Система региональных документов регулирования градостроительной деятельности в Санкт-Петербурге

Региональные методические документы

УСТРОЙСТВО СЕТЕЙ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ

РМД 40-20-2013 Санкт-Петербург

ИЗДАНИЕ ОФИЦИАЛЬНОЕ

Правительство Санкт-Петербурга
Санкт-Петербург
2013

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 **Разработан** Санкт-Петербургским государственным политехническим университетом

2 **Внесен** Отделом мониторинга и стандартизации Управления перспективного развития Комитета по строительству Санкт-Петербурга

3 **Согласован** с Комитетом по энергетике и инженерному обеспечению Санкт-Петербурга, Службой государственного строительного надзора и экспертизы Санкт-Петербурга, ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга», ГУП «ЛЕНГИПРОИНЖПРОЕКТ», ОАО «Проектный институт № 1», ОАО «ЛенЖилНИИпроект», ОАО «ЛенНИИпроект»

4 **Одобрен и рекомендован к применению** в строительстве на территории Санкт-Петербурга распоряжением Комитета по строительству Санкт-Петербурга от 25.10.2013 № 87.

5 **Подготовлен к изданию** Санкт-Петербургским государственным политехническим университетом

6 **Разработан впервые**

Настоящий документ не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Правительства Санкт-Петербурга

© *Правительство Санкт-Петербурга, 2013*

Содержание

Введение V
1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 1
3 Обозначения и сокращения 1
4 Общие положения 1
4.1 Геологические и гидрологические условия территории Санкт-Петербурга 1
4.2 Сети водоснабжения и водоотведения Санкт-Петербурга 2
5 Требования к проектированию сетей водоснабжения и водоотведения 4
5.1 Основные требования к проектной и рабочей документации 4
5.1.1 Проектная документация на строительство 4
5.1.2 Проектная документация на реконструкцию 5
5.1.3 Рабочая документация 5
5.2 Особенности проектирования сетей водоснабжения и водоотведения с применением PE 100-RC труб 5
5.3 Особенности проектирования сетей водоснабжения и водоотведения с применением ВЧШГ труб 6
5.4 Особенности проектирования сетей водоснабжения с применением стальных электросварных прямошовных труб 7
5.5 Особенности проектирования сетей водоотведения с применением PE и PP труб с гофрированной внешней поверхностью 8
5.6 Особенности проектирования сетей водоотведения с применением стеклопластиковых труб 9
6 Требования к строительству сетей водоснабжения и водоотведения 9
6.1 Способы прокладки трубопроводов 9
6.1.1 Траншейная прокладка 9
6.1.2 Бестраншейная прокладка 11
6.1.3 Санация сетей 11
6.2 Сети из PE 100-RC труб 12
6.3 Сети из ВЧШГ труб 13
6.4 Сети из стальных электросварных прямошовных труб 13
6.5 Сети из PE и PP труб с гофрированной внешней поверхностью 14
6.6 Сети из стеклопластиковых труб 14
7 Контроль строительства сетей водоснабжения и водоотведения 15
7.1 Основные требования по контролю строительства 15
7.2 Полномочия подрядчика по контролю строительства 15
7.3 Полномочия технического заказчика по контролю строительства 16
7.3.1 Контроль качества сетей водоснабжения и водоотведения из PE 100-RC труб 16
7.3.2 Контроль качества сетей водоснабжения и водоотведения из ВЧШГ труб 16
7.3.3 Контроль качества сетей водоснабжения из стальных электросварных прямошовных труб 16
7.3.4 Контроль качества сетей водоотведения из PE и PP труб с гофрированной внешней поверхностью 16
7.3.5 Контроль качества сетей водоотведения из стеклопластиковых труб 17
Приложение А (справочное) Нормативные ссылки 18
Приложение Б (рекомендуемое) Испытательная лаборатория, осуществляющая работы в области подтверждения качества труб и фасонных изделий для сетей водоснабжения и водоотведения 21

Приложение В (рекомендуемое) Технические требования к контролю качества сварных соединений РЕ труб 24

Приложение Г (рекомендуемое) Расчет на прочность трубопровода из РЕ 100-RC при подземной прокладке 32

Приложение Д (рекомендуемое) Расчет на прочность трубопровода из ВЧШГ при подземной прокладке 35

Приложение Е (рекомендуемое) Расчет на прочность трубопроводов из РЕ и РР с гофрированной внешней поверхностью при подземной прокладке 40

Приложение Ж (рекомендуемое) Расчет на прочность трубопровода из стеклопластика при подземной прокладке 68

Библиография 71

Введение

Строительство и реконструкция сетей водоснабжения и водоотведения Санкт-Петербурга осуществляются в соответствии с Рекомендациями совместного совещания Комитета по промышленной политике Совета Федерации, Комитета по науке, образованию, здравоохранению и экологии Совета Федерации, Комитета по экологии Государственной Думы на тему: «О законодательном обеспечении экологической безопасности трубопроводных систем питьевого водоснабжения» от 08.10.2007 [1], Решениями Федерального собрания Российской Федерации Государственной думы «О проблемах обеспечения экологической безопасности сетей водоснабжения» от 22.02.2006 № 70-1 [2] и «Об экологической безопасности трубопроводных систем питьевого водоснабжения» от 15.11.2007 № 125-5 [3].

Региональный методический документ «Устройство сетей водоснабжения и водоотведения в Санкт-Петербурге» разработан согласно решению научно-технического совета ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга», проведенного 06.02.2013 (см. протокол от 06.02.2013 № 05-06-8/13).

