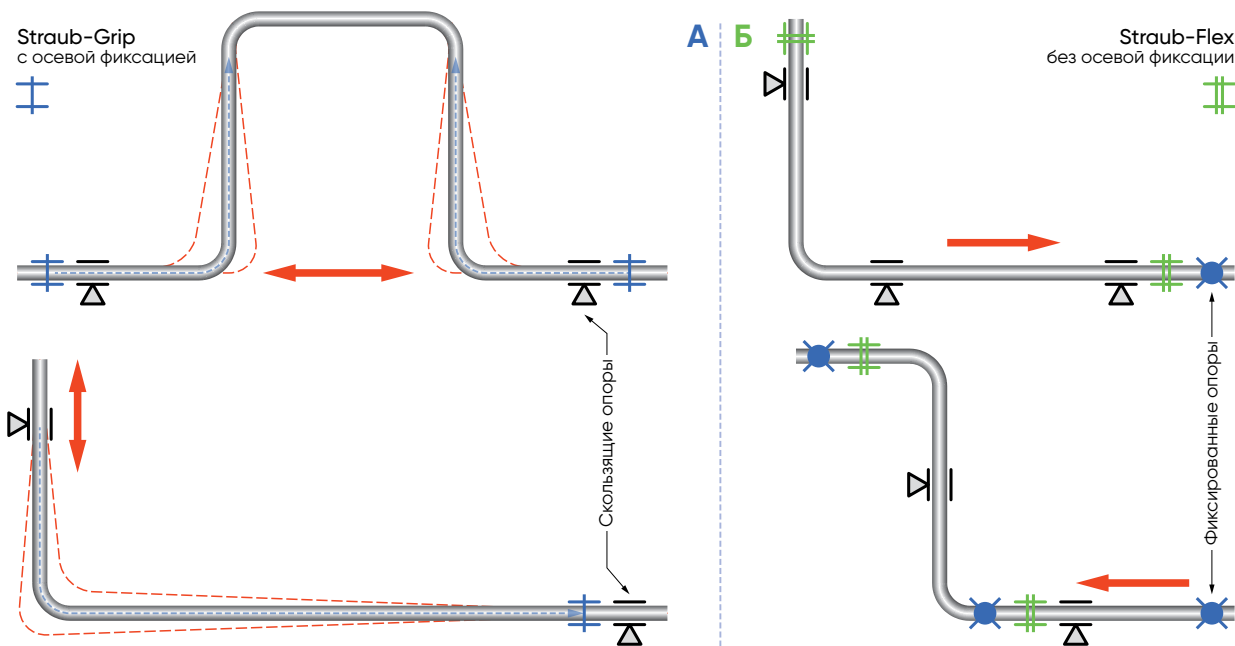


Рис. 3.77. Рекомендуемый выбор мест крепления труб при использовании муфт Straub

**Предупреждение**

При расчёте компенсации осевого смещения следует учитывать приведённые ниже (см. §3.2.1, стр. 202) тепловые коэффициенты расширения.

- Если рабочая температура выше температуры при монтаже, это приводит к удлинению трубы;
- Если рабочая температура ниже температуры при монтаже, это приводит к укорачиванию трубы.

**Технические характеристики материалов соединительных муфт Straub**

В зависимости от размера, типа, коррозионной стойкости и номинального давления муфты и их части производятся из различных материалов (см. Рис. 3.78 и Таб. 3.43).

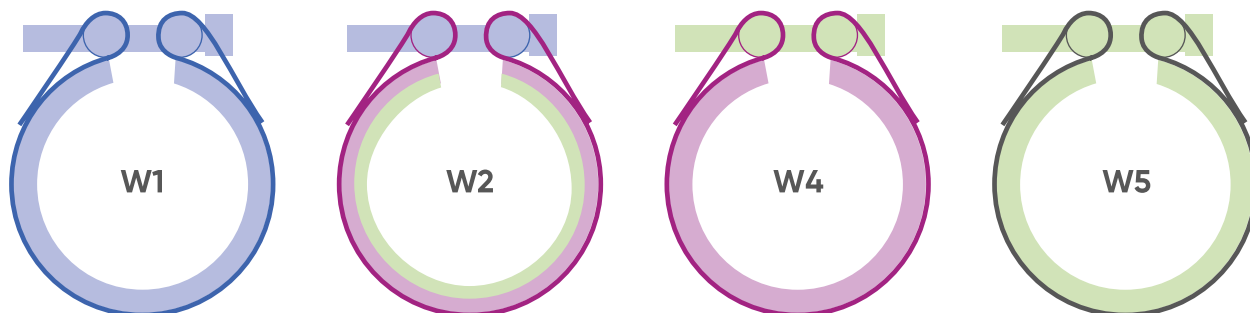


Рис. 3.78. Материалы, используемые при изготовлении муфт Straub

- Модели W1 полностью изготовлены из оцинкованной углеродистой стали;
- Корпуса моделей W2 изготовлены из нержавеющей стали, стяжные и закладные болты выполнены из углеродистой стали;
- Корпуса моделей W4 изготовлены из нержавеющей стали, стяжные и закладные болты выполнены из высококачественной нержавеющей стали;
- Модели W5 полностью изготовлены из высококачественной нержавеющей стали.

Таб. 3.43. Материалы соединительных муфт Straub

Детали, элементы	Материалы							
	W1		W2		W4		W5	
	DIN	AISI	DIN	AISI	DIN	AISI	DIN	AISI
Корпус	A738 или аналог, горячая гальванизация	1024	1.4404	316 L	1.4301	304	1.4404	316 L
			1.4301	304			1.4162	S32101
			1.4162	S32101				
Стяжн. болты	1.7220	4135	1.7220	4135	A4-80	A4-80	A4 - 80	A4-80
Закладные болты	1.0737 гальванизация	12L14	1.0737 гальванизация	12L14	1.4404	316 L	1.4404	316 L
					1.4435		1.4435	
Анкерное кольцо	1.4310	301	1.4310	301	1.4310	301	1.4310	301
			1.4301 (Plast-Grip)	304	1.4301 (Plast-Grip)	304		
Вкладка (опция)	1.4435 ПВДФ/ПНД	316 L	1.4435 ПВДФ/ПНД	316 L	1.4435 ПВДФ/ПНД	316 L	1.4435 ПВДФ/ПНД	316 L

**Преимущества и области применения**

Соединительные муфты Straub совместимы практически с любой традиционной системой соединения. Однако, они более надёжны, так как компенсируют возможные осевые смещения и угловые отклонения. Кроме того, они обладают способностью противостоять давлению и обеспечивают гибкое соединение труб без внутренних напряжений. Муфты Straub служат много лет, так как они устойчивы к коррозии и высоким температурам, а также обладают хорошей химической стойкостью. Поскольку муфты Straub не требуют при монтаже специального оборудования или инструментов, а также не нуждаются в наладке, это весьма экономичное решение. Это идеальное решение там, где требуется компактность монтажа, поскольку муфты Straub имеют меньший вес и габариты по сравнению с фланцевыми соединениями. Благодаря этим своим преимуществам муфты Straub в основном используются в таких областях водо- и газоснабжение, строительство. Муфты Straub используются во многих областях промышленности, а также в судостроении и при работах на шельфе.

## 3.2. Рекомендации по монтажу трубопроводных систем

### 3.2.1. Тепловое расширение и сжатие

При создании любого проекта полимерной трубопроводной системы всегда необходимо учитывать тепловое расширение и сжатие, являющееся следствием колебаний температуры.

Тепловые эффекты в полимерах отличаются от эффектов в металлах. Как видно на Рис. 3.79, коэффициенты линейного (теплого) расширения полимеров гораздо выше, чем у металлов.

Повышение температуры в системе приводит к расширению и удлинению полимерных труб. Проблема состоит в том, что если все трубы жёстко зафиксированы без возможности удлиняться, очевидно, что механические напряжения будут нарастать. Если они превысят допустимую нагрузку, трубопроводная система может выйти из строя.

В частности, система может подвергнуться прогрессирующей деформации при циклических расширениях и сжатиях или при воздействии повышенной температуры в замкнутой системе. Поэтому полимерные трубопроводные системы требуют определённой свободы перемещения компонентов, чтобы избежать:

- выхода из строя трубопроводов или опор из-за превышения механической нагрузки или усталости;
- паразитных механических напряжений в самом трубопроводе или в подключенном оборудовании;
- утечек.

Величину теплового удлинения (сжатия) при постоянном давлении можно определить по следующей формуле:

$$\Delta L = \alpha \times L \times \Delta T \quad [1], \text{ где}$$

- $\Delta L$  – относительное удлинение (сжатие) (мм);
- $\alpha$  – коэффициент линейного расширения материала (1/°C);
- $L$  – длина трубы (м);
- $\Delta T$  – разница температур (°C).

В Таб. 3.44 приведены коэффициенты линейного расширения для самых распространённых полимеров.

Таб. 3.44. Коэффициенты линейного расширения для самых распространённых полимеров

Материал	НПВХ	ХПВХ	АБС	ПП	ПНД	ПВДФ
$\alpha, 1/^\circ\text{C}$	$0,80 \times 10^{-4}$	$0,67 \times 10^{-4}$	$1,00 \times 10^{-4}$	$1,50 \times 10^{-4}$	$2,00 \times 10^{-4}$	$1,20 \times 10^{-4}$

Для расчёта относительного удлинения можно воспользоваться онлайн-калькулятором на сайте компании Aliaxis.

Как правило, компенсация теплового расширения достигается с помощью конструктивных элементов, которые увеличивают эластичность трубопроводов и позволяют ограничить эффекты теплового расширения и сжатия.

Среди таких элементов в первую очередь можно выделить следующие:

- механические компенсаторы;
- гибкие секции;
- компенсационные петли и изменение направления (самокомпенсация).

Для правильного выбора метода компенсации необходимо проанализировать следующие данные:

- температурные условия монтажа, работы и обслуживания;
- тип материала и размер труб;
- химические и физические свойства транспортируемой среды;
- компоновка трубопровода, включающая все размеры и все виды тепловых смещений, вызванные материалами, используемыми для изготовления оборудования системы;

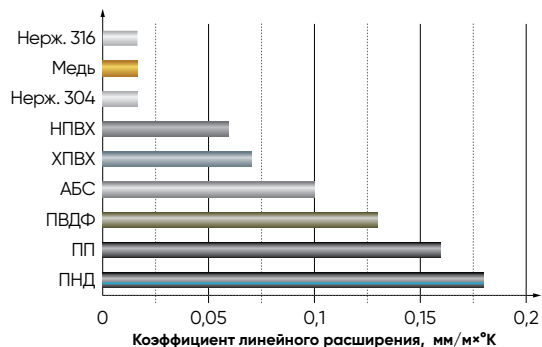


Рис. 3.79. Коэффициенты линейного расширения некоторых материалов



- смещения и максимальные конечные нагрузки в точках, где трубопровод соединён с оборудованием с ограниченной механической прочностью;
- проектные и эксплуатационные гидравлические условия: статическое и динамическое давление.

### ► Механические компенсаторы

Компенсаторы обеспечивают эффективное поглощение смещений и изменений размеров труб, подвергающихся повторяющимся термическим циклам сжатия-расширения (см. Рис. 3.80).

Механические компенсаторы применяются в условиях плотной компоновки, а стоимость опорной и анкерной инфраструктуры не позволяет компенсировать тепловое расширение за счёт дополнительных секций труб.

Компенсаторы выбирают из-за их способности поглощать осевые, поперечные и скручивающие смещения труб при колебаниях температуры. Для полимерных труб используются два типа компенсаторов: скользящие и гибкие.

#### Скользящие компенсаторы

Компенсаторы этого типа состоят из двух элементов, имеющих возможность скользить друг относительно друга и компенсировать тем самым изменения осевой длины труб (см. Рис. 3.81).

Корпуса компенсаторов выполнены из полимера (НПВХ, ХПВХ, ПП или АБС) и снабжены уплотнительными кольцами. Регулируемый диапазон – 150...600 мм.

Скользящие компенсаторы устанавливают тогда, когда нет возможности организовать расширительные петли или смену направления. Их не рекомендуется применять при транспортировке жидкостей, склонных к образованию корки, а также абразивных сред.

Чтобы избежать перекосов и заеданий, длинноходовые телескопические компенсаторы обычно снабжены направляющими с ограничителями хода, обеспечивающими хорошее соосное скольжение. Компенсаторы необходимо периодически осматривать и обслуживать: так проверяется состояние уплотнительных элементов, чтобы исключить протечки из-за отложений или недостаточной смазки.

#### Гибкие и сильфонные компенсаторы

Гибкие компенсаторы позволяют поглощать осевые и поперечные смещения за счёт изменения формы собственных гибких или деформируемых элементов (см. Рис. 3.82).

Сильфонные компенсаторы изготавливаются в виде гофрированных труб из эластичного ПТФЭ. Они способны компенсировать 10...200 мм линейного расширения-сжатия. Преимущество таких компенсаторов в том, что они не имеют уплотняющих элементов, поэтому не подвержены протечкам и не требуют обслуживания. Ввиду высокой химической стойкости ПТФЭ такие компенсаторы можно устанавливать в системы перекачки горячих и агрессивных сред.

Гибкие резиновые компенсаторы аналогичны по принципу действия сильфонным, но выполнены в виде однородной гибкой трубы из эластомера. Они подходят для транспортировки плотных веществ и вязких жидкостей. Такие гибкие элементы способны компенсировать всего 10...60 мм линейного расширения-сжатия. Гибкие элементы из-

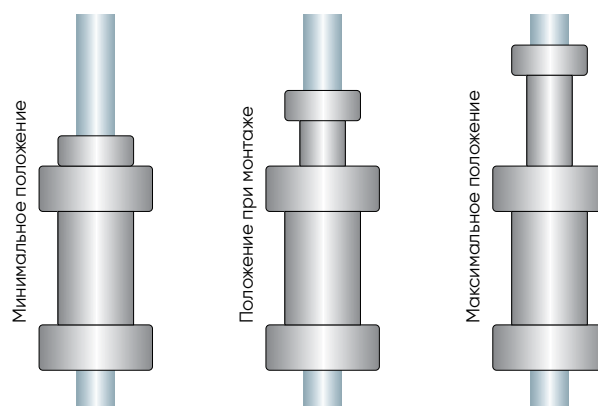


Рис. 3.80. Механический компенсатор скользящего типа (принципиальная схема)

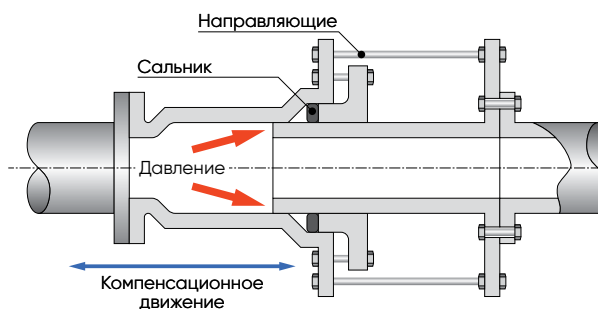


Рис. 3.81. Механический компенсатор скользящего типа (устройство)

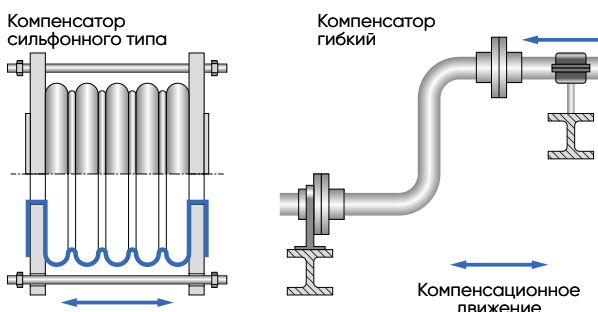


Рис. 3.82. Гибкие и сильфонные компенсаторы

готовавливаются из различных эластомеров, например, EPDM или NBR. Их можно использовать для рабочих температур до +90 °С. Если осевые смещения чрезвычайно велики, следует использовать компенсационные системы, состоящие из отрезков гибких труб, соединённых жёсткими вставками. Возможности их использования должны определяться максимальной рабочей температурой и давлением системы, а также минимальными допустимыми радиусами изгиба компенсаторов.

### Монтаж компенсаторов

Неправильная или ненадёжная установка компенсаторов часто является основной причиной различных отказов в полимерных трубопроводных системах. Полимерные трубы характеризуются низким модулем упругости, поэтому осевые усилия, возникающие при изменении температуры, относительно невелики по сравнению с трубопроводами из металла.

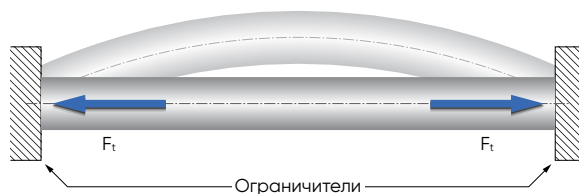


Рис. 3.83. Тепловые напряжения в условиях ограниченной подвижности

Для принятия решений о том, как компенсировать тепловые эффекты, может быть полезно рассчитать напряжение, присутствующее в системе. Ограничение линейного перемещения, вызванное тепловым расширением и сжатием, приводит к температурному напряжению, которое можно рассчитать:

$$S_t = \alpha \times E \times \Delta T \quad [2], \text{ где}$$

- $S_t$  – температурное напряжение в трубе (Н/мм<sup>2</sup>);
- $\alpha$  – коэффициент линейного расширения материала (мм/м × °С);
- $E$  – модуль упругости материала трубы (Н/мм<sup>2</sup>);
- $\Delta T$  – разница максимальной рабочей температуры и температуры при монтаже (°С).

Зная температурное напряжение системы, можно определить концевую нагрузку на неподвижные опоры исследуемой трубы (см. Рис. 3.83):

$$F_t = S_t \times A = \alpha \times E \times \Delta T \times A \quad [3], \text{ где}$$

- $F_t$  – нагрузка на опору (Н);
- $S_t$  – температурное напряжение в трубе (Н/мм<sup>2</sup>);
- $A$  – площадь поперечного сечения трубы (м<sup>2</sup>);
- $\alpha$  – коэффициент линейного расширения материала (мм/м × °С);
- $E$  – модуль упругости материала трубы (Н/мм<sup>2</sup>);
- $\Delta T$  – разница между максимальной и минимальной рабочей температурой (°С).

$$A = \pi \times (D_e^2 - D_i^2) / 4 \quad [4], \text{ где}$$

- $A$  – площадь поперечного сечения трубы (м<sup>2</sup>);
- $D_e$  – наружный диаметр трубы (м);
- $D_i$  – внутренний диаметр трубы (м).

Следует помнить, что компенсатор в системе следует устанавливать не только для поглощения напряжений, вызванных удлинением труб, но и для компенсации их укорачивания при понижении температуры. Поэтому перед установкой компенсатора необходимо правильно выбрать длину расширительного элемента. Эта величина, называемая предустановленной длиной и обозначаемая символом  $L^*$ ; её можно оценить по формуле:

$$L^* = R \times ((T_i - T_{\min}) / (T_{\max} - T_{\min})) \quad [5], \text{ где}$$

- $L^*$  – предустановленная длина компенсатора (мм);
- $R$  – длина хода компенсатора (мм);
- $T_i$  – температура монтажа (°С);
- $T_{\min}$  – минимальная проектная температура (°С);
- $T_{\max}$  – максимальная проектная температура (°С).

Должны быть предусмотрены подходящие неподвижные опоры, способные выдержать нагрузки, испытываемые компенсатором, а направляющие скользящих компенсаторов должны гарантированно выдерживать нагрузки, которые компенсатор не способен поглотить.

Установка нескольких компенсаторов на одном участке трубы между двумя последовательными опорами всегда нецелесообразна.

Полезно понимать, где и как следует разместить скользящий компенсатор в системе. Можно рассмотреть четыре различных случая.