Документ соответствует действующим федеральным нормам и законам Российской Федерации, а также территориальным нормам и законам Санкт-Петербурга.

В документе реализованы положения следующих Федеральных законов Российской Федерации:

- «О пожарной безопасности» [4];
- «Градостроительный кодекс Российской Федерации» [5];
- «Об охране окружающей среды» [6];
- «О техническом регулировании» [7];
- «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» [8];
- «О теплоснабжении» [9];
- «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [10];
- «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» [11];
- «О водоснабжении и водоотведении» [12];
- Федеральная целевая программа «Чистая вода» на 2011-2017 годы, утвержденная Постановлением Правительства РФ [13];
- «Технический регламент о безопасности машин и оборудования», утвержденный Постановлением Правительства РФ [14].

Документ содержит положения, направленные на достижение целей технического регулирования, положения, отсутствующие в действующих федеральных нормативах для применения в Санкт-Петербурге, учитывающие природно-климатические, социальные особенности и экономические возможности города как субъекта Российской Федерации, а также положения по качеству городского водоснабжения и водоотведения для обеспечения срока службы сетей водоснабжения и водоотведения 50 лет и более (в течение 100 лет).

Положения настоящего документа могут быть использованы для разработки стандартов саморегулируемых организаций.

Документ разработан Санкт-Петербургским государственным политехническим университетом (ответственный исполнитель Н.И. Ватин, при участии: А.И. Рудского, Д.Ю. Райчука, А.А. Поповича, В.З. Величкина, В.Н. Старкова).

РЕГИОНАЛЬНЫЙ МЕТОДИЧЕСКИЙ ДОКУМЕНТ

УСТРОЙСТВО СЕТЕЙ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ

DESIGNING AND INSTALLATION PIPELINES FOR WATER SUPPLY AND SEWAGE SYSTEMS IN SAINT-PETERSBURG

1 Область применения

В настоящем документе содержатся методические указания для технических заказчиков, проектных и строительных организаций по устройству новых и реконструкции существующих сетей водоснабжения и водоотведения на территории Санкт-Петербурга от выходных запорных задвижек водопроводных станций города до водомерных узлов учета, зданий и сооружений, а также от контрольных колодцев до приемных камер очистных сооружений города, за исключением объектов, указанных в статье 48.1 Градостроительного кодекса РФ [5].

Положения настоящего документа распространяются на сети холодного водоснабжения и водоотведения города Санкт-Петербурга со всеми сопутствующими сооружениями.

Выполнение положений настоящего документа обеспечивает высокий уровень качества работ и материалов при устройстве сетей водоснабжения и водоотведения, а также требуемый срок службы сетей в условиях частой смены лиц в системе: «Собственник – Заказчик – Подрядчик – Производитель».

2 Нормативные ссылки

В настоящем документе использованы нормативные ссылки на стандарты и правила, перечень которых приведен в приложении А.

3 Обозначения и сокращения

ВЧШГ – высокопрочный чугун с шаровидным графитом.

PE 100-RC – polyethylene PE 100 with resistance to stress cracking, полиэтилен ПЭ 100, стойкий к распространению трещин напряжения.

PE 100-RC трубы:

тип 2 – двухслойные трубы с размерно интегрированным светостабилизированным цветовым (маркерным) внешним защитным слоем из PE 100-RC, имеющие внутренний соэкструдированный слой из PE 100-RC;

тип 3 – трубы с внешней светостабилизированной цветовой (маркерной) защитной оболочкой, состоящие из внутренней несущей трубы из PE 100-RC и защитной оболочки из PP.

PE – polyethylene, полиэтилен (ПЭ), термопластичный полимер этилена

PP – polypropylene, полипропилен (ПП), термопластичный полимер пропилена.

GRE – glassfiber reinforced epoxy, стеклопластик на эпоксидном связующем.

GRP – glassfiber reinforced plastics, стеклопластик на винилполиэфирном связующем.

4 Общие положения

4.1 Геологические и гидрологические условия территории Санкт-Петербурга

Санкт-Петербург расположен в районе II В согласно СНиП 23-01 и Справочному пособию к СНиП 23-01. Климат – переходный от морского к континентальному, характеризуется высокой влажностью и частыми переходами температуры воздуха через 0 °С в холодный период года.

Геологические и гидрологические условия территории Санкт-Петербурга являются сложными и неблагоприятными для строительства вследствие плоского рельефа, затрудненных условий стока поверхностных вод, наличия неоднородной толщи слабых грунтов, высокого уровня подземных вод, опасного для зданий и сооружений развития геодинамических и техногенных процессов и явлений.

Геодинамические процессы, связанные с воздействием поверхностных и подземных вод, вызывающих заболачивание, механическую суффозию грунта, плывунные явления, развитие карстовых пустот, воронок и провалов, а также процессы, связанные с промерзанием и оттаиванием грунтов (морозное пучение, просадка при оттаивании) оказывают значительное влияние на

условия строительства и эксплуатации зданий и сооружений.

В районах старой застройки участки, сложенные торфом, погребены под слоями намытых и насыпных грунтов различного состава.

Болотные (биогенные) отложения (торф, заторфованные грунты и грунты с примесью растительных остатков) залегают в форме поверхностных слоев и линз, мощность которых в среднем составляет 1-3 м.

Гидрогеологические условия территории Санкт-Петербурга чрезвычайно сложны. В ее пределах распространены верховодка, грунтовые воды, межпластовые подземные воды, на юге и западе, в пригородной зоне также трещинные и карстовые воды.

Грунтовые воды содержатся в слоях техногенных грунтов, озерно-морских и озерно-ледниковых отложений. Верховодка образуется преимущественно в слоях техногенных грунтов, она в некоторых случаях агрессивна по отношению к бетону. Уровень грунтовых вод круглый год высокий (обычно не ниже 2 м от дневной поверхности), во влажные сезоны года он достигает поверхности грунта. Сезонные колебания уровня грунтовых вод, как правило, незначительны (в пределах 1-2 м). Химический состав грунтовых вод изменчив, он зависит от сезона года (обильности атмосферных осадков), состава промстоков, наличия свалок и отвалов грунта и технологических отходов.

При проектировании и строительстве необходимо обязательно учитывать все выше обозначенные факторы сложных геологических и гидрологических условий.

При обнаружении во время проведения геологических и геодезических изысканий на территории, предназначенной для прокладки сетей водоснабжения и водоотведения (в том числе строительных конструкций), просадочных, заторфованных супесей, насыпных (техногенного характера), слабых водонасыщенных грунтов необходимо учитывать требования 11.30 и 11.51 СП 31.13330, требования 6.7.3 СП 32.13330 и положения 7.8 СП 34.13330. Нормативные временные нагрузки от подвижных транспортных средств следует принимать по ГОСТ Р 52748.

4.2 Сети водоснабжения и водоотведения Санкт-Петербурга

По данным ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» на 2013 г. в систему централизованного водоснабжения Санкт-Петербурга входят 6775 км водопроводных сетей, 200 повысительных насосных станций, 9 водопроводных станций, 2 завода по производству гипохлорита натрия.

По данным на 2013 г. в систему централизованного водоотведения Санкт-Петербурга входят 8119 км канализационных сетей, 241 км тоннельных коллекторов, 138 канализационная насосная станция, 13 очистных канализационных сооружений, 3 завода по сжиганию осадка.

Вся питьевая вода, поступающая в город, проходит очистку с последующей обработкой ультрафиолетом, около 97 % всех сточных вод проходят очистку на очистных сооружениях.

Основными материалами водопроводных труб являются серый чугун и сталь. На трубы из серого чугуна и стали, проложенные во второй половине XX века, приходится 51 и 27 % соответственно от всей протяженности водопроводных сетей.

Основным материалом канализационных труб является бетон и железобетон (79 % от протяженности водоотводящих сетей).

По данным ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» на 2013 г. существующие сети водоснабжения и водоотведения имеют значительный срок эксплуатации, превышающий их физический износ. Из 6755 км водопроводных сетей, почти 3000 км (42 %) эксплуатируется от 30 до 50 лет, свыше 1600 км (26 %) – более 50 лет, а из 8119 км канализационных сетей 19 % находятся в эксплуатации более 50 лет. Предельный срок эксплуатации сетей приводит к увеличению количества повреждений на сетях. За период 2009-2012 г. произошло 9000 дефектов. Анализ характера повреждений водопроводной сети показывает, что 80 % повреждений составляют дефекты на трубопроводах из стали и серого чугуна.

Федеральной целевой программой «Чистая вода» на 2011-2017 г. [13] определены приоритетные направления развития водохозяйственного комплекса страны в долгосрочной перспективе с целью обеспечение населения чистой водой для улучшения качества жизни, обусловленные неудовлетворительным техническим состоянием систем водоснабжения и водоотведения:

- реконструкция, модернизация и новое строительство систем водоснабжения, водоотведения и очистки сточных вод;
- внедрение новых технологий водоочистки, в том числе использование наиболее экологически безопасных и эффективных реагентов;
- внедрение в технологические схемы производственных объектов оборотного водоснабжения.

Реализация Федеральной целевой программы к концу 2017 г. должна обеспечить:

- увеличение доли населения страны, обеспеченного питьевой водой, отвечающей обязательным требованиям безопасности;

- сокращение потерь воды в сетях централизованного водоснабжения с одновременным снижением числа аварий в системах водоснабжения, водоотведения и очистки сточных вод;
- модернизацию систем водоснабжения, водоотведения и очистки сточных вод
- увеличение доли сточных вод, соответствующих «Нормативам водоотведения по составу сточных вод в системы коммунальной канализации Санкт-Петербурга».

Отраслевой схемой водоснабжения и Отраслевой схемой водоотведения (канализации) Санкт-Петербурга на период до 2015 г. с учетом перспективы до 2025 г. [15], Программой комплексного развития систем коммунальной инфраструктуры Санкт-Петербурга до 2015 г. [16], Региональной программой «Чистая вода Санкт-Петербурга» на 2011-2025 г. [17] определены основные направления развития систем водоснабжения, водоотведения и очистки сточных вод Санкт-Петербурга:

- реконструкция существующих и строительство новых водоводов достаточной пропускной способности, строительство водоводов-перемычек между зонами водопроводных станций;
- перекладка всех водоводов, построенных из железобетонных труб, к 2015 г.;
- реконструкция с внутренней облицовкой и перекладка аварийных участков водопроводных сетей, построенных из стальных труб, к 2020 г.;
- реконструкция водопроводных сетей, построенных из чугунных труб, находящихся в изношенном состоянии, к 2025 г.;
- реконструкция существующих и строительство новых тоннельных коллекторов достаточной пропускной способности, строительство коллекторов-дублеров и кольцующих коллекторов бассейнов водоотведения;
- завершение строительства главного канализационного коллектора Северной части Санкт-Петербурга;
- строительство новых и реконструкция с применением современных технологий существующих канализационных сетей с восстановлением их герметичности и пропускной способности (объем реконструкции более 1400 км до 2025 г.);
- снижение негативного воздействия объектов систем коммунального водоснабжения и водоотведения Санкт-Петербурга на окружающую природную среду.