### Пример 1

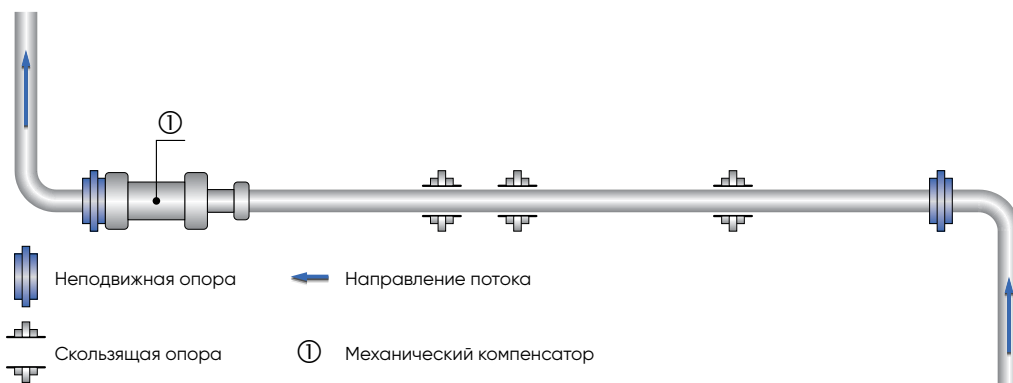


Рис. 3.84. Пример компенсации теплового расширения (1)

Длинный участок трубы, закреплённой с обеих сторон. Требуется компенсация теплового расширения.

Расчётами установлено, что можно использовать один компенсатор и промежуточные направляющие опоры для трубы. Рекомендуется монтировать компенсатор как можно ближе к неподвижной опоре в конце участка (исходя из направления потока, см. Рис. 3.84). Первая направляющая устанавливается в непосредственной близости от места соединения трубы с компенсатором, на его подвижном плече. Это гарантирует, что нагрузки будут ограничены осевым направлением. Вторую направляющую следует размещать недалеко от первой, во избежание прогиба трубы. Дополнительные направляющие следует равномерно распределить по мере необходимости.

### Пример 2

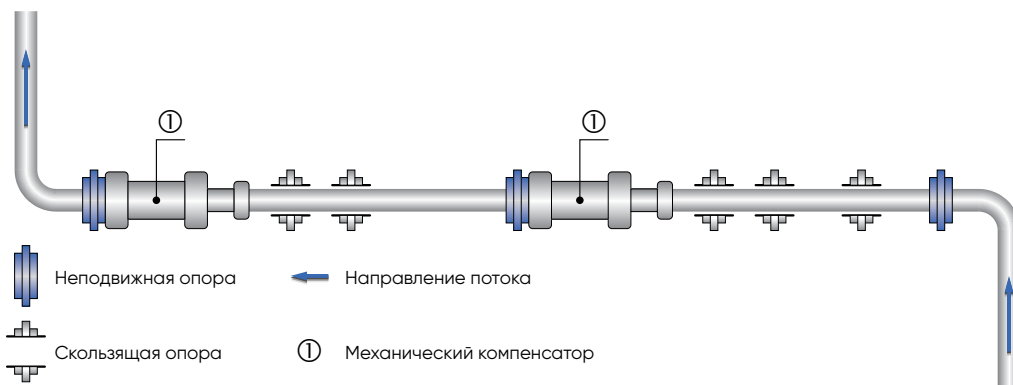


Рис. 3.85. Пример компенсации теплового расширения (2)

Ещё более длинный участок трубы. Расчёты показали, что требуется установить два компенсатора.

Промежуточная неподвижная опора установлена в середине участка. В каждой половине установлено по компенсатору и дополнительные направляющие в соответствии с Примером 1 (см. Рис. 3.85).

### Пример 3

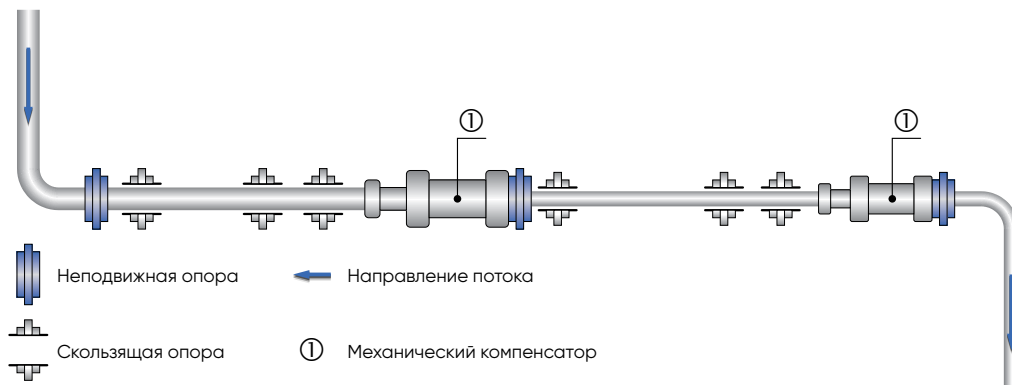


Рис. 3.86. Пример компенсации теплового расширения (3)

Показан длинный участок, в котором труба большего диаметра около середины отрезка стыкуется с трубой меньшего диаметра.

Коэффициент линейного расширения не зависит от диаметра трубы. Но если по расчётам необходимы два отдельных компенсатора, в точке перехода следует предусмотреть неподвижную опору (см. Рис. 3.86). Затем следует обратиться к рассуждениям, изложенным в Примере 2.

### Пример 4

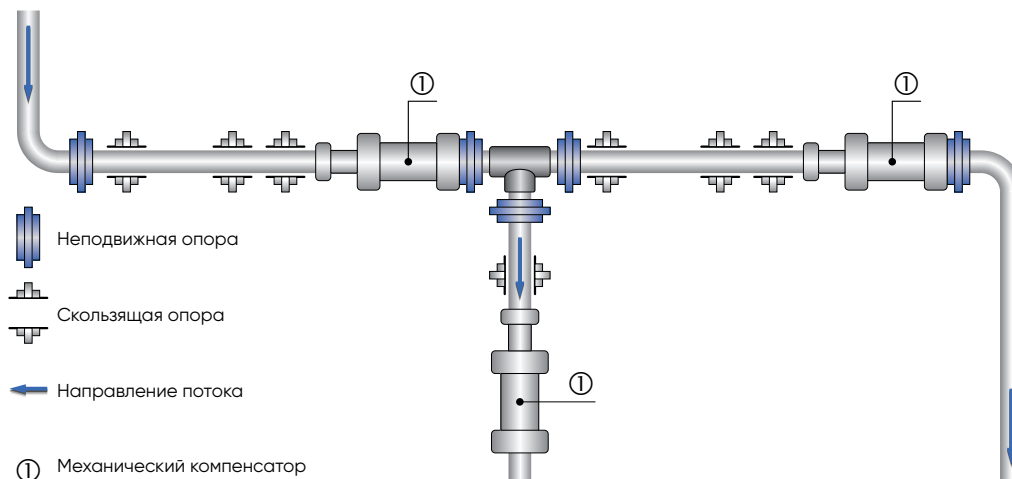


Рис. 3.87. Пример компенсации теплового расширения (4)

Он иллюстрирует длинный участок трубы с ответвлением посередине.

Для основной секции используется расположение компенсаторов и опор, рассмотренное в Примере 2. Однако в зоне тройника следует установить неподвижную, а не направляющую опору. Неподвижная опора должна выдерживать сопротивление давлению отвода. Это опора в направлении основного потока должна также противостоять любой динамической нагрузке, вызванной турбулентностью в ответвлении (см. Рис. 3.87).

В случае необходимости скользящий компенсатор можно установить и на ответвлении, согласно рекомендациям, изложенным в Примере 1.

### ► Гибкие секции

Гибкие секции используются тогда, когда нужно избежать неподвижного закрепления секции трубопровода.

Компенсационные участки обычно располагаются в центре отрезка трубопровода (см. Рис. 3.88, обозначения см. Рис. 3.87). Каждое колено, а также вертикальный участок допускают некоторую подвижность. Скользящие направляющие используются для фиксации каждого участка трубы. По мере нагрева отдельные участки будут удлиняться и перемещаться в направлении стрелок. При этом вертикальный участок трубы будет стремиться повернуться по часовой стрелке (в данном случае). В случае падения температуры и сжатия труб процесс пойдёт в противоположном направлении.

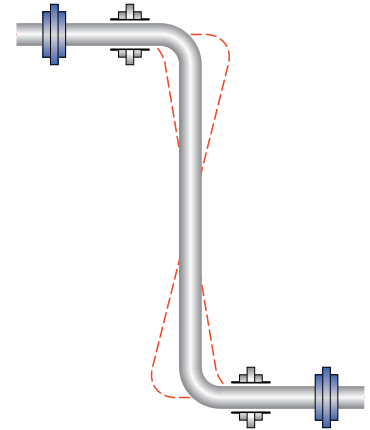


Рис. 3.88. Образец гибкой секции

### ► Компенсационные петли и изменение направления

При высоких значениях теплового расширения компенсации гибкими секциями может оказаться недостаточно или это будет экономически невыгодно. В таких случаях используются компенсационные петли и т.н. изменение направления (см. Рис. 3.89, обозначения см. Рис. 3.87).

В процессе удлинения труб нижняя часть П-образного компенсационного контура начинает сужаться. Или расширяться при падении температуры и сжатии труб.

При использовании изменения направления происходит процесс, аналогичный тому, который происходит в отдельных участках гибких секций: при нагревании угол стремится двигаться в направлении стрелки, а вертикальный участок трубы стремится повернуться по часовой (в данном случае) стрелке. В процессе сжатия направление движения участков меняется на противоположное (см. Рис. 3.90, обозначения см. Рис. 3.87).

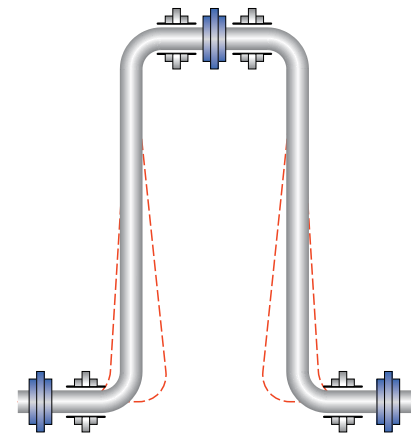


Рис. 3.89. Образец петли

Рекомендуется проектировать такие компенсационные участки с поворотами под углом  $90^\circ$  и прямыми участками, соединёнными посредством склеивания, для того, чтобы эффективнее противостоять возникающим нагрузкам.

Установка компенсационных контуров требует особой осторожности при подборе подходящих направляющих, обеспечивающих выравнивание расширяющихся труб. Расположение направляющих также должно гарантировать, что компенсационный контур подвергается только изгибающим нагрузкам и что расширяющиеся трубы могут свободно перемещаться вдоль своей собственной продольной оси.

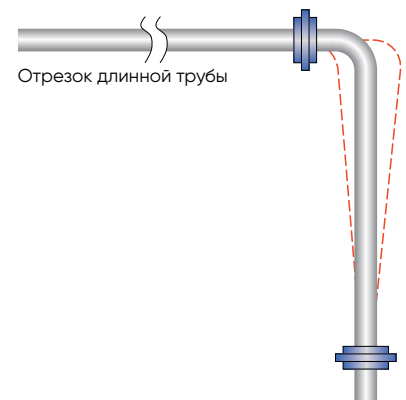


Рис. 3.90. Образец изменения направления

Конструкция компенсационных петель основана на упругих свойствах трубы и требует анализа гибкости трубопровода. Следует обратить внимание, что ширина петли равна половине её высоты  $V$  (см. Рис. 3.91, обозначения см. Рис. 3.87). Высоту, необходимую для компенсации расчётного расширения, можно определить по формуле:

$$V = 34 \times (D_e \times \Delta L / 2)^{0,5} \quad [6], \text{ где}$$

- $V$  – высота компенсационной петли (мм);
- $D_e$  – внешний диаметр трубы (мм);
- $\Delta L$  – относительное удлинение (мм).

Напоминаем, что  $\Delta L = \alpha \times L \times \Delta T$  (см. [1])

Определить высоту петли  $V$  также можно, используя соответствующую диаграмму (см. Рис. 3.92), зная необходимый диаметр трубы и рассчитанное ранее относительное удлинение.

В случае использования компенсационной схемы с изменением направления расстояние  $V$  – это расстояние от неподвижной опоры до колена (см. Рис. 3.93, обозначения см. Рис. 3.87). Эта величина рассчитывается по такой же формуле, что и в случае расчёта параметров компенсационной петли:

$$V = 34 \times (D_e \times \Delta L / 2)^{0,5} \quad [7], \text{ где}$$

- $V$  – длина компенсационного сегмента (мм);
- $D_e$  – внешний диаметр трубы (мм);
- $\Delta L$  – относительное удлинение (мм). Напоминаем, что  $\Delta L = \alpha \times L \times \Delta T$  (см. [1])

Определить длину сегмента  $V$  также можно, используя соответствующую диаграмму (см. Рис. 3.92), зная необходимый диаметр трубы и рассчитанное ранее относительное удлинение.

В случае компенсационной петли вертикальные (в рассматриваемом случае) трубы можно оставить свободно сжиматься и расширяться, компенсируя температурные напряжения. Горизонтальный сегмент петли следует поддерживать в соответствии со стандартами размещения направляющих. Направляющие не должны плотно фиксировать трубу, быть гладкими и без острых углов, чтобы позволять трубе двигаться.

### Практический пример

Рассчитать длину сегмента  $V$  (метод изменения направления) для компенсации нагрузок отрезка трубопровода из НПВХ длиной  $L = 6$  метров диаметром 90 мм при расчётной разнице температур  $\Delta T = +40$  °C (см. Рис. 3.93, обозначения см. Рис. 3.87).

Зная, что для НПВХ  $\alpha = 0,00008$  мм/м×°C, можно рассчитать  $\Delta L$ .

$$\Delta L = \alpha \times L \times \Delta T = 18,7 \text{ мм}$$

Таким образом, применяя уравнение [7], можно найти  $V$ .

$$V = 34 \times (D_e \times \Delta L) = 1,4 \text{ м}$$

Зная значения  $\Delta L$  и  $D_e$ , можно определить значение  $V$  из диаграммы (см. Рис. 3.94-).

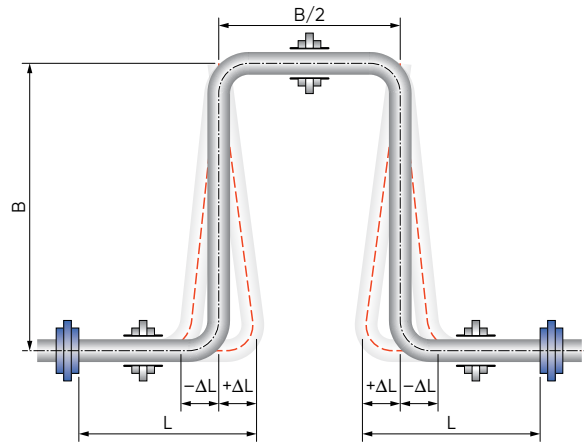


Рис. 3.91. Расчёт параметров компенсационной петли

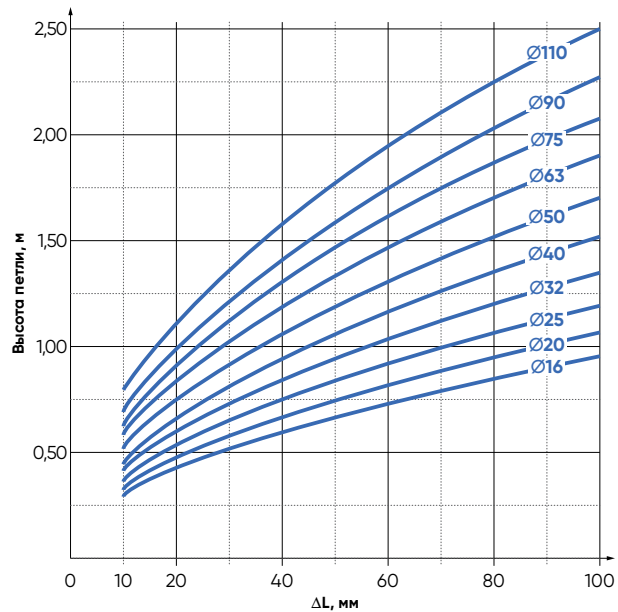


Рис. 3.92. Диаграмма для определения длины компенсационной петли в зависимости от диаметра трубопровода



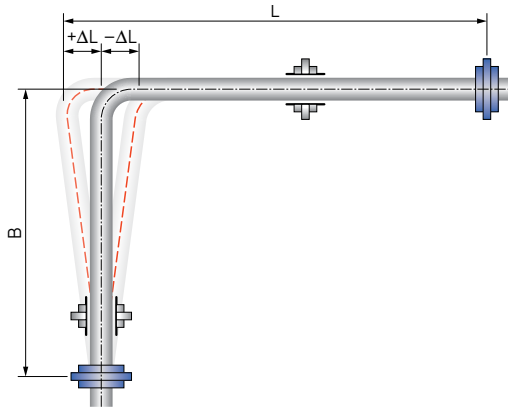


Рис. 3.93. Расчёт параметров методом смены направления

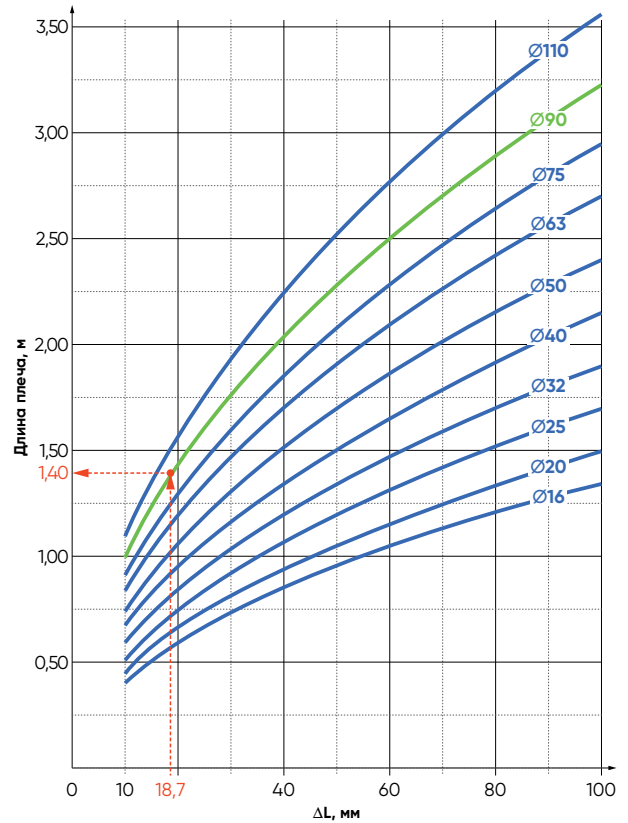


Рис. 3.94. Диаграмма для определения длины плеча в зависимости от диаметра трубопровода

### 3.2.2. Тепловой контроль

Во многих технологических процессах требуется непрерывный контроль температуры при перекачке жидкостей. Такие жидкости при изменении температуры могут, например, увеличивать вязкость, переходить в твёрдое состояние, осаждают взвешенные в ней вещества и т.д., вызывая тем самым проблемы с эксплуатацией трубопровода или нарушение предписанных процессов.

Существует несколько очень надёжных методов обеспечения защиты трубопроводов от замерзания и поддержания заданной температуры. Это, например, использование внешних саморегулирующихся электрокабелей.

Другой метод — использование линейки продуктов AkathermThermoPlus, представляющих из себя двойную изоляционную систему для трубопроводов.

#### Внешний саморегулирующийся электрокабель

Полимерные трубы плавятся при относительно низких температурах. При повышенной внешней температуре наружные стенки полимерной трубы могут быть значительно повреждены. Поэтому единственным рекомендуемым типом подогревателя является саморегулирующиеся электрокабели. Автоматически меняя тепловую мощность и обеспечивая необходимое тепло, такой нагреватель способен компенсировать колебания напряжения, утечки тепла и изменение температуры окружающей среды. Регулирование осуществляется за счёт использования саморегулирующегося кабеля с полупроводниковой матрицей, состоящей из смеси полимера и проводящего углерода, экструдированного на двух проводниках.

Сначала эта матрица облучается, чтобы зафиксировать её структуру и начальную «память». Молекулы углерода образуют между собой проводящие цепи, которые можно рассматривать как множество небольших электрических сопротивлений, расположенных параллельно между двумя проводниками; когда проводники запитаны на одном конце и изолированы на противоположной стороне цепи, электрический ток проходит через эти сопротивления, выделяя тепло.