При определении технической политики техническим заказчиком, а так же при проектировании, строительстве, реконструкции и эксплуатации современных систем водоснабжения и водоотведения Санкт-Петербурга следует руководствоваться разделом 7 СП 31.13330 и разделом 4 СП 32.13330, Постановлениями Правительства Санкт-Петербурга от 11.12.2007 № 1587 [15], от 21.10.2008 № 1270 [16], от 24.05.2011 № 625 [17], а также следующими принципами:

- проведение обязательного исследования грунтов на содержание загрязняющих веществ в грунте и грунтовых водах, способных оказать негативное воздействие на качество подаваемой воды;
- применение на наружных сетях труб из неметаллических и коррозионностойких материалов, современной запорной арматуры;
- отказ от применения стальных труб, изготовленных из низкосортных и нелегированных марок сталей, однослойных полиэтиленовых труб, труб из поливинилхлорида и асбоцемента для предотвращения проникновения в питьевую воду органических загрязняющих веществ;
- рациональное (при максимальной экономии затрат на работы по укладке трубы) и оперативное выполнение строительно-монтажных работ;
- обеспечение бесперебойного водоснабжения и водоотведения потребителей во время строительства и реконструкции сетей водоснабжения и водоотведения;
- реконструкция должна осуществляться комплексно для всех элементов систем водоснабжения и водоотведения (насосное оборудование, узлы учета, наружные сети и внутридомовые системы);
- обоснование срока эксплуатации сетей водоснабжения и водоотведения не менее 50 лет, срока гарантий подрядчика и производителя не менее 10 лет [9] для основных элементов сети (трубы, фасонные изделия, уплотнительные манжеты, компенсационные муфты, запорная арматура, гидранты, вантузы и т.д.) наличием необходимых документов о качестве (сертификатов, свидетельств, паспортов, актов и отчетов о лабораторных испытаниях), подтверждающих соответствие действующим нормативным требованиям, а также страховых обязательств.

При устройстве систем водоснабжения и канализации в нецентральных районах Санкт-Петербурга необходимо учитывать положения ТСН 30-305-2002 Санкт-Петербург, в исторически сложившихся районах – положения ТСН 30-306-2002 Санкт-Петербург. При устройстве фундаментов зданий и сооружений необходимо учитывать положения ТСН 50-302-2004 Санкт-Петербург. Система водоснабжения должна соответствовать требованиями СанПиН 2.1.4.1074-

01 для централизованного водоснабжения и СанПиН 2.1.4.1175-02 для нецентрализованного водоснабжения.

Для сетей водоснабжения и водоотведения города Санкт-Петербурга, расположенного на сырой Балтийской низменности с высоким уровнем грунтовых вод, в условиях повсеместного наличия техногенных грунтов, стесненности и сложной автодорожной обстановки, рекомендуется, в первую очередь применение PE 100-RC труб и ВЧШГ труб. Эти трубы можно прокладывать бестраншейными (альтернативными) способами (см. 6.1.2 настоящего документа) и срок их службы может достигать 100 лет.

Кроме того, для сетей водоснабжения возможно применение стальных электросварных прямошовных труб (с обязательным устройством электрохимической защиты), а для сетей водоотведения – PE и PP труб с гофрированной внешней поверхностью, стеклопластиковых труб, а также полимерно-тканевых рукавов (при санации).

При устройстве сетей водоснабжения и водоотведения обязательным условием обеспечения требуемого качества работ и материалов и их сохранением в течение всего срока службы является контроль качества со стороны заинтересованных участников процесса строительства. Основными контролирующими инстанциями являются технические отделы, осуществляющие функции строительного контроля технического заказчика, действующие в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 21.06.2010 № 468 [18].

На этапе строительства сети водоснабжения и водоотведения должны быть подвергнуты контрольным и лабораторным испытаниям с целью установления соответствия построенной сети проектной и исполнительной документации.

Лабораторные испытания должна проводить независимая аттестованная испытательная лаборатория, соответствующая требованиям ГОСТ ИСО/МЭК 17025 (см. приложение Б к настоящему документу).

5 Требования к проектированию сетей водоснабжения и водоотведения

5.1 Основные требования к проектной и рабочей документации

5.1.1 Проектная документация на строительство

Разработку проектной документации строительства сетей водоснабжения и водоотведения для Санкт-Петербурга следует производить в соответствии с требованиями действующей нормативно-технической документации, положений настоящего документа, руководств по проектированию сетей водоснабжения и водоотведения, а также альбомов и каталогов сертифицированных деталей и изделий, утвержденных для применения организациями, осуществляющими строительство. Все изменения в проектной документации, необходимость которых выявилась в процессе строительства, должны быть согласованы с проектной организацией – автором проекта.

Проекты сетей водоснабжения и водоотведения должны соответствовать «Положению о составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию», утвержденному Постановлением Правительства РФ от 16.02.2008 № 87 [19], как для линейного объекта капитального строительства, а также рекомендациям РМД 11-08-2009 Санкт-Петербург.

Основные требования к проектной документации определяет ГОСТ Р 21.1101. Основные требования к графической части проектной документации определяют ГОСТ 21.704 и ГОСТ 21.110.

Рекомендуемый состав проектной документации на строительство:

1) Пояснительная записка;
2) Проект полосы отвода;
1) Технологические и конструктивные решения (план сетей – в масштабе 1:500, либо 1:1000, либо 1:2000, профили сетей – только для сетей водоотведения);
3) Проект организации строительства;
4) Мероприятия по охране окружающей среды;
5) Смета на строительство.

Состав проектной документации по требованию технического заказчика может дополняться в зависимости от условий конкретного объекта в рамках указаний Постановления Правительства РФ от 16.02.2008 № 87 [19].

В качестве приложений к проектной документации отдельными томами могут быть представлены «Отчет об инженерных изысканиях» (геологические, геодезические, экологические изыскания), «Проект технологического регламента обращения со строительными отходами» (с предполагаемым объемом строительных отходов, без согласований) и «Схема организации дорожного движения на период строительства» (предполагаемая схема, без согласований).

Проектирование зданий, строений и сооружений, входящих в инфраструктуру объекта строительства, рекомендуется выполнять отдельными разделами.

5.1.2 Проектная документация на реконструкцию

Основные требования к проектной документации на реконструкцию такие же, как и на строительство.

Рекомендуемый состав проектной документации на реконструкцию:

1) Пояснительная записка;
2) Технологические и конструктивные решения;
3) Проект организации строительства;
4) Проект организации работ по сносу (демонтажу) линейного объекта;
5) Мероприятия по охране окружающей среды;
6) Смета на строительство.

По заданию технического заказчика проектная документация на реконструкцию может быть выполнена в сокращенном составе:

1) Пояснительная записка (с описанием технологических и конструктивных решений, обоснованием выбора аналога для составления сметы, сопоставимого с проектируемым объектом);
2) Проект организации строительства;
3) Смета на строительство (при условии, что все необходимые затраты будут учтены в сметной документации, могут быть использованы объекты аналоги).

В сокращенном составе проектная документация не может рассматриваться в качестве проекта-аналога, а также проходить (в случаях, установленных Градостроительным кодексом Российской Федерации [5]) государственную экспертизу.

5.1.3 Рабочая документация

Основные требования к рабочей документации определяют ГОСТ Р 21.1101, ГОСТ 21.704 и ГОСТ 21.110.

Рекомендуемый типовой состав рабочей документации:

1) План сетей (в масштабе 1:500 или 1:200);
2) Профили сетей;
3) Деталировки узлов;
4) Конструкции железобетонные;
5) Спецификация оборудования, изделий и материалов;
6) Восстановление благоустройства;
7) Смета на строительство;
8) Технологический регламент обращения со строительными отходами;
9) Схема организации дорожного движения на период строительства.

В качестве приложений отдельными томами могут быть представлены «Защита от электрохимической коррозии» (для стальных водопроводов), «Архитектурные решения», «Ведомость объемов работ», «Гидравлический расчет» и «Статический расчет».

5.2 Особенности проектирования сетей водоснабжения и водоотведения с применением PE 100-RC труб

Рекомендуется выбирать трубы из PE 100-RC типов 2 и 3 по PAS 1075 [20] (с толщиной внешнего слоя или защитной оболочки не менее 10 % от толщины стенки несущей трубы) для строительства и реконструкции:

- сетей водоснабжения;
- сетей водоотведения, работающих в напорном режиме.

Полиэтиленовые трубы, соответствующие PAS 1075 [20], показывают по сравнению с трубами из PE 80 и PE 100 по DIN 8074 [21] намного более высокую стойкость к медленному распространению трещин, что позволяет их применять для альтернативных методов прокладки (см. 6.1.2 настоящего документа).

Срок службы сетей из таких труб согласно PAS 1075 [20] – в течение 100 лет при соблюдении правил эксплуатации.

Нормативный срок амортизационных отчислений составляет 50 лет.

Эти трубы соответствуют требованиям экологической безопасности питьевой воды.

Допустимая рабочая температура водопроводной воды и канализационных стоков для труб из PE 100-RC – до 40 °С (с кратковременным повышением до 60 °С), давление – до 1,6 МПа.

Трубы и фасонные изделия должны соответствовать ГОСТ 18599, ГОСТ Р ИСО 3126, DIN 8074 [21], DIN 8075 [22], DIN EN 12201 [23]-[27].

Материал и трубы проходят в обязательном порядке испытания согласно PAS 1075 [20], ISO 9080 [28], ISO 16770 [29] в независимой аттестованной испытательной лаборатории.

Определение максимального срока службы пластиковых труб с учетом термического старения рекомендуется выполнять в соответствии с ГОСТ Р 52134 и DIN EN ISO 13760 [30]. Пример расчета максимального срока службы полиэтиленовой трубы представлен в Приложении Е к РМД 41-11-2012 Санкт-Петербург.

Проектные решения для прокладки сетей рекомендуется принимать согласно инструкциям и руководствам заводов-изготовителей с учетом СП 40-102, СН 550, СП 31.13330, СП 32.13330 и СНиП 3.05.04.

Предельно-допустимые радиусы упругого изгиба полиэтиленового трубопровода для осуществления изменения направления его оси в

горизонтальной или вертикальной плоскостях при необходимости определяются расчетом из условий прочности труб и соединений, устойчивости стенок трубы и положения трубопровода под действием внутреннего давления, продольных усилий и выталкивающей силы на обводненных участках, с учетом рекомендаций завода-изготовителя.

Гидравлический и прочностной расчеты следует выполнять в соответствии с Приложением Д к СП 40-102.

Прочностные (кроме устойчивости к распространению трещин напряжения) и гидравлические характеристики PE 100-RC труб не отличаются от обычных PE труб.