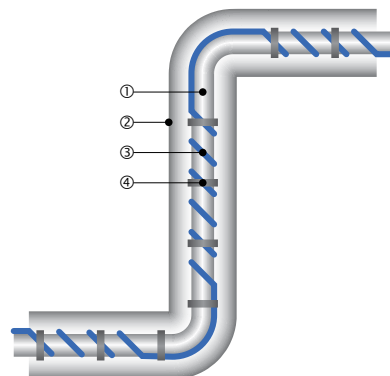
Рис. 3.95. Устройство саморегулирующегося электрокабеля

При повышении температуры кабеля молекулы полимера расширяются и разрывают углеродные цепи (см. Рис. 3.95), поэтому выделяемая кабелем мощность уменьшается.

Из-за первоначального облучения матрица «запомнила» свою первоначальную молекулярную структуру, поэтому разрыв углеродных цепочек есть явление обратимое: когда температура кабеля снижается, материал возвращается в исходное состояние и углеродные «мостики»-цепочки восстанавливаются.

Чтобы правильно спроектировать систему с автоматическим электроподогревом, необходимо знать некоторые параметры: расчётную максимальную разность температур, параметры окружающей среды, общую длину обогреваемой трубы. Затем следует выполнить следующие действия.

- 1] Выбрать подходящий тип нагревателя в соответствии с максимальной отдаваемой мощностью и требуемыми температурами обслуживания.
- 2] Выбрать подходящий нагреватель в соответствии с кривыми его тепловой мощности таким образом, чтобы выдаваемая тепловая мощность была равна или превышала потери тепла в трубопроводе.
- 3] Если рассчитанные теплотери трубопровода превышают мощность, развиваемую нагревателем, рекомендуется следовать этим советам:
  - использовать более толстую изоляцию;
  - использовать изоляцию с более низкой теплопроводностью;
  - использовать два или более параллельно проложенных кабеля;
  - использовать спиральную навивку кабеля.



① – Пластиковая труба  
 ② – Утепление трубы  
 ③ – Саморегулирующийся кабель  
 ④ – Хомуты крепёжные

Рис. 3.96. Монтаж саморегулирующегося электрокабеля

На Рис. 3.96 показан пример спирального расположения кабеля на трубе.

### Изоляционная система AkathermThermoPlus

Как правило, системы двойной изоляции используются для транспортировки жидкостей или опасных веществ.

AkathermThermoPlus – это система двойной изоляции, которая также имеет защиту от замерзания и систему поддержания заданной температуры внутри трубы с помощью нагревательного кабеля.

В общем случае двойная защитная труба состоит из защитной оболочки, прокладок и внутренней трубы (см. Рис. 3.97).

Системы AkathermPlus выпускаются в трёх модификациях, для разных областей применения:

- с утеплителем между защитной оболочкой и внутренней трубой (см. Рис. 3.98, поз. А);
- с нагревательным кабелем между защитной оболочкой и внутренней трубой (см. Рис. 3.98, поз. Б);
- с утеплителем и нагревательным кабелем между защитной оболочкой и внутренней трубой (см. Рис. 3.98, поз. В).

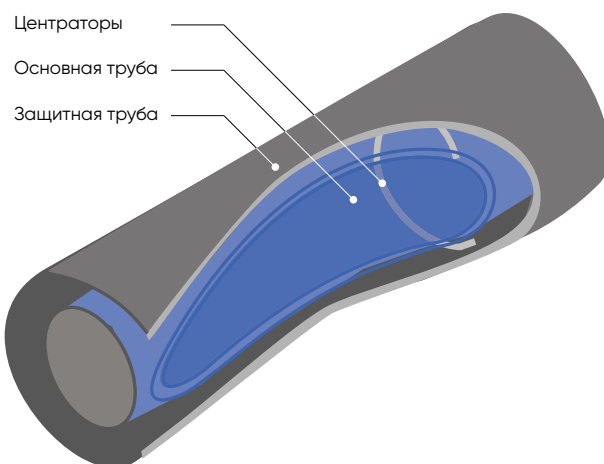


Рис. 3.97. Устройство системы AkathermThermoPlus



Рис. 3.98. Модификации системы AkathermThermoPlus

На Рис. 3.99 видна внутренняя структура системы. Материал внутренней трубы – ПНД.

Системы AkathermThermoPlus можно использоваться в различных областях, например, на промышленных и химических предприятиях, на электростанциях, в канализационных коллекторах или в пищевой промышленности.

- ① Внутренняя труба
- ② Защитная труба
- ③ Алюминиевая оболочка
- ④ Алюминиевая труба
- ⑤ Электрокабель
- ⑥ Центраторы
- ⑦ Датчик температуры
- ⑧ Гнездо подключения кабеля

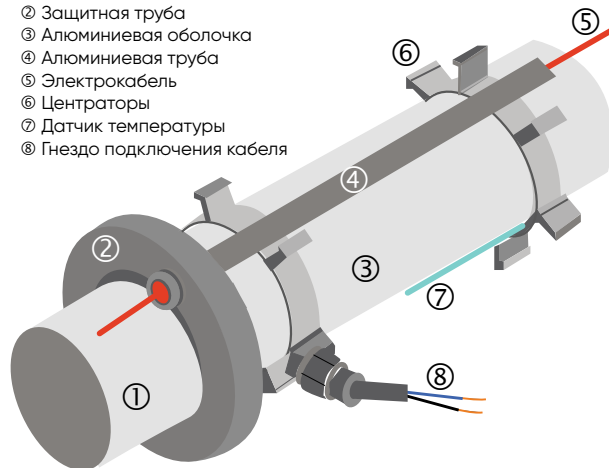


Рис. 3.99. Внутреннее устройство трубы AkathermThermoPlus

### 3.2.3. Крепление труб

Крепления играют важную роль для правильной работы трубопроводных систем. Труба должна поддерживаться в надлежащем количестве мест, чтобы работать в течение длительного времени.

Полимерные трубопроводы характеризуются высокими коэффициентами теплового расширения и низким модулем упругости, поэтому требуются соответствующие опорные системы, которые выдерживают как постоянные нагрузки, создаваемые весом труб, фитингов и перекачиваемой среды, так и переменные нагрузки, связанные с механическими напряжениями, возникающими в трубопроводной системе при изменениях температуры.

Выбор типов опор и их расположение зависят от условий эксплуатации и расположения труб, а также от ограничений, налагаемых на механические нагрузки и связанные с ними смещения труб.

Нагрузки на трубопроводы, создаваемые давлением, температурой, весом среды или случайными событиями, должны передаваться от трубы к опорным конструкциям.

#### Системы прокладки полимерных трубопроводов

При проектировании и монтаже полимерных трубопроводов всегда необходимо учитывать характеристики материала. Конструкция надёжной системы трубопроводов зависит как от качества производства элементов системы, так и от профессионализма проектировщиков и монтажников. Нижеследующая информация может послужить в качестве руководства на начальных этапах планирования системы. На Рис. 3.100 показаны основные группы трубопроводных систем, требующих разного подхода при разработке и монтаже.

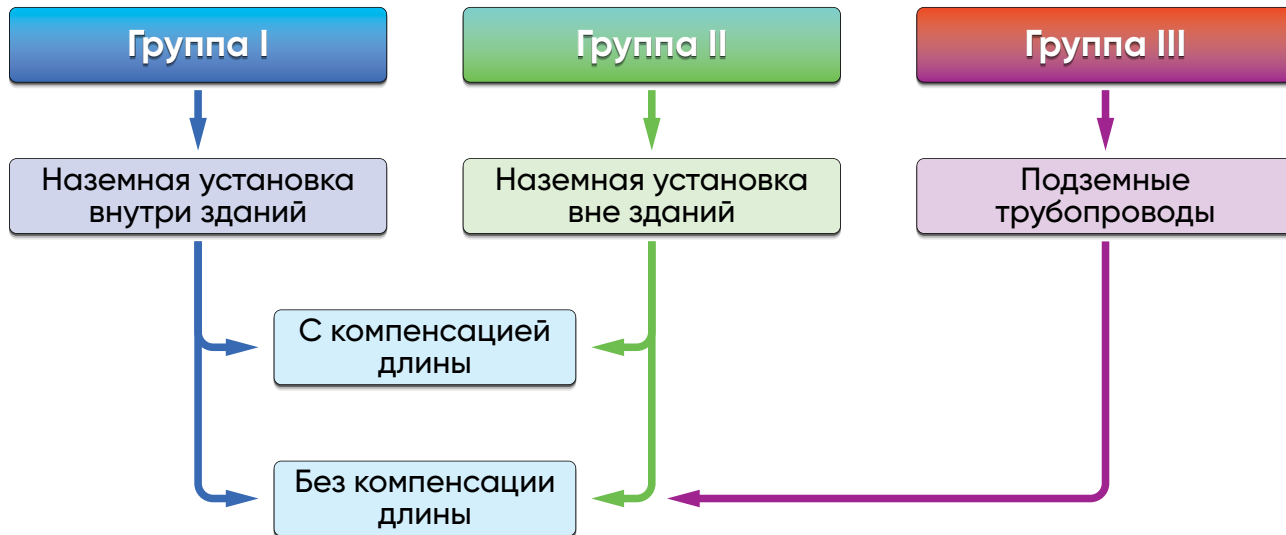


Рис. 3.100. Группы трубопроводных систем

Группы I и II образуют группу наземных систем полимерных трубопроводов с механизмами компенсации изменения длины и без них, внутри помещений или на открытом воздухе. Эти системы обычно требуют наличия несущей конструкции. Такие системы применяются в химической промышленности, на очистных сооружениях и при строительстве плавательных бассейнов. Усилия по монтажу здесь самые высокие.

Трубопроводы III группы (подземные трубопроводные системы) являются, например, частью муниципальных водопроводных сетей. Так же часто они применяются в качестве канализационных коллекторов и сетей промышленных стоков. Стоимость монтажа сетей этой группы ниже, чем при прокладке стальных, чугунных или бетонных трубопроводов.

Трубопроводы из бетонных труб — это особая форма подземных сооружений. Ввиду ограниченной доступности для технического обслуживания в безнапорных или дренажных бетонных трубопроводах требуется применять специальные не обслуживаемые прокладки. Бетонная оболочка вокруг полимерной трубы превращает систему в жёсткую неподвижную конструкцию, сводящую на нет многие преимущества систем полимерных труб.

### ► Опоры и удерживающие устройства для труб

Термин «удерживающее устройство» обычно используется как синоним термина «опора трубопровода». Существует, однако, некоторая разница между опорами и удерживающими устройствами. Опоры используются для поддержки системы трубопроводов, принимая вертикальную нагрузку, в то время как удерживающие устройства ограничивают движение трубы в определённом направлении. Удерживающие устройства часто именуют кронштейнами. Кронштейны имеют различную конструкцию и функционал (см. ниже).

### Опоры для труб

Опоры выполняют задачу безопасного поглощения всех нагрузок трубопровода и передачи их на здание или основание. Из-за ограничений полимерных материалов и сильно зависящей от температуры прочности и стабильности размеров опоры для полимерных трубопроводов заметно отличаются от таковых для трубопроводных систем из металлов.

При прокладке труб первым шагом является установка опорной системы, которая должна удерживать нити трубопровода. Это позволяет в дальнейшем избежать сооружения ненужных конструкций. Кроме того, такой подход является наиболее безопасным методом, исключающий недопустимые нагрузки на трубы во время монтажа.

Операция по адаптации опор к уже установленным и временно закреплённым трубам допускается только в исключительных случаях, поскольку последующая установка запланированных опор может быть сопряжена с ограничениями, налагаемыми на эксплуатационную безопасность трубопровода. В случае более крупных трубопроводов риск разрушения и его последствий возрастает, если не были проведены прочностные расчёты временных опор. Поэтому такая процедура безусловно не допускается.

Системы опор и удерживающих устройств могут быть классифицированы в соответствии с их функциями.

### Свободный кронштейн

Свободный кронштейн в горизонтально проложенном трубопроводе может поглощать только вертикально направленные нагрузки. Прежде всего, он обязан обеспечивать минимально возможную устойчивость к изменениям длины эксплуатируемого трубопровода. Свобода перемещения должна быть обеспечена как в продольном, так и в поперечном направлении оси трубы.

### Направляющий кронштейн

Направляющий кронштейн должен предотвращать боковые перемещения трубопровода. Он способен поглощать поперечные нагрузки и необходим, например, для предотвращения изгиба секции труб, жёстко зафиксированных в осевом направлении. В зависимости от своей функции направляющий кронштейн может быть неподвижным или подвижным в направлении оси трубы. Использование жёсткого зажима для трубы вместо направляющего кронштейна является небезопасным решением и поэтому должно быть исключено.

### Точка жёсткого крепления

Жёсткие (неподвижные) точки предназначены для предотвращения смещения отдельных секций труб в любом направлении. Они также служат для поглощения сил реакции при использовании разного вида компенсаторов. Жёсткие точки должны быть установлены таким образом, чтобы изменения длины труб в системе могли быть компенсированы по величине и направлению соответствующими устройствами.

## Горизонтальные трубопроводы

Расположение опор горизонтальных трубопроводов зависит от наличия уже существующих конструкций, доступных для монтажа опор, и расположения сосредоточенных нагрузок, таких как арматура и тяжёлое трубопроводное оборудование.

Основная цель правильно спроектированной системы опор — минимизация любых напряжений в трубопроводе, вызванных статическими нагрузками. Таким образом, расстояние между опорами определяется допустимой общей нагрузкой на трубы и заранее установленной величиной допустимого прогиба труб между опорами. Эта длина варьируется в зависимости от материалов труб, их размеров и рабочей температурой системы.

Чтобы определить длину между опорами, рекомендуется ознакомиться с таблицами в следующей главе.

## Вертикальные трубопроводы

Стояки или вертикальные проходы труб могут поддерживаться с тем же расстоянием между опорами, что и для горизонтальных труб. Однако для предотвращения нестабильности предлагается всё же эти расстояния несколько уменьшить.

## Места расположения опор

В полимерном трубопроводе нет априори заданных решений по расположению опор, поскольку каждый раз различные технические аспекты конкретного проекта делают одно решение более подходящим, чем другое.

Размеры и материалы труб, конфигурация трубопровода, расположение клапанов и фитингов, наличие креплений к зданиям или другим конструкциям, источники тепла и вибрации, перегрузки, возникающие в результате землетрясений и атмосферных воздействий, могут оказаться обязательными факторами, которые необходимо учитывать инженеру для определения правильного положения каждой отдельной опоры.

Таким образом, возможно предоставить лишь общие критерии и предложения, которые могут помочь инженеру-проектировщику в работе.

## Кронштейны-клипсы

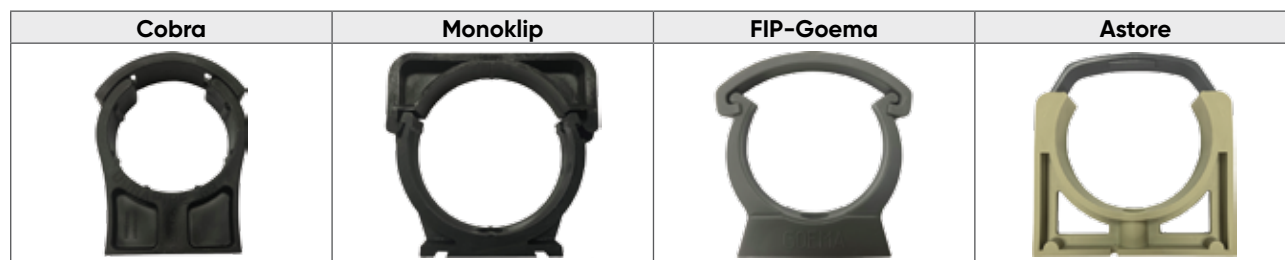
Монтаж полимерного трубопровода требует использования опор и кронштейнов для предотвращения изгиба труб и возникающих в результате механических напряжений. При прокладке трубопроводов необходимо учитывать как ширину опоры трубы, так и монтажные расстояния между опорами. Оба термина описывают крепление трубопроводов с той разницей, что, с одной стороны, сохраняется допустимый прогиб трубопровода, а с другой стороны, остаётся возможность запланированного бокового изгиба труб.

При определении монтажных расстояний между опорами на основе допустимого прогиба труба рассматривается как так называемая сплошная балка, закреплённая только своими концевыми участками.

При определении ширины опоры на основе допустимого изгиба (ширина пролёта трубы для систем с зафиксированными концами труб) необходимо проверить полимерный трубопровод на предмет возможного бокового изгиба. Меньшее из двух заданных значений пролёта определяет минимальную ширину опоры трубы, которую необходимо поддерживать. Расстояние между опорами зависит от материала трубы, SDR, температуры и плотности транспортируемой жидкости.

Компания **Aliaxis** предлагает ассортимент из четырёх типов кронштейнов-клипс для труб (см. Таб. 3.45). Решение о выборе типа клипс зависит от нескольких параметров, например, материала трубопровода и диапазона DN.

Таб. 3.45. Типы кронштейнов-клипс





► **Таблицы и графики**

Чтобы избежать выполнения расчётов, часто достаточно пользоваться табличной и графической информацией, где можно найти величины пролётов для труб из различных полимеров. Эти данные соответствуют Стандарту DVS 210-1 и основаны на экспериментальных данных.

Таб. 3.46. Расстояния между опорами для труб из НПВХ

D <sub>e</sub>	DN	Расстояние между опорами (мм) в зависимости от температуры				
		+20 °C	+30 °C	+40 °C	+50 °C	+60 °C
16	10	950	900	850	750	600
20	15	1100	1050	1000	900	700
25	20	1200	1150	1050	950	750
32	25	1350	1300	1250	1100	900
40	32	1450	1400	1350	1250	1000
50	40	1600	1550	1500	1400	1150
63	50	1800	1750	1700	1550	1300
75	65	2000	1900	1850	1700	1450
90	80	2200	2100	2000	1850	1550
110	100	2400	2250	2250	2050	1750
125	100	2550	2400	2400	2200	1850
140	125	2700	2600	2500	2300	1950
160	150	2900	2800	2700	2500	2100
180	150	3100	2950	2850	2650	2200
200	200	3250	3150	3000	2800	2350
225	200	3450	3300	3200	2950	2500
250	250	3650	3500	3350	3100	2600
280	250	3750	3700	3550	3300	2750
315	300	4100	3900	3750	3500	2950
355	350	4300	4200	4000	3700	3100
400	400	4600	4450	4250	3950	3300

-  SDR 13,6/S 6,3/PN16
-  SDR 21,0/S 10/PN10

Для других значений SDR следует умножить значения в см. Таб. 3.46 на следующие коэффициенты:

- 1,08 для SDR 13,6/S6,3/PN16 – диапазон размеров D<sub>e</sub> 25...400;
- 1,15 для SDR 11,0/S5/PN20 – весь диапазон размеров.

В зависимости от перекачиваемой среды расстояние между опорами следует умножить на коэффициент, указанный в см. Таб. 3.47.

Таб. 3.47. Пересчётные коэффициенты для жидкостей различной плотности (НПВХ)

PN	Плотность, г/см <sup>3</sup>		
	Вода	Другие жидкости	
		1,00	1,25
10...20	1,00	0,96	0,92



Таб. 3.48. Расстояния между опорами для труб из ХПВХ

D <sub>e</sub>	DN	Расстояние между опорами (мм) в зависимости от температуры							
		+20 °C	+30 °C	+40 °C	+50 °C	+60 °C	+70 °C	+80 °C	+90 °C
16	10	1000	950	900	850	750	675	600	500
20	15	1150	1100	1025	950	875	775	700	600
25	20	1200	1150	1100	1000	900	800	700	600
32	25	1350	1250	1200	1100	1000	900	800	700
40	32	1500	1400	1300	1250	1150	1050	900	800
50	40	1650	1600	1500	1400	1300	1200	1100	900
63	50	1850	1750	1650	1600	1500	1350	1250	1050
75	65	2050	1950	1850	1750	1650	1500	1350	1200
90	80	2250	2100	2000	1900	1800	1650	1500	1300
110	100	2500	2350	2200	2100	1950	1800	1650	1450
125	100	2650	2500	2350	2250	2100	1950	1750	1550
140	125	2800	2650	2500	2350	2200	2050	1850	1650
160	150	3000	2850	2700	2550	2400	2200	2000	1750
180	150	3150	3000	2850	2700	2500	2300	2100	1850
200	200	3350	3150	3000	2850	2650	2450	2200	1950
225	200	3550	3350	3200	3000	2800	2600	2350	2100
250	250	3750	3550	3350	3150	3000	2750	2500	2200
280	250	3950	3750	3550	3350	3150	2900	2650	2350
315	300	4200	4000	3750	3550	3350	3050	2800	2450
355	350	4450	4250	4000	3800	3550	3250	2950	2650
400	400	4750	4500	4250	4000	3750	3450	3150	2800

	SDR 13,6/S 6,3/PN16
	SDR 21,0/S 10/PN10

Для других значений SDR следует умножить значения в см. Таб. 3.48 на следующие коэффициенты:

- 1,08 для SDR 13,6/S6,3/PN16 – диапазон размеров D<sub>e</sub> 25...400;
- 1,12 для SDR 11,0/S5/PN20 – весь диапазон размеров.

В зависимости от перекачиваемой среды расстояние между опорами следует умножить на коэффициент, указанный в см. Таб. 3.49.

Таб. 3.49. Пересчётные коэффициенты для жидкостей различной плотности (НПВХ)

PN	Плотность, г/см <sup>3</sup>		
	Вода	Другие жидкости	
		1,00	1,25
10...20	1,00	0,96	0,92

Таб. 3.50. Расстояния между опорами для труб из АБС

D <sub>e</sub>	DN	Расстояние между опорами (мм) в зависимости от температуры		
		+20 °С	+50 °С	+60 °С
16	10	800	500	400
20	15	900	600	500
25	20	1000	700	600
32	25	1100	800	700
40	32	1200	900	700
50	40	1300	1000	700
63	50	1400	1100	800
75	65	1500	1200	800
90	80	1600	1200	900
110	100	1800	1300	1000
125	100	1900	1400	1000
140	125	2000	1500	1100
160	150	2100	1600	1200
200	150	2200	1700	1300
225	200	2300	1800	1500
250	250	2500	2000	1700
315	300	2900	2400	2100

Значения в см. Таб. 3.50 основаны на трубе класса С каждого типоразмера. Для труб класса Е с диаметрами 32...110 мм расстояние между опорами может быть увеличено на 10%.

**Внимание.** Если транспортируемое вещество имеет удельный вес более 1 г/см<sup>3</sup>, расстояние между опорами должно быть уменьшено путём деления рекомендуемых межопорных расстояний на удельный вес перекачиваемой жидкости. Или, что то же самое, умножив межопорное расстояние на коэффициент  $k = 1/\rho$ , где  $\rho$  – плотность перекачиваемой жидкости в г/см<sup>3</sup>.

Таб. 3.51. Расстояния между опорами для труб из ПП

D <sub>e</sub>	DN	Расстояние между опорами (мм) в зависимости от температуры						
		+20 °С	+30 °С	+40 °С	+50 °С	+60 °С	+70 °С	+80 °С
16	10	650	625	600	775	550	525	500
20	15	700	675	650	625	600	575	550
25	20	800	775	750	725	700	675	650
32	25	950	925	900	875	850	800	750
40	32	1100	1075	1050	1000	950	925	875
50	40	1250	1225	1200	1150	1100	1050	1000
63	50	1450	1425	1400	1350	1300	1250	1200
75	65	1550	1500	1450	1400	1350	1300	1250
90	80	1650	1600	1550	1500	1450	1400	1350
110	100	1850	1800	1750	1700	1600	1500	1400
125	100	2000	1950	1900	1800	1700	1600	1500
140	125	2100	2050	2000	1900	1800	1700	1600
160	150	2250	2200	2100	2000	1900	1800	1700
180	150	2350	2300	2200	2100	2000	1900	1800
200	200	2500	2400	2300	2200	2100	2000	1900
225	200	2650	2550	2450	2350	2250	2150	2000
250	250	2800	2700	2600	2500	2400	2300	2150
280	250	2950	2850	2750	2650	2550	2450	2300
315	300	3150	3050	2950	2850	2700	2600	2450
355	350	3350	3250	3150	3000	2850	2750	2600
400	400	3550	3450	3350	3200	3050	2900	2750

Значения в см. Таб. 3.51 соответствуют SDR 11/S5/PN10.

Для других значений SDR следует умножить значения в см. Таб. 3.51 на следующие коэффициенты:

- 0,91 для SDR 17,6/S 8,3/PN6.

В случае вертикальной установки трубы расстояния между опорами можно увеличить на 30%.

В зависимости от перекачиваемой среды расстояние между опорами следует умножить на коэффициент, указанный в см. Таб. 3.52.

Таб. 3.52. Пересчётные коэффициенты для жидкостей различной плотности (ПП)

PN	Плотность, г/см <sup>3</sup>		
	Вода	Другие жидкости	
	1,00	1,25	1,50
6...10	1,00	0,96	0,92

Таб. 3.53. Расстояния между опорами для труб из ПНД

D <sub>e</sub>	DN	Расстояние между опорами (мм) в зависимости от температуры				
		+20 °C	+30 °C	+40 °C	+50 °C	+60 °C
16	10	500	450	450	400	350
20	15	575	550	500	450	400
25	20	650	600	550	550	500
32	25	750	750	650	650	550
40	32	900	850	750	750	650
50	40	1050	1000	900	850	750
63	50	1200	1150	1050	1000	900
75	65	1350	1300	1200	1100	1000
90	80	1500	1450	1350	1250	1150
110	100	1650	1600	1500	1450	1300
125	100	1750	1700	1600	1550	1400
140	125	1900	1850	1750	1650	1500
160	150	2050	1950	1850	1750	1600
180	150	2150	2050	1950	1850	1750
200	200	2300	2200	2100	2000	1900
225	200	2450	2350	2250	2150	2050
250	250	2600	2500	2400	2300	2100
280	250	2750	2650	2550	2400	2200
315	300	2900	2800	2700	2550	2350
355	350	3100	3000	2900	2750	2550
400	400	3300	3150	3050	2900	2700

Значения в см. Таб. 3.53 соответствуют SDR 17/S8/PN10.

Для других значений SDR следует умножить значения в см. Таб. 3.53 на следующие коэффициенты:

- 0,91 для SDR 26,0/S 12,5/PN6;
- 1,07 для SDR 11,0/S5/PN16.

В случае вертикальной установки трубы расстояния между опорами можно увеличить на 30%.



В зависимости от перекачиваемой среды расстояние между опорами следует умножить на коэффициент, указанный в см. Таб. 3.54.

Таб. 3.54. Пересчётные коэффициенты для жидкостей различной плотности (ПНД)

PN	Плотность, г/см <sup>3</sup>		
	Вода	Другие жидкости	
	1,00	1,25	1,50
6...16	1,00	0,96	0,92

Таб. 3.55. Расстояния между опорами для труб из ПВДФ

D <sub>e</sub>	DN	Расстояние между опорами (мм) в зависимости от температуры								
		+20 °C	+30 °C	+40 °C	+50 °C	+60 °C	+70 °C	+80 °C	+90 °C	+100 °C
16	10	725	700	650	600	575	550	500	450	400
20	15	850	800	750	750	700	650	600	500	450
25	20	950	900	850	800	750	700	675	600	500
32	25	1100	1050	1000	950	900	850	800	700	600
40	32	1200	1150	1100	1050	1000	950	900	750	650
50	40	1400	1350	1300	1200	1150	1100	1000	900	750
63	50	1400	1350	1300	1250	1200	1150	1100	950	800
75	65	1500	1450	1400	1350	1300	1250	1200	1050	850
90	80	1600	1550	1500	1450	1400	1350	1300	1100	950
110	100	1800	1750	1700	1650	1550	1500	1450	1250	1100
125	100	1900	1850	1800	1700	1650	1600	1500	1350	1200
140	125	2000	1950	1900	1800	1750	1700	1600	1450	1250
160	150	2150	2100	2050	1950	1850	1800	1700	1550	1350
180	150	2300	2200	2150	2050	1950	1900	1800	1600	1400
200	200	2400	2350	2250	2150	2100	2000	1900	1700	1500
225	200	2550	2500	2400	2300	2200	2100	2000	1800	1600
250	250	2650	2600	2500	2400	2300	2200	2100	1900	1700
280	250	2850	2750	2650	2550	2450	2350	2250	2000	1800
315	300	3000	2950	2850	2750	2600	2500	2400	2150	1900
355	350	3200	3100	3000	2850	2750	2650	2500	2250	2000
400	400	3400	3300	3200	3050	2950	2800	2650	2400	2100

-  SDR 21,0/S 10/PN16
-  SDR 33,0/S 16/PN10

Для других значений SDR следует умножить значения в см. Таб. 3.55 на следующие коэффициенты:

- 1,08 для SDR 21,0/S10/PN16 – диапазон размеров D<sub>e</sub> 63...400;
- 1,12 для SDR 17,0/S8/PN20 – весь диапазон размеров.

В зависимости от перекачиваемой среды расстояние между опорами следует умножить на коэффициент, указанный в см. Таб. 3.56.

Таб. 3.56. Пересчётные коэффициенты для жидкостей различной плотности (ПВДФ)

PN	Плотность, г/см <sup>3</sup>		
	Вода	Другие жидкости	
	1,00	1,25	1,50
10...20	1,00	0,96	0,92

Приведённые ниже графики составлены на основе таблиц расстояний между опорами труб в соответствии с DVS 210-1 и могут быть использованы для быстрого подбора нужных значений.

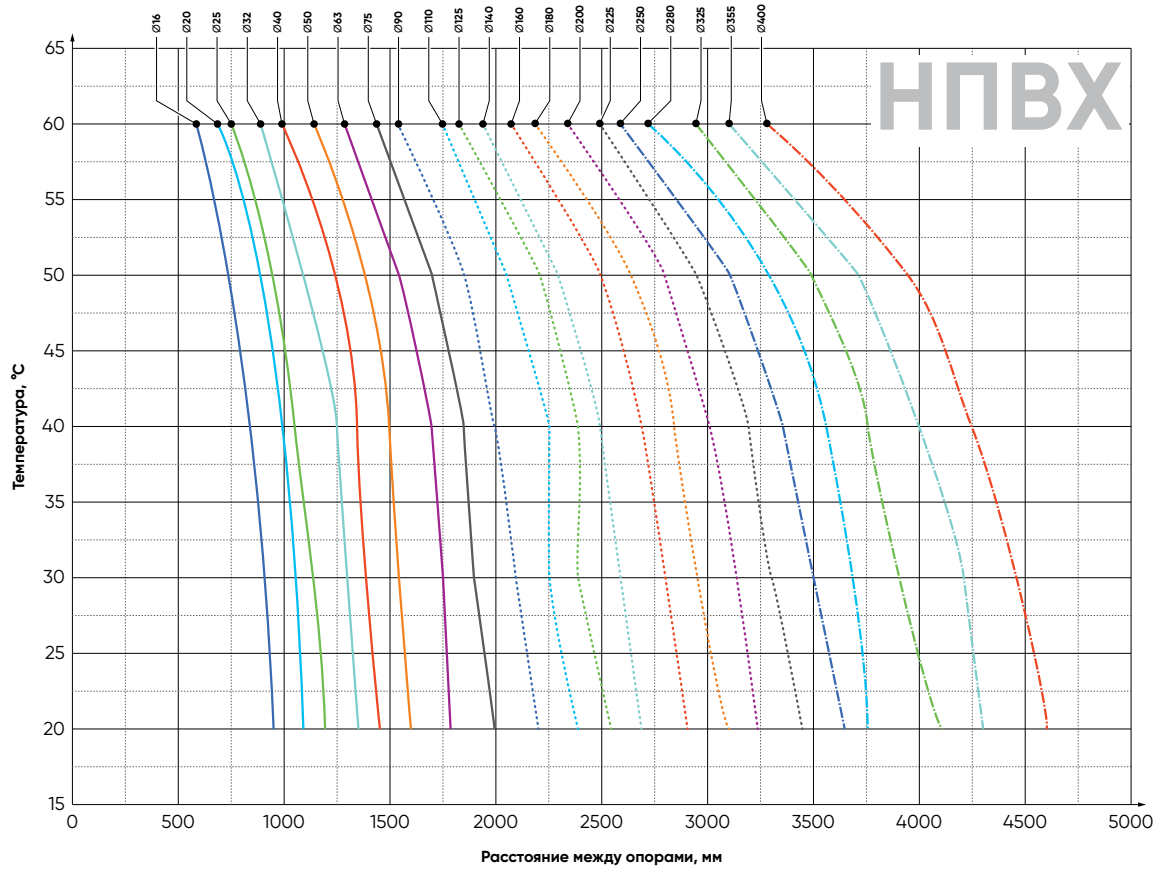


Рис. 3.101. Расстояние между опорами для трубопровода из НПВХ согласно Стандарту DVS 2210-1

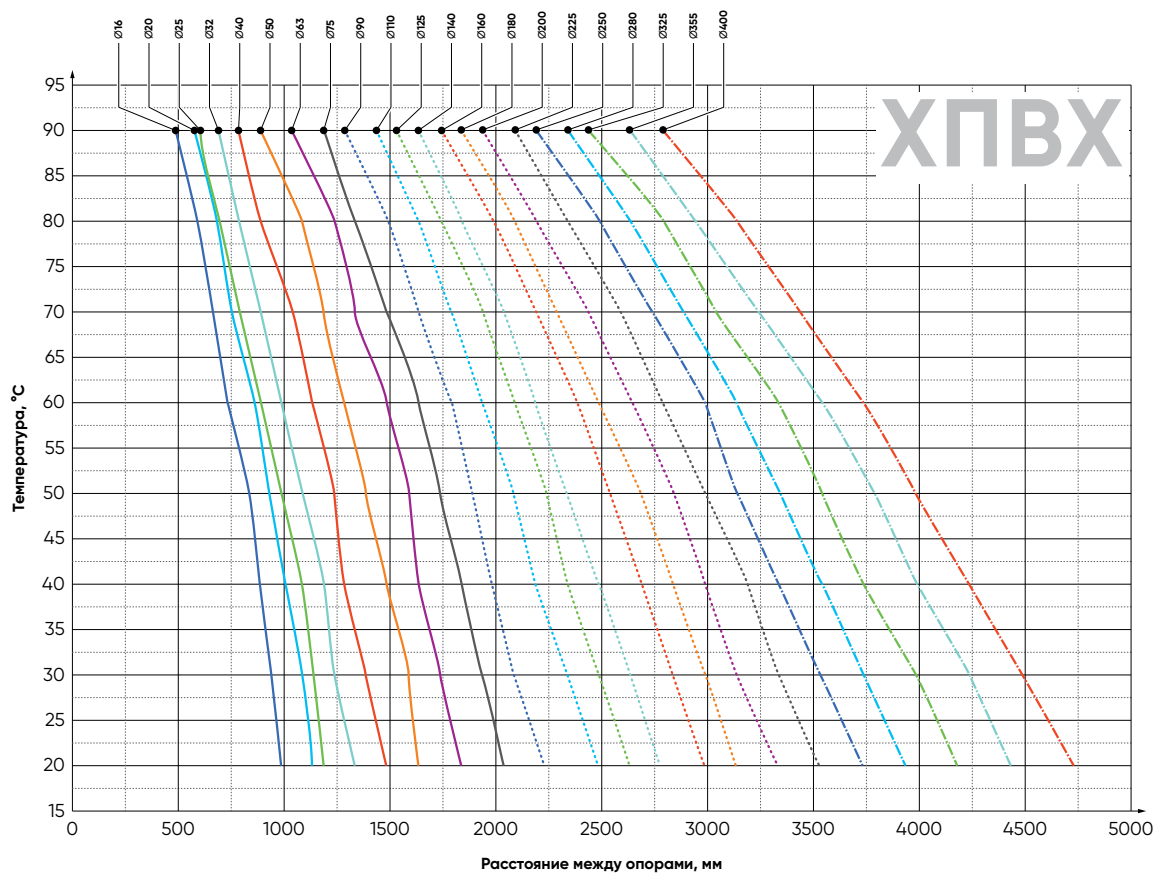


Рис. 3.102. Расстояние между опорами для трубопровода из ХПВХ согласно Стандарту DVS 2210-1

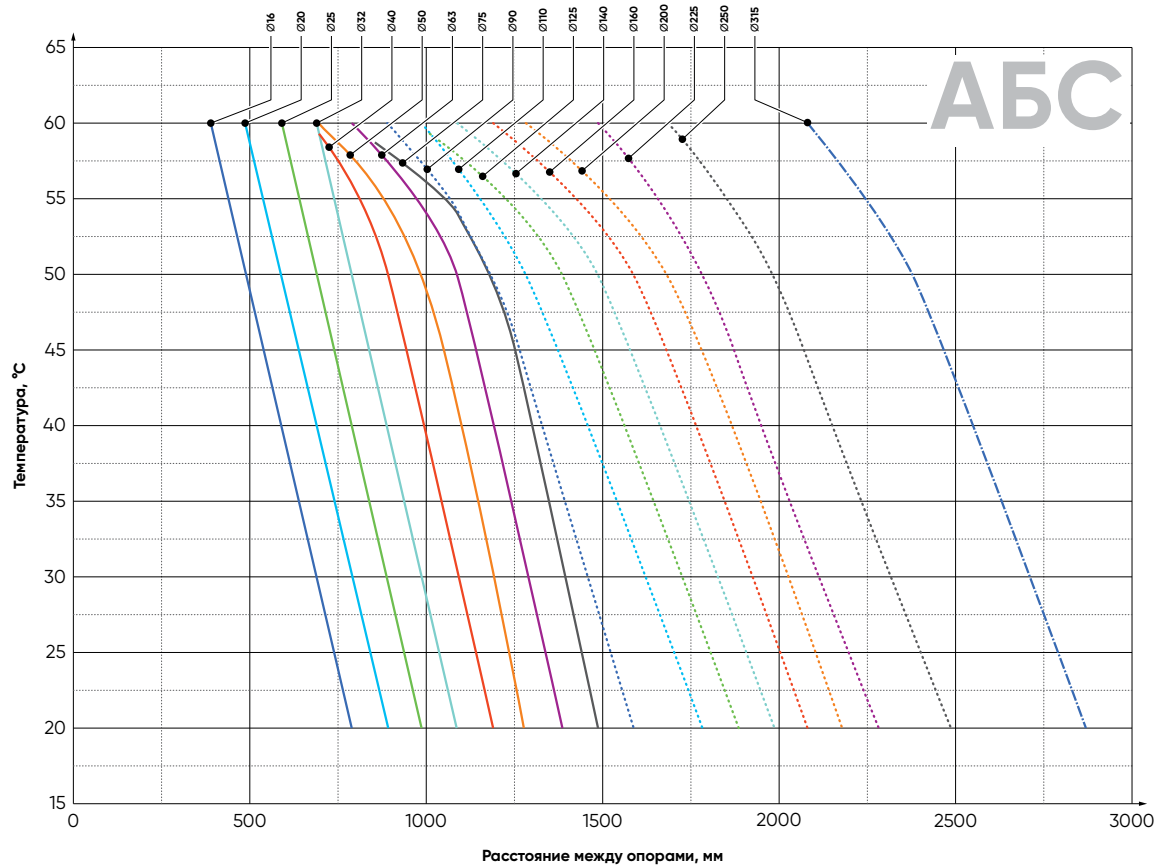


Рис. 3.103. Расстояние между опорами для трубопровода из АБС согласно Стандарту DVS 2210-1