Пример прочностного расчета трубопровода из PE 100-RC представлен в приложении Г к настоящему документу.

Следует выбирать трубы типа «Т» (PN 10), SDR 17 и более жесткие.

При глубине заложения канализации 3 м и более выбор трубы необходимо подтверждать расчетом несущей способности по ATV-DVWK-A 127 [31].

Для гидравлических и прочностных расчетов рекомендуется использовать современные программные комплексы, разработанные с учетом отечественного и международного опыта применения полиэтиленовых труб.

Для соединения PE 100-RC труб и фасонных изделий следует использовать сварку согласно СНиП 3.05.04.

Разъемные (фланцевые) соединения согласно СП 40-102 предусматриваются в местах установки арматуры и присоединения к оборудованию, доступных для осмотра и ремонта.

Для подземных полиэтиленовых сетей специальной компенсации не требуется.

Во избежание промерзания минимальную глубину заложения необходимо устанавливать в соответствии с теплотехническими и прочностными расчетами, при этом значение должно превышать глубину промерзания грунта в данной местности не менее чем на 0,5 м.

При пересечениях с коммуникациями питьевой водопровод следует прокладывать выше тепловой сети, канализационной трубы, а также выше труб, по которым транспортируются ядовитые и дурно пахнущие жидкости, на 0,15 м (в свету) в исторически сложившихся районах города и 0,4 м в нецентральных районах.

При пересечении инженерных сетей расстояние по вертикали (в свету) между дождевой канализацией и питьевым водопроводом или тепловой сетью должно быть не менее 0,1 м (в свету) в исторически сложившихся районах города и 0,4 м в нецентральных районах.

Допускается прокладка питьевого водопровода или тепловой сети ниже канализационной сети, в этом случае водопровод или тепловая сеть прокладываются в футлярах, расстояние до концов которых от места пересечения должно быть не менее 1,0 м в глинистых грунтах и 1,5 м в песчаных.

В случаях прокладки водопровода в футляре следует применять PE 100-RC трубу с SDR 17 в качестве футляра.

Проход полиэтиленового водопровода при пересечении стенок колодцев (камер переключения, фундаментов зданий) следует выполнять с применением защитных муфт, для исключения передачи нагрузки на водопровод при неравномерной осадке пересекаемого сооружения.

В районах с исторически сложившейся застройкой, труднодоступных местах, переходах автомобильных и железных дорог следует предусматривать бестраншейные способы прокладки (см. 6.1.2 настоящего документа).

При траншейном способе прокладки трубопровода из PE 100-RC типов 2, 3 согласно PAS 1075 [20] отпадает необходимость в дополнительных расходах, возникающих для устройства песочной подушки и засыпки, допускается применение обратной засыпки без строительного мусора (см. п. 6.2 настоящего документа), кроме переходов под железными и автомобильными дорогами и прокладки под дорожным полотном, если сети проходят вдоль автомобильной дороги, где предусматривается засыпка песком с уплотнением не менее 0,95.

Прокладку сетей внутри кварталов жилой застройки рекомендуется проектировать вне тротуаров.

5.3 Особенности проектирования сетей водоснабжения и водоотведения с применением ВЧШГ труб

Рекомендуется выбирать трубы из ВЧШГ для строительства и реконструкции:

- сетей водоснабжения условным диаметром от 500 мм и более;
- сетей водоотведения, работающих в самотечном режиме.

Срок службы сетей из таких труб согласно СП 66.13330 – в течение не менее 100 лет при соблюдении правил эксплуатации.

Нормативные сроки амортизационных отчислений составляют 60 лет (для сетей водоснабжения) и 50 лет (для сетей водоотведения).

Допустимая рабочая температура водопроводной воды и канализационных стоков для труб из ВЧШГ – до 95 °С, давление – до 4,0 МПа.

Эти трубы соответствуют требованиям экологической безопасности питьевой воды.

Материал и трубы проходят в обязательном порядке испытания по ГОСТ Р ИСО 2531, ГОСТ 1497, ГОСТ 27208, DIN EN 545 [32] в аттестованной испытательной лаборатории.

Проектные решения для прокладки сетей рекомендуется принимать согласно инструкциям и руководствам заводов-изготовителей с учетом положений СП 24.13330, СП 31.13330, СП 32.13330, СП 66.13330, СП 72.13330, СНиП 3.05.04.

Трубы из ВЧШГ можно прокладывать бестраншейными способами (см. 6.1.2 настоящего документа).

При проектировании рекомендуется выбирать раструбные и фланцевые трубы и фасонные изделия по ГОСТ 7293, ГОСТ 5525, ГОСТ 10692, ГОСТ Р ИСО 2531 и DIN EN 545 [32].

Гидравлический и прочностной расчеты следует выполнять в соответствии с разделами 5, 6 СП 66.13330.

Пример прочностного расчета трубопровода из ВЧШГ при подземной прокладке представлен в приложении Д к настоящему документу.

Для гидравлических и прочностных расчетов рекомендуется использовать современные программные комплексы, разработанные с учетом отечественного и международного опыта применения труб из ВЧШГ.

Допустимая глубина заложения составляет до 11 м (для трубы диаметром 500 мм тип 5) согласно таблице 5.2 Рекомендаций по использованию труб ОАО «ЛМЗ «Свободный сокол» [33].

Проектирование, подбор и расчет наружных и внутренних защитных покрытий труб из ВЧШГ необходимо производить в соответствии с 5.14 СП 66.13330.11 в зависимости от коррозионной агрессивности грунта и перекачиваемой среды.