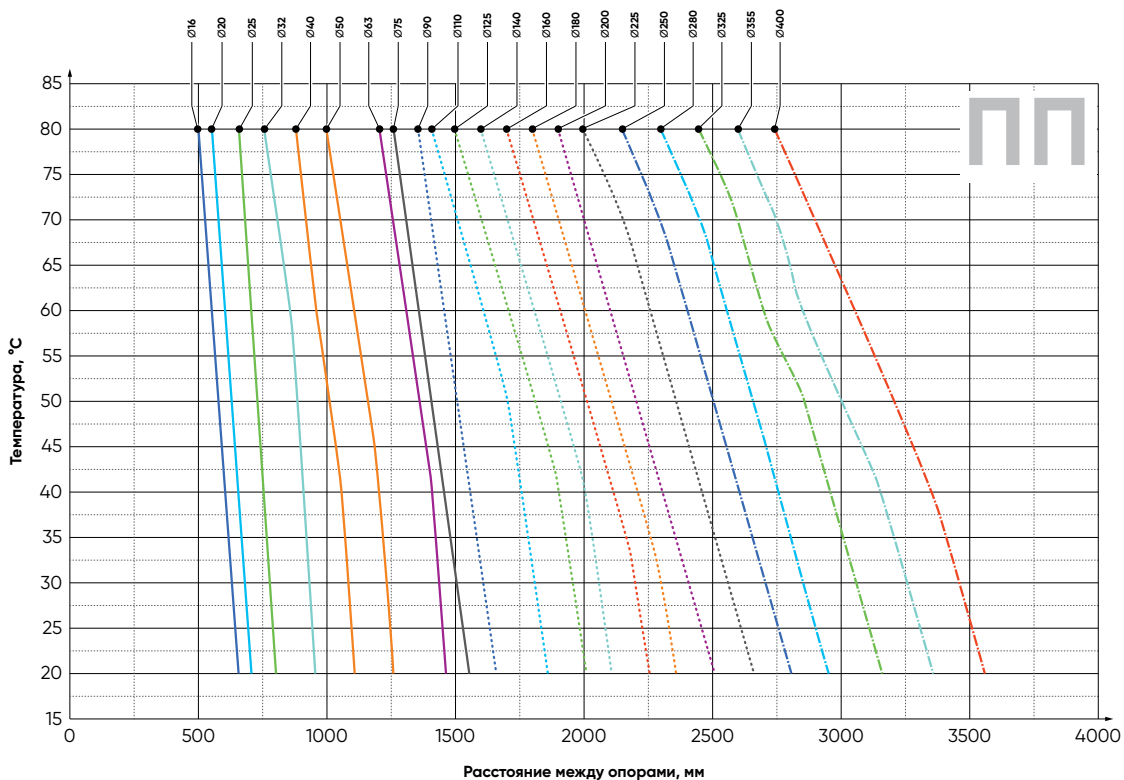


Рис. 3.104. Расстояние между опорами для трубопровода из ПП согласно Стандарту DVS 2210-1



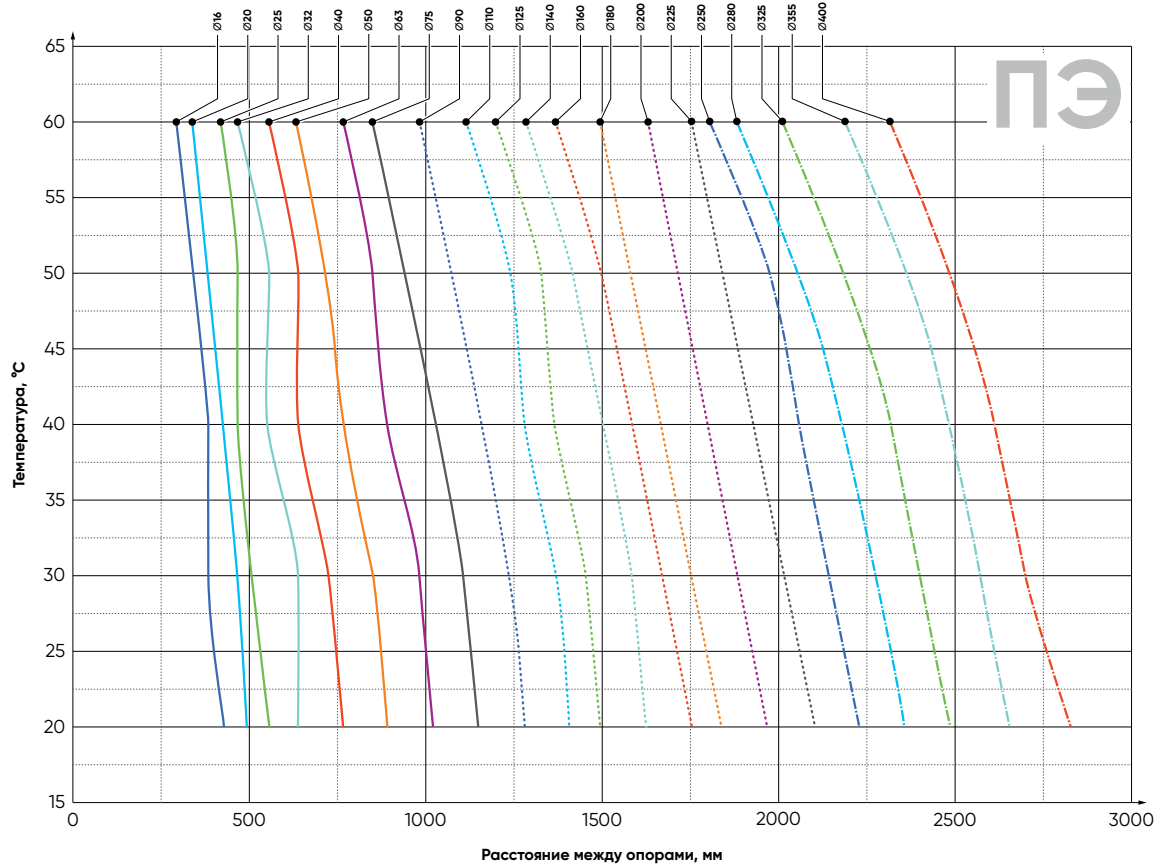


Рис. 3.105. Расстояние между опорами для трубопровода из ПЭ согласно Стандарту DVS 2210-1

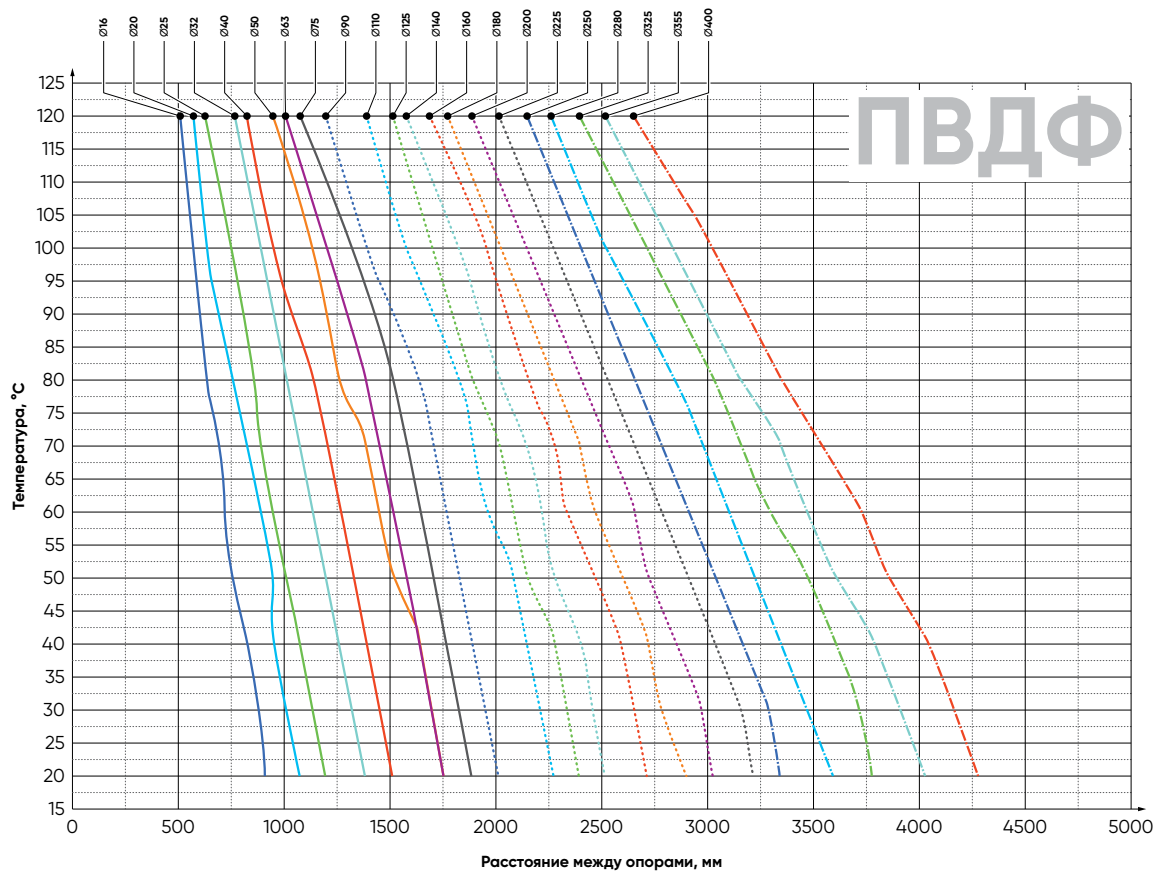


Рис. 3.106. Расстояние между опорами для трубопровода из ПВХДФ согласно Стандарту DVS 2210-1

### Заключительные положения

Если трубопровод проложен таким образом, что осевое расширение всех или отдельных его участков больше невозможно (точки жёсткого крепления), необходимо проверить расчётное расстояние крепления на предмет безопасности при изгибе. Если рассчитанное расстояние между кронштейнами меньше расчётного расстояния между опорами, кронштейны следует размещать в соответствии с меньшим значением.

Если трубопровод с точками жёсткого крепления эксплуатируется при повышенных температурах или следует ожидать снижения модуля ползучести трубы из-за воздействия перекачиваемой среды, возрастает опасность изгиба. В этих случаях рассчитанное расстояние между кронштейнами должно быть уменьшено на 20%. Значения, приведённые в см. Таб. 3.57, следует рассматривать как повышенные рабочие температуры.

Таб. 3.57. Повышенные температуры для различных полимеров

Материал	НПВХ	ХПВХ	АБС	ПП	ПНД	ПВДФ
Температура	>40	>80	>40	>60	>45	>100

### Крепление запорной арматуры

Вся запорная арматура, как ручная, так и автоматическая, должна быть надлежащим образом закреплена. Поэтому шаровые краны компании **Aliaxis** серий VKD, VKR, TKD снабжены встроенным кронштейном, который позволяет непосредственно закреплять корпус без необходимости в других компонентах (см. Рис. 2.45, стр. 122 и Рис. 3.107).

Для настенного монтажа можно использовать специальные монтажные платформы РМКД, которые поставляются в качестве аксессуаров. Эти платформы перед установкой предварительно должны быть закреплены на запорной арматуре. Платформы РМКД также позволяют выровнять краны VKD с помощью зажимов для труб **FIP GOEMA**, а также клапаны различных размеров.



Рис. 3.107. Крепёжное гнездо запорной арматуры

### 3.2.4. Подземный монтаж трубопроводов (заглублённая установка)

Все системы подземных трубопроводов подвергаются как внутренним, так и внешним нагрузкам. Внутренняя нагрузка связана со свойствами транспортируемой среды и материала трубы. При внешних нагрузках термопластичные трубы считаются гибкими (способными изгибаться без разрушения) и используют стенку трубы и окружающую грунтовую среду для сопротивления внешним нагрузкам. Другими словами, грунт и труба образуют единую структуру. В зависимости от характеристик нагрузки труба будет либо растягиваться, либо сжиматься. Внешние нагрузки, которые необходимо определить, являются статическими и динамическими.

#### Требования к подземному строительству

Прокладка подземных полимерных трубопроводов, в частности с рабочими температурами выше +40 °С, требует использования соответствующих инженерных процедур, адаптированных к материалу трубопровода и к запланированным нагрузкам.

Важным фактором безопасности эксплуатации полимерных трубопроводов является абсолютное соответствие хода строительных работ проектным расчётам. Соблюдение заданной степени уплотнения грунта вдоль линии прокладки является важной предпосылкой для формирования поддержки основания гибкой трубопроводной системы.

Следующие принципы прокладки подземных трубопроводов следует рассматривать в качестве дополнения к общим правилам.

#### Траншеи

Траншеи должны быть обустроены в соответствии со спецификациями DIN EN 1610 и DIN 4124 «Земляные работы и траншеи». Минимальная ширина траншеи, зависящая от номинальной толщины трубы и глубины траншеи, является эталонным значением, которое должно быть адаптировано к методу монтажа труб. Ширина траншеи должна быть достаточной для того, чтобы работы, необходимые для безопасной эксплуатации трубопровода, могли быть выполнены правильно и безопасно.

#### Глубина траншеи

Термопластичная труба будет иметь тенденцию прогибаться, а не трескаться под нагрузкой. Величина прогиба может быть определена исходя из величины заглубления, жёсткости трубы и величины нагрузки на трубу (например, вес вышележащего грунта, дорожного полотна и нагрузки транспорта на полотно). Хотя максимально допустимый прогиб составляет 7,5% при коэффициенте запаса прочности 4:1, критический прогиб происходит при 30%. Для данной ситуации можно рассчитать фактический прогиб и необходимую величину заглубления.

Для получения более подробной информации о величине заглубления и оценке прогиба в различных условиях рекомендуется обратиться в службу технической поддержки компании **Aliaxis**.

#### Ширина траншеи

Для канализационных коллекторов строительство и ограждение траншеи, работы в траншее и её засыпка должны выполняться в соответствии с требованиями EN 805, DIN 4124 и DIN EN 1610. Кроме того, необходимо учитывать правила промышленной безопасности и любые дополнительные требования, предъявляемые к проектированию. Ширина траншеи должна соответствовать спецификациям при статическом расчёте труб.

Таб. 3.58. Рекомендованная минимальная ширина траншеи в зависимости от её глубины

Глубина траншеи (м)	Мин. ширина траншеи, м
<1,00	—
1,00...1,75	0,80
1,75...4,00	0,90
> 4,00	1,00

#### Основание траншеи

Чтобы правильно поддерживать трубу, дно траншеи должно быть сплошным, относительно гладким и свободным от камней. Там, где встречаются твёрдые породы или валуны, на дно траншеи следует уложить слой щебня или песка толщиной не менее 10 см. Для этих целей не следует использовать мёрзлый материал. В зонах, где почва нестабильна (например, содержит много органического материала) дно траншей следует перекопать и выровнять подходящим материалом.

### Подсыпка под трубу

Слой подсыпки на дне траншеи (являющийся опорой для трубы) должен быть выровнен и уплотнён. При необходимости должен быть выдержан необходимый уклон. Толщина выравнивающей подсыпки должна быть такой, чтобы неровности нижележащего грунта ни при каких условиях не могли соприкоснуться с трубой. Если подсыпка не выполняется, вышележащий слой грунта может оказать на трубопровод неблагоприятное влияние.

### Укладка труб

Трубы и фитинги следует укладывать в траншею с помощью веревок и полозьев, строп на ковше экскаватора или вручную. Ни в коем случае нельзя бросать или ронять трубу в траншею! Особую осторожность следует проявлять при обращении с трубами в холодную погоду, так как материал при пониженных температурах становится гораздо более хрупким. Перед сборкой трубопровода следует убедиться в качестве применяемых материалов.

### Сопротивление нагрузкам

В подземных напорных трубопроводах нагрузки могут возникать в любой точке, где изменяется направление или площадь поперечного сечения трубы. Эти нагрузки должны быть компенсированы с помощью бетонных упорных блоков или бетонной оболочки. Это может быть достигнуто путём заливки бетона в формы соответствующего размера в каждой точке линии, где нагрузки будут развиваться. Бетонный блок должен быть помещён между фитингом и нетронутой естественной почвой на стенке траншеи. Такие блоки не являются необходимыми в трубопроводах, устойчивых к нагрузкам. Например, клееных, сваренных или соединённых электрофузионными муфтами.

### Первичная обратная засыпка

Первоначальная обратная засыпка производится путём покрытия трубы на глубину от 15 см до 30 см надлежащим материалом для засыпки, не содержащим камней, острых предметов, мусора или частиц размером более 75 мм. Следует добавлять засыпку слоями толщиной 150 мм, постоянно контролируя степень уплотнения. Над трубой должен быть слой 15...30 см, но все соединения должны оставаться открытыми для визуального осмотра (см. Рис. 3.108). Цифры на схеме:

- (1) коренной грунт;
- (2) засыпка пазух;
- (3) подсыпка под трубу;
- (4) окончательная засыпка;
- (5) трамбовка;
- (6) первичная обратная засыпка.

После осадки трубопровода и его выравнивания следует проверить все соединения на герметичность. Если результаты испытаний удовлетворительные, следует засыпать соединения и утрамбовать первичную засыпку.

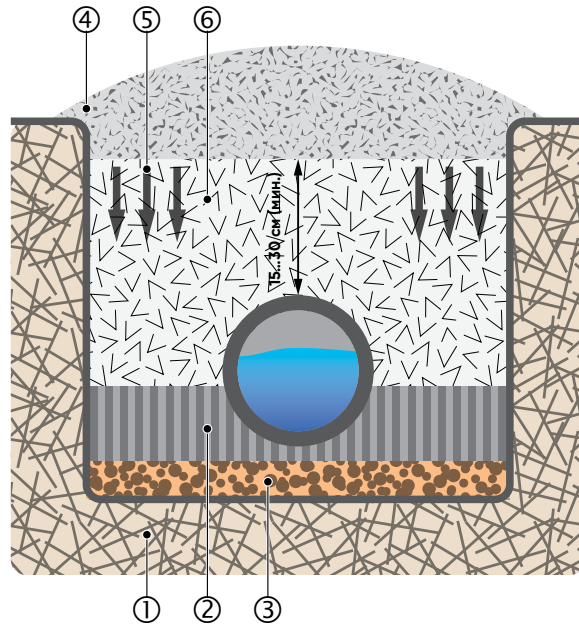


Рис. 3.108. Схема засыпки траншеи

**Примечание 1.** Во время засыпки необходимо следить за тем, чтобы не нарушалось выравнивание труб как по вертикали, так и по горизонтали.

**Примечание 2.** В жаркую погоду рекомендуется производить обратную засыпку в прохладные утренние часы, когда диаметр трубы минимален, чтобы избежать неправильного уплотнения из-за сжатия трубы в грунте.

### Тестирование системы

После сборки и первоначального заполнения системы она должна быть проверена на наличие утечек. Труба должна быть достаточно заполнена, чтобы не испытывать перемещений во время испытания.

Испытание давлением следует проводить в соответствии с процедурой, описанной ниже. Если испытания прошли успешно, можно проводить окончательную засыпку траншеи. В противном случае следует устранить недостатки и повторить испытания.

Подземные трубопроводы из ПВХ никогда нельзя бетонировать. Бетон превращает гибкую трубу в жёсткую конструкцию, не выдерживающую изгибающих нагрузок и тем самым лишает систему многих преимуществ полимерных трубопроводов.

### Уплотнение окончательной засыпки

Окончательная засыпка — это материал, который укладывается поверх первичной засыпки в верхнюю часть траншеи. Следует уплотнить грунт в приямках под стыковые соединения, начальную и окончательную засыпку с помощью ручного оборудования в соответствии с рабочими чертежами. Необходимо соблюдать соответствующие меры предосторожности:

- при использовании самоуплотняющегося материала (например, щебня), следует удалить все пристенные пазухи и выровнять засыпку;
- при уплотнении материала под и вокруг трубы следует избегать её касания инструментом;
- если требуется уплотнение, превышающее 85% стандартного в области изгибов труб, необходимо следить, чтобы в процессе уплотнения поддерживался проектный уклон;
- нет необходимости уплотнять первоначальную засыпку, расположенную поверх трубы просто ради упрочнения конструкции. Однако это может быть необходимо для обеспечения целостности дорожного полотна;
- при прокладке длинных трубопроводов при повышенных температурах воздуха рекомендуется начинать работу с точки жёсткого крепления (например, вход или выход из здания), и продолжать работу от этой точки, проверяясь и засыпая траншею в соответствии с предыдущими пунктами. Такая методика должна позволить трубопроводу постепенно повышать температуру почвы по мере выполнения работ.

Укладка полимерного трубопровода непосредственно на дно траншеи допускается только в том случае, если дно представляет собой мелкозернистый песчаный грунт и трубам обеспечена равномерная опора по всей трассе. Правила установки полимерных трубопроводов со специальными свойствами (например, с повышенным сопротивлением растрескиванию или дополнительными защитными оболочками) определяются производителем соответствующего оборудования.

Стандартная толщина слоя подсыпки под трубу должна быть не менее 10 см в уплотнённом состоянии. Для каменистого или твёрдого дна траншей толщина слоя подсыпки под трубу должна быть увеличена как минимум до 15 см. До и во время монтажа трубопровода необходимо проверить подсыпку, чтобы убедиться, что в ней нет камней.

### Нагрузки на подземные трубопроводы

При проектировании подземных полимерных трубопроводов необходимо проводить различие между внутренними нагрузками (возникающими во время эксплуатации) и внешними нагрузками (они зависят от окружающей трубу среды). Следует учитывать механическую, термическую и химическую нагрузку на трубопроводную систему. При необходимости, при проведении расчётов следует оценивать нагрузки, возникающие при монтаже и при испытательных работах.

Чем точнее будут учтены предполагаемые нагрузки, тем точнее будут определены параметры трубопровода и тем безопаснее и экономичнее будет его эксплуатация.

### Это особенно важно в отношении полимерных трубопроводных систем.

Чем грубее проведены расчёты, тем больше вероятность переоценить значения нагрузок, что неизбежно приведёт к повышению капитальных и эксплуатационных расходов. С другой стороны, недооценка нагрузок может привести к нестабильной работе трубопровода, к поломкам и неизбежным дополнительным расходам на ремонтные работы.

Различные виды нагрузок в подземном полимерном трубопроводе могут возникать как по отдельности, так и совместно, и их воздействие может иметь как краткосрочные, так и долгосрочные последствия. Обычно это смесь постоянных и периодически повторяющихся нагрузок, например, связанных с движением транспорта над трубопроводом.

В Таб. 3.59, составленной в соответствии с DVS 2210-3, показано, какие нагрузки необходимо учитывать при проектировании и определении габаритов подземных полимерных трубопроводов.

Таб. 3.59. Нагрузки и их влияние на подземный трубопровод

Нагрузка	Влияние
Поверхностные и транспортные нагрузки	Зависит от глубины слоя почвы над трубой
Вес трубы и перекачиваемой среды	Меньшее влияние, нежели в наземных трубопроводах
Влияние грунтовых вод	Зависит от уровня грунтовых вод над трубой
Механические нагрузки, из-за посторонних предметов в засыпке трубы (камнями, инородными телами и т. д.)	Локальная деформация трубы, риск образования трещин (зависящий от материала трубы)
Нагрузка при избыточном или отрицательном давлении	Общая нагрузка, вызванная условиями эксплуатации трубопровода
Тепловая нагрузка	Рабочая температура среды выше +20 °С и подвержена значительным колебаниям
Нагрузка от перекачиваемой среды	Перекачиваемая среда может влиять на материал трубы (например, снижать её прочность)

### Поверхностные и транспортные нагрузки

Поверхностные и транспортные нагрузки создают изгибающие усилия в стенках трубы. Следует, однако, различать кратковременные (например, на стадии строительства) и долговременные нагрузки.

Первоначально круглая в сечении, труба под действием нагрузок будет деформироваться. Величина этих нагрузок и связанных с ними деформаций сильно зависит от качества земляных работ как при прокладке, так и при засыпке трубопровода. Как правило, чем ниже влияние окружающего трубопровод грунта, тем выше напряжения и деформации поперечного сечения трубы.

### Влияние грунтовых вод

Если грунтовые воды способны подниматься выше уровня заложения трубы, эти нагрузки следует учитывать при расчёте устойчивости трубопровода. Т.е. трубопровод должен быть достаточно устойчив к изгибающим нагрузкам при внешнем избыточном давлении грунтовых вод (в дополнение к иным нагрузкам, рассмотренным выше).

### Эксплуатационные нагрузки

Эксплуатационные нагрузки могут возникать как из-за внутреннего избыточного давления или отрицательного давления, так и из-за температуры и типа транспортируемой среды. Все внешние нагрузки, а также внутренняя нагрузка рабочего давления внутри трубы, должны суммарно учитываться при расчёте прочности трубопровода.

Нагрузочная способность полимерного трубопровода выдерживать то или иное внутреннее давление определяется соответствующими Стандартами на трубы и зависит от рабочего давления, температуры и поведения материала с течением времени.

При определении параметров трубопровода важно учитывать параметры любого его отдельного элемента, которые могут отличаться от параметров основной трубы. Формованные компоненты, изготовленные из отрезков труб (клеенные или сварные отводы, ответвления и проч.) могут снижать нагрузочную способность трубопровода, указанную в Стандартах.

Кроме того, перекачиваемая среда может значительно воздействовать на материал трубопровода, также снижая его нагрузочную способность, определённую Стандартами (например, изменять модуль ползучести).



### 3.3. Полевые испытания трубопровода

Испытание давлением – это испытание, проводимое после монтажа любого трубопровода перед его вводом в эксплуатацию.

Цель испытания давлением состоит в том, чтобы исследовать пределы прочности трубопровода, оценить его надёжность, максимальную пропускную способность, зафиксировать возможные утечки, проверить места соединений. Без этого трубопровод не может быть сдан в эксплуатацию.

Информация, полученная в результате испытаний давлением, помогает поддерживать стандарты безопасности и содержать трубопровод в рабочем состоянии.

Общие рекомендации сгруппированы по следующим разделам:

- подготовка к испытаниям;
- испытательное давление;
- испытание;
- обработка результатов испытаний.

#### Подготовка к испытаниям

- 1] Трубопроводная система должна пройти гидравлические испытания по длительности, соответствующей диаметру и условиям эксплуатации.
- 2] Желательно, чтобы испытание проводилось между глухими фланцами. Концы испытываемого трубопровода можно заглушить с помощью соответствующих фланцевых муфт или фланцевых адаптеров с болтовым креплением.

В заглушенных концах следует просверлить отверстия и при необходимости нарезать резьбу для присоединения входных и выходных патрубков.

Концы магистрального трубопровода и все ответвления должны быть закреплены распорками и анкерами, чтобы адекватно выдерживать нагрузки от испытательного давления.

- 3] Домкраты и распорки должны быть достаточно прочными и должным образом выровнены.

Типичная схема испытаний под давлением показаны на Рис. 3.109.

- 1 – Нагнетательное устройство
- 2 – Запорная арматура
- 3 – КИП
- 4 – Испытываемый участок трубопровода
- 5 – Тройники, фланцевые соединения
- 6 – Крепёж концов трубопровода

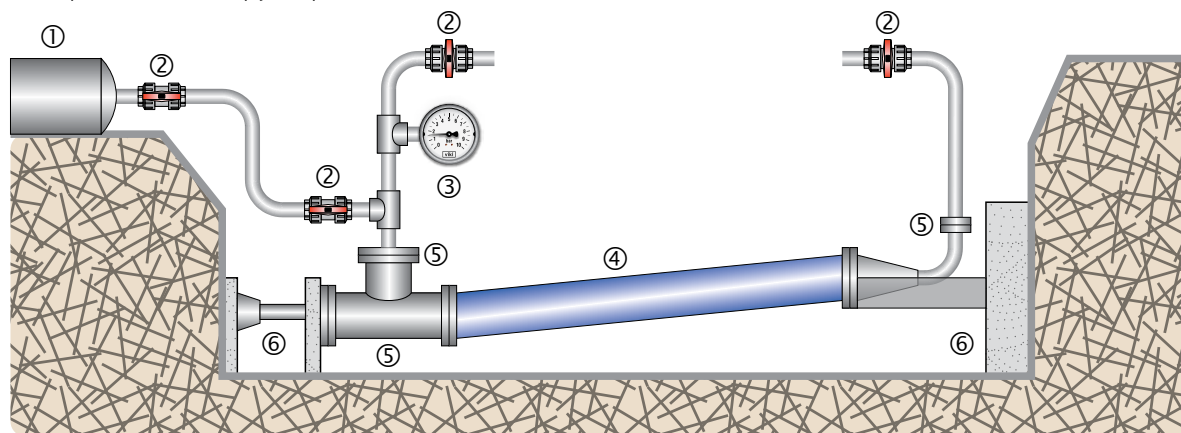


Рис. 3.109. Принципиальная схема гидравлических испытаний подземного трубопровода

- 4] Если для крепления был использован бетон, испытания следует отложить до тех пор, пока он не наберёт нужную прочность. Клеенные соединения должны высыхать как минимум в течение 24 часов перед началом испытаний.
- 5] Условия на стройплощадке обычно определяют, можно ли оставлять открытыми все траншеи. В любом случае стыки должны быть доступны для контроля в течение испытаний. Важно иметь достаточное уплотнённое окружение и засыпку самой трубы, чтобы предотвратить её смещение и поддерживать стабильную температуру в течение испытаний.
- 6] Место испытания должно быть по возможности выбрано в самой нижней (глубокой) точке трубопровода. Это будет способствовать быстрому вытеснению воздуха в процессе заполнения трубопровода. Кроме того, в этой точке обычно регистрируется максимальное давление при испытаниях и облегчается контроль за нагнетанием воды.

Воздухоотводчики или вентиляционные отверстия следует разместить во всех самых высоких точках системы.

- 7] Испытательные заглушки на концах трубопровода должны быть спроектированы таким образом, чтобы можно было контролировать заполнение и последующее опорожнение трубопровода.

Глухие фланцы, испытательные трубы или торцевые заглушки должны иметь соответствующие отводы для установки манометров и соответствующего оборудования.

Воздухоотводчики также следует разместить и на испытательных заглушках.

- 8] Оборудование для нагнетания давления (ручное или автоматическое) должно быть надлежащего размера и достаточно прочным, с соединениями подходящей конструкции для создания и поддержания точного требуемого испытательного давления. Все уплотнения и все обратные клапаны перед испытаниями должны быть проверены. Рекомендуется использовать оборудование для автоматической регистрации давления.
- 9] Перед заполнением трубопровода необходимо проверить, открыты ли все линейные клапаны и воздухоотводчики. Крайне важно удалить весь воздух из испытываемого трубопровода или его секции.

В некоторых случаях полезно перед подачей воды ввести в трубу тампон-поршень из твёрдой пены. Схематично эта процедура показана на Рис. 3.110.

- 1 – От нагнетательного устройства
- 2 – Жидкость
- 3 – Пробка из твёрдой пены
- 4 – Воздух
- 5 – Клепёж конца трубопровода
- 6 – Воздухоотводчик

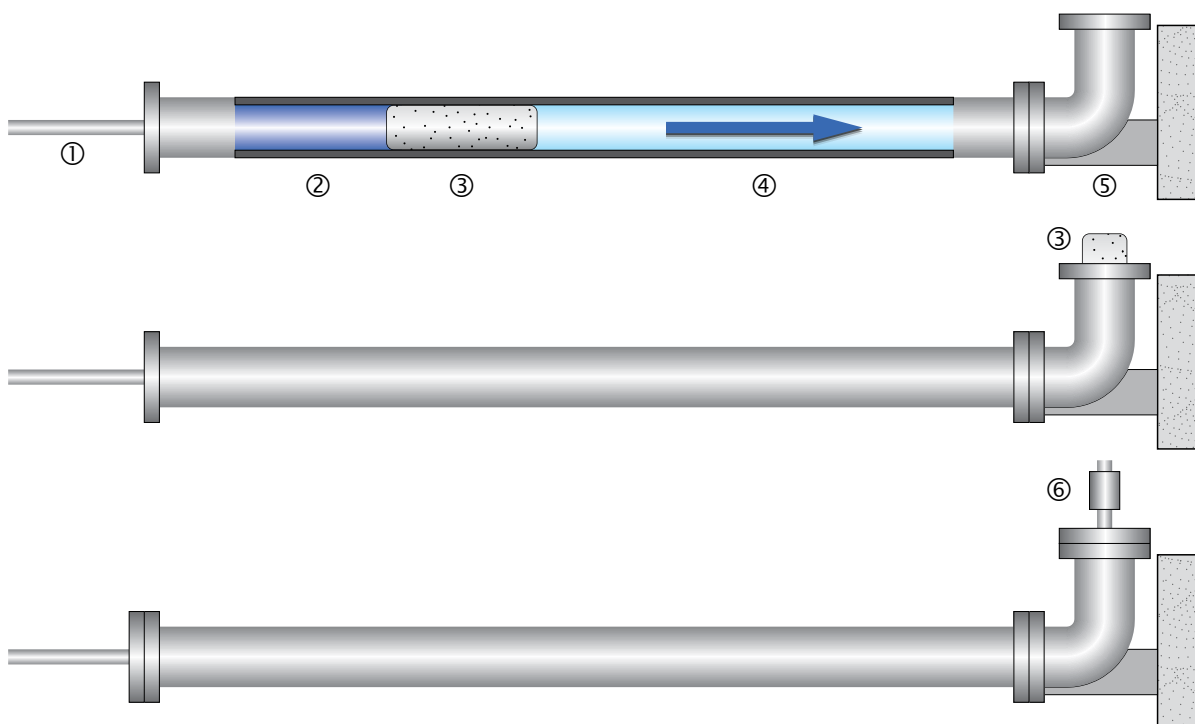


Рис. 3.110. Использование тампона-поршня для удаления воздуха из трубопровода

**10]** Если система будет использоваться для питьевой воды, испытательной средой должна быть питьевая вода.

Любой трубопровод важно заполнять медленно. Скорость заполнения определяется возможностями воздухоотводчиков или вентиляционных отверстий. Убедившись, что трубопровод полностью заполнен жидкостью, все вентиляционные отверстия следует перекрыть. Автоматические воздухоотводчики требуют лишь наблюдения в ходе испытаний на предмет их нормального функционирования.

**11]** В процессе заполнения трубопровода и повышения давления можно ожидать незначительные его подвижки между точками крепления. Они могут быть вызваны следующими факторами:

- увеличивающийся вес трубы по мере её заполнения может вызвать её незначительное проседание;
- незначительные изменения размеров ввиду склонности трубопровода выпрямляться под давлением;
- тепловое перемещение из-за разницы температур на границе раздела вода/труба/почва.

**12]** Весь трубопровод должен оставаться в течение определённого периода времени под номинальным или рабочим давлением для стабилизации. На это даже для самого тонкого трубопровода следует отвести как минимум 2...3 часа.

### Испытательное давление

Гидравлическое испытание должно соответствовать следующим условиям:

- должно выполняться при температуре окружающей среды;
- устанавливаться не менее чем на 1 час, но не более чем на 24 часа;
- не должно более чем в полтора раза превышать номинального давления самого слабого компонента.

Последняя рекомендация может интерпретироваться по-разному. На самом деле, требования к испытательному давлению варьируются от 1,5-кратного номинального давления (PN) в трубе до 1,5-кратного фактического рабочего давления, т.е. того постоянного рабочего давления, которое без учёта скачков должно будет поддерживаться в системе.

Следовательно, рекомендуемое испытательное давление, которое необходимо приложить, должно быть:

- больше номинального давления (PN) трубопроводной системы (наименьшее PN любого компонента);
- в 1,5 раза превышать фактическое рабочее давление (другими словами, не должно превышать номинальное давление PN плюс 5 бар).

### Испытания

Перед началом испытания необходимо проверить следующие пункты:

- была ли установка смонтирована в соответствии с имеющимся проектом?
- Все устройства сброса давления и обратные клапаны установлены в направлении потока?
- Закрыта ли вся концевая запорная арматура?
- Закрыта ли арматура (для защиты от испытательного давления) перед другими устройствами?
- Проведён ли визуальный осмотр всех соединений, насосов, измерительных приборов и резервуаров?
- Выдержан ли нужный период после последней склейки или цементирования?

После стабилизации магистрали можно последовательно проводить испытание под давлением и заполнять трубопровод от самой низкой геодезической точки по следующей схеме:

**1]** нагнетание давления может производиться ручным или электрическим опрессовочным насосом. При этом необходимо следить за манометрами и фиксировать скорость повышения давления.

**2]** Давление следует повышать до тех пор, пока в самой нижней части трубопровода не будет достигнуто заданное испытательное давление.

Это давление поддерживают на заданном уровне, при необходимости подкачивая, в течение 1 часа.

По прошествии 1 часа все клапаны закрываются, а опрессовочный насос отключается. Не допускается дальнейшее попадание воды в испытываемую систему в течение ещё 1 часа.

**3]** Во время испытания необходимо постоянно регистрировать следующие значения измерений:

- внутреннее давление в геодезически нижней точке трубопровода;
- температура окружающей среды;
- вводимый объём воды;
- выводимый объём воды;
- скорость падения давления;
- результаты визуального осмотра соединений испытываемого участка.

### Обработка результатов испытаний

**1]** Если в течение испытательного периода произошло снижение давления, испытательное давление следует восстанавливать путём нагнетания измеренного количества воды в испытываемую секцию.

**2]** Испытание может считаться удовлетворительным, если:

- давление не снижается (возможно даже небольшое повышение давления из-за изменения температуры или изменения свойств материала трубопровода);
- измеренное количество воды, необходимое для восстановления давления до первоначального испытательного давления, меньше «допустимого максимума».

**3]** По завершении любого испытания остаточное давление следует сбрасывать медленно и тщательно контролируемым образом.

**4]** Все дефекты, выявленные в ходе испытания, должны быть устранены, а процедуру испытаний следует повторять до получения удовлетворительного результата.

**Примечание.** «Допустимый максимум» воды и метод его расчёта сильно различаются в разных странах. Поэтому следует использовать значения, принятые в конкретной стране.

Добавляемый объём воды учитывается для компенсации естественного расширения и перемещения трубы и гибких соединений под давлением, а также для неизбежного захвата небольших количеств воздуха в пределах испытываемого участка трубопровода.



### Предупреждение

- Испытания давлением никогда не следует проводить посредством сжатого воздуха.
- Быстрый вывод любого захваченного системой воздуха может вызвать чрезмерные нагрузки, которые потенциально опасны как для трубопровода, так и для персонала.
- Если для проведения испытаний используются шаровые краны, они обязаны быть правильно собраны, со всеми элементами, включая накидные гайки и втулки. В противном случае кран может разрушиться. Та же рекомендация относительно правильной сборки должна соблюдаться, если шаровой кран расположен на конце трубы в уже работающей трубопроводной системе.

### 3.4. Хранение, транспортировка и обращение

Компоненты для промышленных полимерных трубопроводов разработаны и изготавливаются для использования в системах с высокой нагрузкой, связанной с транспортировкой агрессивных жидкостей. Чтобы обеспечить целостность этих компонентов после монтажа, обращаться с ними следует с разумной осторожностью.

#### Полевое хранение

Хотя полимерные материалы обладают превосходной устойчивостью к атмосферным воздействиям, рекомендуется их длительное хранение под крышей, чтобы сохранить их пригодность для установки и обеспечить надежную защиту от ультрафиолетового излучения.

Важно избегать хранения труб и компонентов на открытом грунте при температуре ниже 0 °С и следить за тем, чтобы температура хранения не выходила за пределы, допустимые для того или иного материала. Для этого следует обратиться к соответствующим разделам настоящего Руководства и каталогам продукции компании **Aliaxis**.

Вся продукция должна храниться в оригинальной упаковке до момента монтажа. Упакованные трубы можно укладывать в штабели при условии что их вес распределяется по упаковочным доскам.

#### Обращение

С трубами, фитингами и запорной арматурой следует обращаться с осторожностью. При перевозке нельзя допускать контакта арматуры с острыми краями в кузове транспортного средства.

Для подъема и перегрузки пучков труб следует использовать нейлоновые или веревочные стропы. Использование цепей следует исключить.

#### Транспортировка

Чтобы избежать изгиба, провисания или механических напряжений, при транспортировке полимерных труб необходимо соблюдать осторожность. Во время транспортировки трубы должны быть хорошо закреплены. При перевозке трубы не должны далеко выходить за пределы габаритов транспортного средства. Максимальный вылет без опоры – не более 1 метра. На любых поверхностях, где уложены трубы, не должно быть острых предметов, способных повредить поверхность. Если используются боковые опоры, они также должны быть гладкими и расположены друг от друга на расстоянии не более 1,5 метра. Самые тяжёлые трубы следует всегда размещать внизу.