Согласно требованиям ГОСТ Р ИСО 2531 в зависимости от внешних условий эксплуатации для труб из ВЧШГ необходимо использовать защитные наружные покрытия (цинковое, полиуретановое, полиэтиленовое, фиброцементное), клейкие ленты, битумную краску, эпоксидную смолу.

При проектировании необходимо уделить особое внимание коррозийной агрессивности грунтов в месте прокладки труб из ВЧШГ согласно 5.13 СП 66.13330.

Определение удельного электрического сопротивления грунта принимается в соответствии с методикой, изложенной в ГОСТ 9.602.

Определение опасного влияния блуждающего постоянного тока принимается по ГОСТ 9.602 и РД 153-39.4-091 [34]. Расчеты производятся в том случае, когда соединения труб обеспечивают непрерывную электрическую связь по металлу (сварные или фланцевые соединения).

При раструбном соединении труб через изолирующие уплотнительные резиновые кольца или прокладки оценка не производится. Раструбное соединение с использованием резиновой манжеты является диэлектрическим и препятствует распространению блуждающих токов.

Тип электрохимической защиты выбирается по ГОСТ 9.602.

Прокладку труб в слабых грунтах с расчетным сопротивлением менее 0,1 МПа, а также в грунтах с возможной неравномерной осадкой (в неслежавшихся насыпных грунтах) рекомендуется проектировать на двухслойном щебенчатом основании с подсыпкой мелкозернистым песком, смешанным с цементом, и обертыванием всей конструкции по периметру траншеи геотекстилем. Необходимость упрочения основания следует подтверждать расчетом.

При траншейном способе прокладки труб из ВЧШГ, вне зоны дорог, возможно использование разработанного грунта без строительного мусора при обратной засыпке (см. п. 6.2 настоящего документа).

В районах с исторически сложившейся застройкой, труднодоступных местах, переходах автомобильных и железных дорог следует предусматривать бестраншейные способы прокладки (см. 6.1.2 настоящего документа).

Для бестраншейной технологии прокладки целесообразно предусматривать трубы с раструбными соединениями типов «RJ» и «RJS».

5.4 Особенности проектирования сетей водоснабжения с применением стальных электросварных прямошовных труб

Рекомендуется выбирать стальные электросварные прямошовные трубы для строительства и реконструкции сетей водоснабжения диаметром 1000 мм и более, при условии технико-экономического обоснования, с обязательным устройством электрохимической защиты.

Срок службы сетей из таких труб – в течение не менее 30 лет при соблюдении правил эксплуатации.

Нормативный срок амортизационных отчислений составляет 20 лет.

В большинстве случаев существующие водопроводы смонтированы из стальных электросварных прямошовных труб по ГОСТ 10704 и ГОСТ 10706.

Для повышения надежности и срока службы водопровода следует выбирать трубы из легированной стали (например, 17ГС, 17Г1С,

17Г2С), изготовленные по ГОСТ 20295 методом электродуговой сварки с внешним и внутренним усилением сварного шва (тип 3), с классом прочности К52 и выше.

Проектные решения для прокладки сетей рекомендуется принимать согласно инструкциям и руководствам заводов-изготовителей с учетом положений СП 24.13330, СП 31.13330, СП 33.13330, СП 72.13330, СНиП 3.05.04.

Прочностной расчет следует выполнять в соответствии с разделами 7-9 СП 33.13330.

Определение толщин стенок труб производится на основании двух расчетов:

- статического расчета на прочность, деформацию и устойчивость на воздействие внешней нагрузки с учетом образования вакуума;
- расчета на внутреннее давление при отсутствии внешней нагрузки.

Для гидравлических и прочностных расчетов рекомендуется использовать современные программные комплексы, разработанные с учетом отечественного и международного опыта применения стальных электросварных прямошовных труб.

Стальные трубопроводы должны выполняться с противокоррозионной изоляцией (внутренней и наружной поверхности), а при необходимости, с катодной или протекторной защитой.

В качестве внутренней противокоррозионной изоляции стальных водопроводов независимо от коррозионной активности воды следует использовать двухкомпонентную эпоксидную эмаль, либо эпоксидно-фенольное полимерное покрытие, либо цементно-песчаное покрытие.

Конструкция наружного защитного покрытия должна соответствовать ГОСТ Р 51164, тип защитного покрытия – усиленный.

Защита от наружной коррозии стальных сетей должна соответствовать требованиям ГОСТ 9.602, СП 28.13330 и СП 72.13330.

Выбор методов защиты внешней поверхности стальных сетей от коррозии должен быть обоснован данными о коррозионных свойствах грунта, а также данными о возможности коррозии, вызываемой блуждающими токами.

Станции катодной защиты являются необходимым элементом системы электрохимической защиты от коррозии в зонах входа блуждающих токов в подземные сооружения.

Катодная поляризация стального водопровода осуществляется применением средств электрохимической защиты:

- катодных установок;
- поляризованных и усиленных дренажей;
- гальванических анодов (протекторов).

Рекомендуется применять модульные станции катодной защиты с высоким коэффициентом полезного действия во всем диапазоне нагрузок, коэффициентом мощности не ниже 0,75 во всем диапазоне нагрузок, коэффициентом пульсаций выходного напряжения не более 2 %.

5.5 Особенности проектирования сетей водоотведения с применением PE и PP труб с гофрированной внешней поверхностью

Рекомендуется выбирать PE и PP трубы с гофрированной внешней поверхностью (с двойной стенкой) для строительства и реконструкции сетей водоотведения, работающих в самотечном режиме.