Резюмируя, можно сказать, что всегда нужно следовать следующим рекомендациям:

- трубы должны поддерживаться во время транспортировки и хранения по всей их длине;
- в зонах погрузки и хранения следует избегать острых предметов, неровных краёв или камней;
- нельзя допускать падения труб из транспортного средства;
- нельзя выбрасывать трубы при разгрузке;
- нельзя тянуть трубы по земле;
- не следует укладывать трубы в слишком высокие штабели;
- необходимо защищать трубы от прямых солнечных лучей;
- нельзя хранить трубы рядом с агрессивными химическими веществами или маслами;
- особое внимание следует уделять обращению с трубами в холодную погоду;
- все трубы перед монтажом следует тщательно осматривать и выбраковывать повреждённые и сильно поцарапанные.



Рис. 3.111. Хранение труб на открытых площадках





# Линейка продукции и трубопроводные системы

Являясь мировым лидером в области передовых решений для полимерных трубопроводов, компания **Aliaxis** принимает участие во многих этапах транспортировки воды от источника до доставки конечному потребителю. Бренды Компании предоставляют инновационные решения уже более 60 лет и достойно представляют историю и развитие ноу-хау в области строительства, инфраструктуры и промышленности. Для каждого из этих сегментов компания **Aliaxis** предлагает широкий ассортимент высококачественной продукции, адаптированной к потребностям клиентов. Компания предлагает огромный спектр продукции: от систем для транспортировки воды, химикатов и газов до кабель-каналов для электропитания и линий передачи данных цифровой системы измерения расхода. От клапанов и фитингов до труб. От клеев и монтажного инструмента до электрофузионных сварочных систем. Неважно, продукт или приложение, потребитель может быть уверен, что всё, что им нужно для их конкретного решения, будет предоставлено с качеством и сервисом, ожидаемыми от лидера отрасли.

Решения Компании для промышленных систем базируются на сырье, качество которого соответствует всем актуальным международным стандартам и экологическим нормам. Разветвлённая структурированная сеть дистрибьюторов, которая является не только гарантией доступности продукции, но и гарантией доступа к технической поддержке – одно из многих преимуществ, которые компания **Aliaxis** предоставляет своим клиентам.

## 4.1. Системы из НПВХ под склейку

Различные составы НПВХ, полученные путём добавления подходящих добавок и стабилизаторов, делают этот материал наиболее универсальным из всех полимеров, позволяя адаптировать его ко многим приложениям, связанным с перекачкой жидкостей под давлением. ПВХ является одним из наиболее экономичных вариантов решения проблем транспортировки агрессивных химических жидкостей, а также распределения и очистки воды в целом.

Системы трубопроводов из НПВХ хорошо подходят для рабочих температур в диапазоне от 0 °С до +60 °С.

С целью удовлетворения всех потребностей заказчиков во многих областях производства, трубопроводные системы из НПВХ доступны под различными брендами и торговыми марками.

Бренд **FIP**, принадлежащий компании **Aliaxis**, предлагает комплексную систему, основанную на инновационных клапанах, широком ассортименте фитингов и высококачественных труб для любого промышленного и технологического применения. Основной ассортимент представлен на Рис. 4.1.



Рис. 4.1. Основной ассортимент бренда **FIP** (принадлежит компании **Aliaxis**)

Компания **Aliaxis** предлагает широкий ассортимент фитингов и клапанов для удовлетворения требований проекта по конкурентоспособной цене.

На Рис. 4.2 показан шаровой кран модели Astore 420 и фитинг из НПВХ.

Типичные области применения:

- муниципальные и промышленные водоочистные сооружения;
- распределение горячей и холодной воды;
- транспортировка агрессивных химических жидкостей;
- плавательные бассейны и СПА-центры;
- орошение.



Рис. 4.2. Шаровой кран и тройник равнопроходной из НПВХ

Таб. 4.1. НПВХ. Основные технические данные

Параметр	Значение
Давление номинальное, бар	до 16
Рабочий диапазон температур, °C	0...+60
Диаметры внешние (D <sub>e</sub> ), мм	12...400
Технологии соединения	склеивание, резьбовое соединение, фланцевое соединение
Стандарты и нормативы <sup>*)</sup>	ANSI B.16.5 (с класса давления от 150), ASTM D1785, ASTM D2464, ASTM D2467, BS 4346-1, DIN 2501, DIN 8062, DVS 2204, DVS 2221, EN 558-1, EN 1092-1, EN 10226-1, EN 10226-2, EN ISO 1452, EN ISO 15493, ISO 7, ISO 161-1, ISO 228-1, ISO 727, ISO 7005-1, NF T54-016, NF T54-028, JIS B 2220, JIS K 6741, JIS B 0203, JIS K 6743, UNI 11242
Сертифицирующие организации	ABS, ACS, BSI, BUREAU VERITAS, CSTB, IIP, KIWA, KTW, UKR SEPRO, WRAS, RMRS, DNV-GL, NIZP, TP TC, ГОСТ Р

<sup>\*)</sup> В таблице показаны основные стандарты и нормативные документы. Могут быть и другие местные стандарты, которые здесь не перечислены, но которые всё ещё действуют.

Таб. 4.2. НПВХ. Спектр продукции

Типоразмеры																						
D <sub>e</sub>	12	16	20	25	32	40	50	63	75	90	110	125	140	160	180	200	225	250	280	315	355	400
DN	8	10	15	20	25	32	40	50	65	80	100	125	125	150	150	200	200	250	250	300	350	400
DN (дюймы)	¼	⅜	½	¾	1	1¼	1½	2	2½	3	4	5	5	6	6	8	8	10	10	12	14	16
<b>Трубы</b>																						
Наличие	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<b>Фитинги</b>																						
Под склейку	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Под адаптер		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓										
Под резьбу		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓										
<b>Краны, клапаны, затворы и др.</b>																						
Краны 2-ходовые		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓											
Краны 3-ходовые		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓														
Клапаны мембранный	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓											
Клапаны седельные		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓														
Клапаны обратные		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Затворы дисковые							✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Фильтры механические		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓											
Воздухоотводчики		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓														
<b>Фланцы и прокладки</b>																						
Фланцы, прокладки		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

## 4.2. Системы FIP из ХПВХ под сварку растворителем



В 1986 году FIP стала первой европейской компанией, которая разработала интегрированную систему клапанов, фитингов и труб. Результатом стало создание целой серии продуктов для промышленных предприятий. Система FIP из ХПВХ представляет собой одно из наиболее экономичных решений в области термопластичных материалов, способное преодолевать трудности, возникающие в технологических и сервисных линиях, транспортирующих горячие агрессивные жидкости в промышленном секторе, а также в бытовых системах распределения горячей и холодной воды. В настоящее время компания **Aliaxis** предлагает высококачественную продукцию из ХПВХ под промышленным брендом **FIP**. Составы полимеров ХПВХ специально разработаны для промышленного применения и полностью пригодны для использования в системах транспортировки питьевой, деминерализованной воды, воды для СПА, а также в очистных сооружениях.

Система трубопроводов из ХПВХ хорошо подходит для рабочих температур в диапазоне от 0 °С до +95 °С.

Типичные области применения:

- промышленные водоочистные сооружения;
- химическая промышленность;
- обработка поверхностных сточных вод;
- горячее и холодное водоснабжение;
- плавательные бассейны и СПА-центры.



Рис. 4.3. Элементы трубопроводных систем из ХПВХ

Таб. 4.3. ХПВХ. Основные технические данные

Параметр	Значение
Давление номинальное, бар	до 16
Рабочий диапазон температур, °С	0...+95
Диаметры внешние (D <sub>e</sub> ), мм	16...315
Технологии соединения	склеивание, резьбовое соединение, фланцевое соединение
Стандарты и нормативы <sup>*)</sup>	ANSI B16.5, ASTM D1784 (с класса 23447), ASTM F437, ASTM F439, ASTM F441, DIN 2501, DIN 8079–8080, EN 558–1, EN 1092–1, EN 10226–1, EN 10226–2, EN 14728, EN ISO 15493, ISO 228–1, ISO 7005–1, ISO 9624, ISO 5211, JIS B 2220, UNI 11242
Сертифицирующие организации	ABS, ACS, BUREAU VERITAS, DNV-GL, EAC, LR (Регистр Ллойда), KR (Регистр Республики Корея), NSF, TA-Luft, UKR SEPRO, WRAS, RMRS, TP TC, ГОСТ Р

<sup>\*)</sup> В таблице показаны основные стандарты и нормативные документы. Могут быть и другие местные стандарты, которые здесь не перечислены, но которые всё ещё действуют.

Таб. 4.4. ХПВХ. Спектр продукции

Типоразмеры																			
D <sub>e</sub>	16	20	25	32	40	50	63	75	90	110	125	140	160	180	200	225	250	280	315
DN	10	15	20	25	32	40	50	65	80	100	125	125	150	150	200	200	250	250	300
DN (дюймы)	3/8	1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2	3	4	5	5	6	6	8	8	10	10	12
<b>Трубы</b>																			
Наличие	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
<b>Фитинги</b>																			
Под клейку	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
Под адаптер	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓												
<b>Краны, клапаны, затворы и др.</b>																			
Краны 2-ходовые	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓									
Краны 3-ходовые	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓												
Клапаны мембранные		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓									
Клапаны обратные	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Затворы дисковые						✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Фильтры механические		✓	✓	✓	✓	✓	✓												
<b>Фланцы и прокладки</b>																			
Фланцы, прокладки	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			

### 4.3. Системы из АБС SuperFlo под сварку растворителем

Полимер АБС SuperFlo – это созданная под сварку растворителем трубопроводная система, включающая трубы, фитинги и запорную арматуру. Они доступны как в метрических, так и в дюймовых типоразмерах. Полимер АБС SuperFlo обеспечивает работу трубопроводных систем в широком диапазоне температур, даже при температурах до -40 °С, что делает этот материал идеальным решением, когда требуется система трубопроводов для транспортировки жидкостей под давлением при низких температурах. Кроме того, АБС SuperFlo чрезвычайно лёгкий полимер, и с ним намного проще обращаться на месте сборки, чем с традиционными материалами, что позволяет сократить время и стоимость монтажных работ, а также создавать трубопроводные системы, полностью одобренные WRAS.

Системы трубопроводов из АБС SuperFlo хорошо подходят для рабочих температур в диапазоне от -40 °С до +60 °С.

Типичные области применения:

- охлаждённая и питьевая вода;
- еда и напитки;
- низкотемпературное охлаждение;
- деминерализованная вода;
- вакуумные системы;
- работа с поверхностными сточными водами.



Рис. 4.4. Элементы трубопроводных систем из АБС

Таб. 4.5. АБС SuperFlo. Основные технические данные

Параметр	Значение
Давление номинальное, бар (метрический типоряд)	до 10 (16...250 мм), до 8 (250...315 мм)
Давление номинальное (дюймовый типоряд)	Класс E (до 4"), класс D (до 6"), класс C (до 8")
Рабочий диапазон температур, °С	-40...+60
Диаметры внешние (D <sub>e</sub> ), мм (метрический типоряд)	16...315
Диаметры внешние (D <sub>e</sub> ), дюймы (дюймовый типоряд)	1/2...12
Технологии соединения	склеивание, резьбовое соединение, фланцевое соединение
Стандарты и нормативы <sup>*)</sup>	BS EN 1452, ASTM D638, EN ISO 1183-1, ISO 527
Сертифицирующие организации	ABS, BUREAU VERITAS, DNV-GL, FDA, LR (Регистр Ллойда), REG 31, WRAS, TP TC, ГОСТ Р

<sup>\*)</sup> В таблице показаны основные стандарты и нормативные документы. Могут быть и другие местные стандарты, которые здесь не перечислены, но которые всё ещё действуют.

Таб. 4.6. АБС SuperFlo. Спектр продукции

Типоразмеры																		
D <sub>e</sub>	20	25	32	40	50	63	75	90	110	125	140	160	180	200	225	250	280	315
DN	15	20	25	32	40	50	65	80	100	125	125	150	150	200	200	250	250	300
DN (дюймы)	1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2	3	4	5	5	6	6	8	8	10	10	12
<b>Трубы</b>																		
Наличие	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<b>Фитинги</b>																		
Под склейку	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Под адаптер	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓											
Под резьбу	✓	✓	✓	✓	✓	✓												
<b>Краны, клапаны, затворы и др.</b>																		
Краны 2-ходовые	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓									
Краны 3-ходовые	✓	✓	✓	✓	✓	✓												
Клапаны мембранные	✓	✓	✓	✓	✓	✓												
Клапаны обратные	✓	✓	✓	✓	✓	✓												
Клапаны предохранит.	✓	✓	✓	✓	✓	✓												
Затворы дисковые					✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Фильтры механические	✓	✓	✓	✓	✓	✓												
<b>Фланцы и прокладки</b>																		
Фланцы, прокладки	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓



## 4.4. Системы FIP из ПП под сварку



Благодаря своим исключительным химическим и термическим свойствам, системы трубопроводов из полипропилена компании **Aliaxis** обеспечивают отличную производительность при высоких рабочих температурах. Эти системы производятся под брендом **FIP** и включают широкий ассортимент труб, фитингов и клапанов для использования при строительстве технологических и сервисных линий для транспортировки жидкостей под давлением.

Системы трубопроводов из ПП хорошо подходят для рабочих температур в диапазоне от 0 °C до +95 °C.

Типичные области применения:

- промышленные водоочистные сооружения;
- промышленная очистка стоков;
- работа с поверхностными сточными водами;
- химическая промышленность;
- деминерализованная вода;
- СПА-центры.



Рис. 4.5. Элементы трубопроводных систем из ПП

Таб. 4.7. ПП. Основные технические данные

Параметр	Значение
Давление номинальное, бар	до 10
Рабочий диапазон температур, °C	0...+95
Диаметры внешние (D <sub>e</sub> ), мм	16...800
Технологии соединения	электрофузионная сварка, сварка встык, раструбная сварка
Стандарты и нормативы <sup>*)</sup>	ANSI B16.5 cl. 150, ASTM D 4101-06, BS 10, DIN 2501, DIN 8077, DIN 8078, DVS 2202-1, DVS 2207-11, DVS 2208-1, EN 558-1, EN 1092-1, EN 10226-1, EN 10226-2, EN 14728, EN ISO 15494, ISO 228-1, ISO 5211, ISO 7005-1, ISO 9624, JIS B 2220, UNI 11318, UNI 11397
Сертифицирующие организации	DIBt, EAC, RINA, TA-Luft, UKR SEPRO, NIZP, TP TC, ГОСТ Р

<sup>\*)</sup> В таблице показаны основные стандарты и нормативные документы. Могут быть и другие местные стандарты, которые здесь не перечислены, но которые всё ещё действуют.

Таб. 4.8. ПП. Спектр продукции

Типоразмеры													
D <sub>e</sub>	16	20	25	32	40	50	63	75	90	110	125	140	160
DN	10	15	20	25	32	40	50	65	80	100	125	125	150
<b>Трубы</b>													
Наличие			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<b>Фитинги</b>													
Раструбные		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
Фитинги-адаптеры		✓	✓	✓	✓	✓	✓						
Под сварку встык		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Электросварные		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<b>Краны, клапаны, затворы и др.</b>													
Краны 2-ходовые	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
Краны 3-ходовые		✓	✓	✓	✓	✓	✓						
Клапаны мембранные	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
Клапаны обратные		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Затворы дисковые					✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Фильтры механические		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
<b>Фланцы и прокладки</b>													
Фланцы, прокладки			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓



<b>Типоразмеры</b>														
D <sub>e</sub>	180	200	225	250	280	315	355	400	450	500	560	630	710	800
DN	150	200	200	250	250	300	350	400	500	500	600	600	700	800
<b>Трубы</b>														
Наличие	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<b>Фитинги</b>														
Раструбные														
Фитинги-адаптеры														
Под сварку встык	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Электрофузионные	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
<b>Краны, клапаны, затворы и др.</b>														
Краны 2-ходовые														
Краны 3-ходовые														
Клапаны мембранные														
Клапаны обратные	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓					
Затворы дисковые	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓					
Фильтры механические														
<b>Фланцы и прокладки</b>														
Фланцы, прокладки	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

## 4.5. Системы из ПЭ под сварку



Системы трубопроводов **Aliaxis** из полиэтилена десятилетиями используется там, где требуются соответствие высоким стандартам долговечности и надёжности. Эти стандарты соблюдаются благодаря сочетанию превосходных свойств полиэтилена и опыта в производстве литья под давлением и экструдирования. Полиэтиленовые системы трубопроводов включают высококачественные фитинги с патрубками **FIP**, фланцы и адаптеры, а также широчайший ассортимент муфт, фасонных изделий и вспомогательного оборудования для электрофузионной сварки труб из ПЭ производства компании **Friatec** (под торговой маркой **Frialen**). Эти системы идеально подходят для применения во всех областях промышленного машиностроения, в системах очистки и транспортировки промышленной и бытовой воды, сточных вод, в плавательных бассейнах с пресной и морской водой.

Система трубопроводов из ПЭ хорошо подходит для рабочих температур в диапазоне от  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Типичные области применения:

- коммунальные и промышленные водоочистные сооружения;
- технологическая и охлаждающая вода;
- химическая промышленность;
- бассейны;
- очистные сооружения;
- водоснабжение и газораспределение.



Рис. 4.6. Элементы трубопроводных систем из ПЭ

Таб. 4.9. ПЭ. Основные технические данные

Параметр	Значение
Давление номинальное, бар	до 16
Рабочий диапазон температур, $^{\circ}\text{C}$	$-40...+60$
Диаметры внешние ( $D_e$ ), мм	20...>800
Технологии соединения	сварка встык, электрофузионная сварка
Стандарты и нормативы <sup>*)</sup>	DIN 2501, DVS 2202-1, DVS 2207-1, DVS 2208-1, EN 1092-1, EN 1555, EN 13244, EN ISO 15494, ISO 7005-1, ISO 9624, ISO 27, ISO 4437, ISO 21307, UNI 10520
Сертифицирующие организации	DVGW, RINA, KIWA, KTW, TP TC, ГОСТ Р

<sup>\*)</sup> В таблице показаны основные стандарты и нормативные документы. Могут быть и другие местные стандарты, которые здесь не перечислены, но которые всё ещё действуют.

Таб. 4.10. ПЭ. Спектр продукции

Типоразмеры													
$D_e$	20	25	32	40	50	63	75	90	110	125...315	355...630	710...800	>800
DN	15	20	25	32	40	50	65	80	100	125...300	350...600	700...800	>800
Трубы													
Наличие		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Фитинги													
Под сварку встык, короткие	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Под сварку встык, длинные	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Электрофузионные фитинги <b>Friafit</b> <sup>®</sup>									✓	✓	✓	✓	✓
Электрофузионные фитинги <b>Frialen</b> <sup>®</sup>	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Уголок 90° бесшовный					✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
Воздуховоды настенные								✓	✓	✓	✓	✓	✓
Краны, клапаны, затворы и др.: доступны из НПВХ, ХПВХ, ПП, ПВДФ с выходами из ПЭ													
Фланцы и прокладки													
Фланцы, прокладки	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓



## 4.6. Системы из ПВХДФ под сварку

Системы трубопроводов **FIP** из ПВХДФ являются лучшей альтернативой аналогичным системам из металлов благодаря своей высокой чистоте и исключительным химическим и механическим характеристикам в широком диапазоне температур. Эти системы широко используются в химической, нефтяной, фармацевтической, целлюлозно-бумажной, электронной промышленности.

Системы **FIP** из ПВХДФ хорошо подходят для рабочих температур в диапазоне от  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+140\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Типичные области применения:

- химическая промышленность;
- работа с поверхностными сточными водами;
- микроэлектроника;
- нефтегазовая промышленность;
- фармацевтика;
- целлюлозно-бумажная промышленность.



Рис. 4.7. Элементы трубопроводных систем из ПВХДФ

Таб. 4.11. ПВХДФ. Основные технические данные

Параметр	Значение
Давление номинальное, бар	до 16
Рабочий диапазон температур, $^{\circ}\text{C}$	$-40...+140$
Диаметры внешние ( $D_e$ ), мм	16...400
Технологии соединения	сварка встык, раструбная сварка
Стандарты и нормативы <sup>*)</sup>	ANSI B16.5, ASTM D3222, DIN 2501, DVS 2202-1, DVS 2207-15, DVS 2208-1, EN 558-1, EN 1092-1, EN ISO 10931, EN 14728, ISO 5211, ISO 7005-1, ISO 9624
Сертифицирующие организации	DIBt, DVGW KTW, W270, EAC, FDA, NSF, TA-Luft, UKR SEPRO, WRAS, TP TC, ГОСТ Р

<sup>\*)</sup> В таблице показаны основные стандарты и нормативные документы. Могут быть и другие местные стандарты, которые здесь не перечислены, но которые всё ещё действуют.

Таб. 4.12. ПВХДФ. Спектр продукции

Типоразмеры																					
$D_e$	16	20	25	32	40	50	63	75	90	110	125	140	160	180	200	225	250	280	315	355	400
DN	10	15	20	25	32	40	50	65	80	100	125	125	150	150	200	200	250	250	300	350	400
DN (дюймы)	3/8	1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2	3	4	5	5	6	6	8	8	10	10	12	14	16
<b>Трубы</b>																					
Наличие	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓											
<b>Фитинги</b>																					
Под склейку встык	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
Раструбные	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓											
Адаптеры		✓	✓	✓	✓	✓	✓														
<b>Краны, клапаны, затворы и др.</b>																					
Краны 2-ходовые	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓											
Клапаны мембранн.	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓											
Клапаны обратные		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Затворы дисковые						✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<b>Фланцы и прокладки</b>																					
Фланцы, прокладки	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

## 4.7. Трубы с двойной защитной оболочкой

Системы трубопроводов с двойной защитной оболочкой (коаксиальные) являются идеальными решениями там, где требуется повышенная безопасность. Например, транспортировка агрессивных, опасных или токсичных сред всегда представляет огромный фактор риска для человека и окружающей среды. В этих областях применение систем трубопроводов с двойной защитной оболочкой представляется практически обязательным. Система двойной герметизации состоит из двух труб, одна меньшего диаметра внутри другой большего диаметра: жидкость проходит по внутренней трубе, внешняя труба обеспечивает дополнительную защиту в случае повреждения внутренней трубы. Есть различные подходы, используемые для обнаружения таких ситуаций, например, система мониторинга обычно применяется пользователями для предупреждения операторов о произошедшей утечке.

Эти решения могут быть использованы в различных областях промышленности: главным образом для транспортировки агрессивных химических веществ и перекачки сточных вод. В зависимости от назначения внутренняя и наружная трубы могут быть изготовлены из одного и того же полимера или из комбинации различных материалов.

Компания **Aliaxis** предлагает широкий выбор коаксиальных труб с двойной оболочкой из ПВХ, ПП и ПЭ для многих целей: дренаж в химических лабораториях, транспортировка жидких жиров, перекачка питьевой воды в неблагоприятных условиях. Все эти системы специально разработаны так, чтобы идеально соответствовать конкретным потребностям при минимальных затратах на монтаж и эксплуатацию. Для получения дополнительной информации просьба связаться с торговым представительством **Aliaxis**.

Типичные области применения:

- очистка питьевой воды и сточных вод;
- транспортировка опасных жидкостей;
- защита окружающей среды;
- защита жилых помещений;
- дренажные системы;
- удаление химических отходов в лабораториях.

Таб. 4.13. Коаксиальные трубы. Основные технические данные

Параметр	Значение
Давление номинальное	дренажные безнапорные системы – напорные системы до 16 бар
Рабочий диапазон температур, °C	-40...+140
Диаметры внутренней трубы, мм	до 800
Технологии соединения	сварка встык, раструбная сварка, электрофузионная сварка

### 1. Наружная труба

Система с двойными стенками для защиты окружающей среды от утечки жидкости или для защиты жидкости от внешних воздействий.

### 2. Внутренняя труба

Служит для транспортировки жидкости. Устойчива к давлению.

### 3. Межтрубное пространство

Пространство между трубами должно предотвращать утечку жидкости или быть оборудовано изоляцией, датчиком утечки и/или нагревательными кабелями.

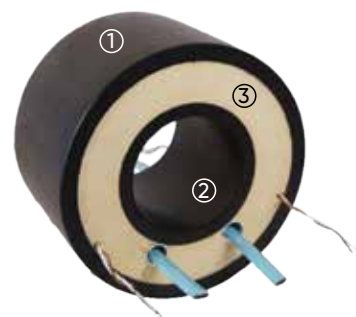


Рис. 4.8. Трубы с двойной защитной оболочкой

## 4.8. Транспортировка сжатого воздуха и газов

Сжатый воздух является одним из основных источников промышленной энергии. Он всё чаще используется как в обрабатывающей, так и в перерабатывающей промышленности. Там в полной мере используются его явные преимущества в чистоте, гибкости, безопасности и экономичности использования по сравнению с другими источниками энергии. Стоимость сети сжатого воздуха в основном зависит от её энергопотребления. Каждая утечка в системе создаёт дополнительную нагрузку на счёт за электроэнергию. Поэтому для дополнительной безопасности и уверенности владельцы установки должны выбрать такую систему подачи и распределения сжатого воздуха, которая способна противостоять агрессивному окружению.

Компания **Aliaxis** предлагает два решения для распределения сжатого воздуха:

- **GIRAIR®** из НПВХ;
- воздушные магистрали **Xtra** из АБС.

Типичные области применения:

- распределение сжатого воздуха;
- распределение не агрессивных негорючих газов;
- централизованные воздушные сети;
- продукты питания и напитки – доставка CO<sub>2</sub>;
- вентиляция;
- питание пневмоклапанов;
- распределение технического воздуха;
- обслуживание пневматического оборудования.



Рис. 4.9. Системы для сжатого воздуха Girair и Xtra

Таб. 4.14. Транспортировка сжатого воздуха и газов. Основные технические данные

Параметр	Значение
Давление номинальное, бар	до 12,5
Рабочий диапазон температур, °С	-20...+50
Диаметры трубы, мм	16...110
Технологии соединения	склеивание, резьбовое соединение
Стандарты и нормативы <sup>*)</sup>	BS 4800, BS 1710, DIN 8062-8063, ISO 11359, EN ISO 1183-1, EN SO13846, EN 13501-1, NF EN 921, NF EN 1452, NF T54-038
Сертифицирующие организации	BSI, Bureau Veritas, DNV, LNE fire certificate, National Accreditation of Certification Bodies, TP TC, ГОСТ Р

<sup>\*)</sup> В таблице показаны основные стандарты и нормативные документы. Могут быть и другие местные стандарты, которые здесь не перечислены, но которые всё ещё действуют.

Таб. 4.15. Транспортировка сжатого воздуха и газов. Спектр продукции

Типоразмеры										
D <sub>e</sub>	16	20	25	32	40	50	63	75	90	110
DN	10	15	20	25	32	40	50	65	80	100
DN (дюймы)	3/8	1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2	3	4
<b>Трубы</b>										
Наличие	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<b>Фитинги</b>										
Под склейку	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Резьбовые	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
Фитинги-адаптеры	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
<b>Клапаны</b>										
Наличие	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<b>Фланцы и прокладки</b>										
Фланцы, прокладки				✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

## 4.9. Системы PLX для перекачки топлива



**PLX** – это высокопроизводительная многослойная система из композитного полиэтилена, поставляемая в виде однослойных и многослойных труб, используемых при работе с топливом: на розничных, коммерческих и промышленных заправочных станциях. Сплавленные вместе для обеспечения максимальной целостности соединения, многослойные оболочки **PLX** представляют собой специализированный ассортимент труб и фитингов, разработанных для безопасной перекачки жидкостей на основе топлива и их паров в напорных системах или в вакууме. Система **PLX** прекрасно подходит для работы с этилированным и неэтилированным бензином, альтернативными видами топлива, топливом, богатым этанолом (E85), дизельным и биодизельным горючим, мазутом.



Рис. 4.10. Системы PLX для перекачки топлива

**PLX** – это многослойная система труб из композитного полиэтилена, которая обеспечивает дополнительный внутренний барьер. Она доступна как в однослойном, так и в многослойном исполнении и специально разработана для обеспечения максимальной защиты окружающей среды от проникновения в неё перекачиваемой продукции. **PLX** полностью соответствует требованиям британского Energy Institute и соответствует нормам EN 14125.

Разрабатываемая в течение 25 лет, система **PLX** предлагает широкий спектр опций, каждая из которых предназначена для конкретных применений при транспортировке топлива и его паров.

Типичные области применения:

- АЗС;
- заправка коммерческого и общественного транспорта;
- топливное оборудование;
- аварийное электроснабжение больницы, центров обработки данных, тюрем, банков;
- морская промышленность.

Таб. 4.16. Системы PLX для перекачки топлива. Основные технические данные

Параметр	Значение
Давление номинальное, бар	до 10
Рабочий диапазон температур, °C	-20...+50
Диаметры трубы, мм	32...400
Технологии соединения	электрофузионная сварка
Стандарты и нормативы <sup>1)</sup>	DIN 8074, EN 14125, ISO 9001, NFPA
Сертифицирующие организации	ATEX, BS, UL971v1, WRAS

<sup>1)</sup> В таблице показаны основные стандарты и нормативные документы. Могут быть и другие местные стандарты, которые здесь не перечислены, но которые всё ещё действуют.

Таб. 4.17. Системы PLX для перекачки топлива. Спектр продукции

Типоразмеры																		
D <sub>e</sub>	32	40	50	63	75	90	110	125	140	160	180	200	225	250	280	315	355	400
DN	25	32	40	50	65	80	100	125	125	150	150	200	200	250	250	300	350	400
DN (дюймы)	1	1¼	1½	2	2½	3	4	5	5	6	6	8	8	10	10	12	14	16
Трубы																		
Одностенные	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
Двухслойные беззазорные	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓										
Двухслойные «труба в трубе»										✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
С электростатической защитой				✓	✓	✓	✓	✓										
Трубы для реагентов AdBlue	✓	✓	✓	✓														
Трубы с электрокабелем обогрева	✓																	



## 4.10. Дренажные системы Vulcathene

**Vulcathene** – это специально разработанная и спроектированная дренажная система для лабораторий, которая была признана в качестве безопасного решения для транспортировки химических отходов из лабораторий школ, университетов, больницы, исследовательских учреждений и промышленных предприятий по всему миру вот уже более 65 лет.

**Vulcathene** – это единственная система для организации дренажа в лабораториях, одобренная **BBA** (British Board of Agreement). **Vulcathene** предлагает широчайший ассортимент оборудования, включая раковины, стаканы для капель и антисифонные клапаны и ловушки, позволяющие спроектировать полную лабораторную систему дренажа химической лаборатории. Выбор из двух простых методов монтажа системы (механическая для разъёмных соединений, электрофузионная для сварных соединений), обеспечивает гибкость конструкции, эффективность сборки и простоту расширения и обслуживания системы.



Рис. 4.11. Дренажные системы Vulcathene

**Решения Vulcathene используются там, где требуется транспортировать химические отходы.**

Типичные области применения:

- школьные лаборатории;
- лаборатории в университетах и колледжах;
- больницы и поликлиники;
- фармацевтические компании;
- исследовательские организации и лаборатории.

Таб. 4.18. Дренажные системы **Vulcathene**. Основные технические данные

Параметр	Значение
Рабочий диапазон температур, °С	-20...+100 (при +100 °С только прерывистый поток)
Диаметры трубы, мм	38...152
Стандарты и нормативы	BS1710
Сертифицирующие организации	BBA

Таб. 4.19. Дренажные системы **Vulcathene**. Спектр продукции

Типоразмеры					
D <sub>e</sub>	48,3	60,3	89,0	114,3	168,3
DN	38	51	76	102	152
DN (дюймы)	1½	2	3	4	6
Трубы					
Наличие	✓	✓	✓	✓	✓
Фитинги					
Под фитинги соединительные	✓	✓	✓	✓	✓
Под муфты электрофузионные	✓	✓	✓	✓	✓

## 4.11. Муфты соединительные Straub



Быстрое, простое и надёжное механическое соединение **Straub** является альтернативой сварным или фланцевым соединениям. Муфта **Straub** произвела революцию в технологии соединения труб, поскольку представляет собой универсальное устройство для лёгкого и быстрого соединения труб.

Муфты **Straub** выпускаются различных типоразмеров и различных разновидностей. Наиболее подходящее соединение может быть выбрано в зависимости от области применения.

Типичные области применения:

- системы водоснабжения и водоотведения;
- гидроэнергетика;
- промышленность;
- судостроение и работы на шельфе.



Рис. 4.12. Муфты соединительные Straub

Таб. 4.20. Муфты соединительные **Straub**. Основные технические данные

Параметр	Значение
Давление номинальное, бар	до 16 («морское применение» в судостроении)
Рабочий диапазон температур, °C	-20...+100
Диаметры рабочие, мм	21...4064
Стандарты и нормативы <sup>*)</sup>	DIN 8074, EN 1254-3, ISO 19921, ISO 19922
Сертифицирующие организации	ABS, BUREAU VERITAS, DNV-GL, LR (Регистр Ллойда), KR (Регистр Республики Корея), NSF, VdS, WRc, PMPC, PPP

<sup>\*)</sup> В таблице показаны основные стандарты и нормативные документы. Могут быть и другие местные стандарты, которые здесь не перечислены, но которые всё ещё действуют.

Таб. 4.21. Муфты соединительные **Straub**. Спектр продукции

Типоразмеры														
D <sub>e</sub>	21,3	30,0	38,0	40,0	48,3	63,0	168,3	180,0	219,0	355,0	609,6	711,2	2032,0	4064,0
<b>Для жёстких соединений</b>														
<b>Metal-Grip</b> для металлических и жёстких полимерных труб		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
<b>Grip</b> для металлических и жёстких полимерных труб	✓	✓	✓	✓	✓	✓								
<b>Grip-L</b> для металлических и жёстких полимерных труб								✓	✓	✓	✓	✓		
<b>Combi-Grip</b> для соединения металлических и полимерных труб			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				
<b>Plast-Grip</b> для соединения полимерных труб				✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				
<b>Plast-Pro</b> для соединения полимерных труб						✓	✓	✓	✓	✓				
<b>Для подвижных эластичных соединений</b>														
<b>Flex</b> для соединения труб из одинакового или различных материалов					✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
<b>Open-Flex</b> для ремонтных работ без удаления существующих труб					✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<b>Step-Flex</b> для соединения труб разного диаметра									✓	✓	✓	✓	✓	



## 4.12. Бессиликоновые системы FIP

Силикон присутствует в большом количестве широко используемых промышленных продуктов, в том числе в маслах и смазочных материалах. Продукты на основе силикона относительно химически инертны: это означает, что в случае необходимости приходится предпринимать особые меры для того, чтобы силикон из запорной арматуры и КИП не загрязнял те изделия, где присутствие даже его следов недопустимо. Соответствующие отрасли промышленности – это те, где выполняется обработка поверхности или другие операции, включая использование чернил или красок. В первую очередь речь идёт об автомобилестроении.



Рис. 4.13. Бессиликоновые системы FIP

Особое внимание уделяется производственным площадкам, где сборка продукции выполняется только из компонентов, гарантированно не содержащих следов силикона. В компании **Aliaxis** таковыми являются чистые помещения, классифицированные по ISO 5 (класс чистоты 100) и по ISO 14644-1. Здесь изготавливаются ручные клапаны **FIP**, расходомеры. Здесь также может изготавливаться без применения силикона и весь ассортимент фитингов из полимеров диаметром до 160 мм. Весь ассортимент шаровых кранов для промышленного применения также может быть представлен без силикона и смазочных материалов, так как клапаны собираются без какой-либо смазки.

Типичные области применения:

- автомобилестроение;
- обработка металлических поверхностей;
- фармацевтика;
- еда и напитки;
- бытовая техника.

Таб. 4.22. Бессиликоновые системы FIP. Основные технические данные

Параметр	Значение
Давление номинальное, бар	до 16
Диаметры рабочие, мм	16...160
Стандарты и нормативы	ISO 14644-1

Таб. 4.23. Бессиликоновые системы FIP. Спектр продукции

Типоразмеры													
D <sub>e</sub>	16	20	25	32	40	50	63	75	90	110	125	140	160
DN	10	15	20	25	32	40	50	65	80	100	125	125	150
DN (дюймы)	3/8	1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2	3	4	5	5	6
Трубы													
Наличие	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Фитинги													
Под склейку	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Раструбные	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Под склейку встык	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Резьбовые	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Адаптеры	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Краны, клапаны, затворы и др.													
Краны 2-ходовые	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
Краны 3-ходовые	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓						
Клапаны мембранные		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓					
Клапаны обратные		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
Затворы дисковые						✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Фланцы и прокладки													
Фланцы, прокладки	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

### 4.13. КИП FLS (FIP)

Компания **Aliaxis** предлагает полный ассортимент контрольно-измерительной аппаратуры под брендом **FLS**, предназначенный для сбора точных и надёжных данных, необходимых для поддержания бесперебойной работы, систем, позволяя осуществлять оперативное управление технологическими процессами и прогнозируемое техническое обслуживание. КИП **FLS** используются для широкого спектра процессов и применений, связанных с измерением расхода, pH, проводимости и окислительно-восстановительного потенциала.

Аппаратура **FLS** обладает целым рядом преимуществ: гибкостью установки, простотой ввода в эксплуатацию и технического обслуживания. Она используется там, где требуется измерение расхода или характеристик жидкости.

Типичные области применения:

- системы очистки воды;
- очистка и рекуперация промышленных сточных вод;
- плавательные бассейны и СПА-центры;
- химическая промышленность;
- обработка поверхностей;
- горнодобывающая промышленность и гидрометаллургия;
- орошение и фертигация;
- обнаружение утечек.

В следующих таблицах описаны основные технические характеристики приборов для измерения расхода, pH, окислительно-восстановительного потенциала и проводимости: это может помочь в быстром обзоре устройств, входящих в линейку **FLS**.

Для каждого типа выполняемых измерений в таблице перечислены наиболее подходящие приборы, диапазон измерений прибора и соответствующий диапазон условных диаметров (DN).

Таб. 4.24. КИП FLS. Основные технические данные

Измеряемый параметр	Приборы измерительные	Диапазон измерений		DN, мм
		Минимум	Максимум	
Расход	Расходомеры	1,5 л/ч	18×10 <sup>6</sup> л/ч <sup>*)</sup>	10...900
	Ротаметры	1,5 л/ч	50 000 л/ч	10...65
pH	pH-метры	0	14	все
Редокс-потенциал	Датчики ОВП	-2000 мВ	+2000 мВ	все
Электропроводность	Датчики электропроводности	0,055 мкСм/см	1,0 См/см <sup>**)</sup>	все
Давление и уровень	Датчики давления и уровнемеры	0 бар	25 бар <sup>***)</sup>	все

\*) Для более высоких расходов предлагаются специальные решения.

\*\*) Для более высоких значений удельной электропроводности (до 2 См/см) предлагаются специальные решения.

\*\*\*) Для более высоких давлений (до 100 бар) предлагаются специальные решения.



Рис. 4.14. КИП FLS (FIP)



Рис. 4.15. Ротаметры FLS (FIP)

Таб. 4.25. КИП FLS. Материал деталей, контактирующих со средой

Материал деталей, контактирующих со средой	Детали измерительных приборов, контактирующих со средой							
	Ротамер	Лопастное колесо датчика потока	Магнитно- индуктивный датчик	Датчик сверхнизкого расхода	Шестерни расходомера овальные	Датчики рН и ОВП	Ячейка кондуктометра	Датчики давления и уровня
НПВХ	✓							
ХПВХ	✓	✓				✓	✓	
АБС		✓						
ПП					✓			
ПВДФ	✓	✓	✓					✓
ПЭК			✓					
Смола эпоксидная						✓	✓	
Полиацеталь				✓				
Полиамид (трогамид)	✓							
Полисульфон	✓							
Ритон						✓		
Стекло						✓		
Графит							✓	
Платина						✓	✓	
Сталь нержавеющая AISI 316		✓	✓		✓		✓	
Сталь нержавеющая AISI 304			✓					
Фторопласт-30 (ECTFE)		✓		✓	✓			
ЭПДМ		✓	✓					✓
ФПМ		✓	✓	✓	✓			✓
ФФКМ				✓				

Информация, содержащаяся в данном Справочнике, предоставлена добросовестно. Компания **Aliaxis** не несёт никакой ответственности в отношении технических данных, которые непосредственно не подпадают под действие признанных международных Стандартов. Компания **Aliaxis** оставляет за собой право вносить любые изменения. Продукция Компании должна устанавливаться и обслуживаться квалифицированным персоналом.