Срок службы сетей из таких труб – в течение не менее 50 лет при соблюдении правил эксплуатации.

Нормативный срок амортизационных отчислений составляет 50 лет.

Допустимая рабочая температура канализационных стоков для PE и PP труб с гофрированной внешней поверхностью – до 60 °С.

Трубы и фасонные изделия должны соответствовать ГОСТ 18599 (полиэтиленовые трубы), ГОСТ Р 54475 и DIN EN 13476 [35].

Для соединения труб в основном применяются раструбных соединения. Герметичность раструбных соединений должна соответствовать DIN EN 1277 [36].

Для PE труб с гофрированной внешней поверхностью с толщиной стенки внутреннего слоя более 4 мм (трубы большого диаметра) может применяться сварка встык. При сварке этих труб используются те же сварочные машины, что и при сварке обычных полиэтиленовых труб.

Проектные решения для прокладки сетей рекомендуется принимать согласно инструкциям и руководствам заводов-изготовителей, ТР 170-05 [37], ТР 171-05 [38], СК 2416-06 [39] с учетом СП 32.13330 и СП 34.13330.

Пример прочностного расчета трубопровода из PP с гофрированной внешней поверхностью при подземной прокладке представлен в приложении Е к настоящему документу.

Расчет на прочность производится согласно СП 40-102. Пределы применения труб определяются согласно Приложению Д к СП 40-102 из условия деформативности труб при совместном действии давления грунта засыпки с учетом воздействия временной подвижной нагрузки, собственного веса труб и транспортируемой жидкости.

При глубине заложения до 3-х м следует выбирать трубы с классом по кольцевой жесткости не менее 10 кН/м^2.

При глубине заложения 3 м и более следует выбирать трубы с классом по кольцевой жесткости не менее 16 кН/м^2.

При глубине заложения канализации 3 м и более выбор трубы необходимо подтверждать расчетом несущей способности по ATV-DVWK-A 127 [31].

Для гидравлических и прочностных расчетов рекомендуется использовать современные программные комплексы, разработанные с учетом отечественного и международного опыта применения PE и PP труб с гофрированной внешней поверхностью.

Для проектирования бытовых водоотводящих сетей принимается безнапорный режим движения жидкости с частичным наполнением труб.

Минимально допустимые диаметры и уклоны, обеспечивающие в трубах самоочищающие скорости, подбираются согласно СП 32.13330.

При прокладке в футлярах или тоннелях необходимо предусматривать крепление трубы центрирующими кольцами, упорами или бетоном.

Прокладку сетей внутри кварталов жилой застройки рекомендуется проектировать вне тротуаров.

5.6 Особенности проектирования сетей водоотведения с применением стеклопластиковых труб

Рекомендуется выбирать стеклопластиковые (GRP, GRE) трубы для строительства и реконструкции сетей водоотведения диаметром 1000 мм и более, работающих в самотечном режиме.

Срок службы сетей из таких труб – в течение не менее 50 лет при соблюдении правил эксплуатации.

Нормативный срок амортизационных отчислений составляет 50 лет.

Допустимая рабочая температура канализационных стоков для труб из GRP – до 40 °С (с кратковременным повышением до 60 °С), из GRE – до 60 °С.

Трубы и фасонные изделия должны соответствовать ГОСТ Р 54560, ISO 10639 [40], [41], ISO 10467 [42], [43], ISO 10468 [44], [45], ANSI/AWWA C950-01 [46], DIN 16868 [47], [48], DIN EN 1796 [49], DIN EN 14364 [50], DIN 16870 [51], DIN 16871 [52] (для GRP и GRE соответственно).

Стеклопластиковые трубы проходят в обязательном порядке испытания на кольцевую жесткость, на окружную и осевую прочность и упругость при растяжении в аттестованной испытательной лаборатории.

Проектные решения для прокладки сетей рекомендуется принимать согласно инструкциям и руководствам заводов-изготовителей с учетом СП 40-105, СП 32.13330, СП 34.13330, а также AWWA Manual M45 [53].

Гидравлический и прочностной расчеты для следует выполнять в соответствии с AWWA Manual M45 [53], ISO 10468 [44], [45], и Техническими рекомендациями «Проектирование подземных трубопроводов систем водоснабжения и водоотведения из стеклопластиковых труб, изготовленных методом непрерывной намотки. Часть I. Методические положения» [54].

Пример прочностного расчета трубопровода из стеклопластика при подземной прокладке представлен в приложении Ж к настоящему документу.

Следует выбирать трубы с классом по кольцевой жесткости не менее SN 10000.

При глубине заложения канализации 3 м и более выбор трубы необходимо подтверждать расчетом несущей способности по ATV-DVWK-A 127 [31].

Для гидравлических и прочностных расчетов рекомендуется использовать современные программные комплексы, разработанные с учетом отечественного и международного опыта применения стеклопластиковых труб.

Сборка стеклопластиковых труб между собой и фасонными частями может осуществляться посредством неразъемных клеевых (ламинированных) соединений и разъемных соединений фланцевого, раструбного и муфтового типов.

В местах расположения запорной арматуры необходимо устанавливать опоры для предотвращения передачи крутящих моментов на трубу.

6 Требования к строительству сетей водоснабжения и водоотведения

6.1 Способы прокладки трубопроводов

6.1.1 Траншейная прокладка

Траншейный способ прокладки труб применим для всех типов труб, выполняется согласно СП 31.13330, СП 32.13330, СП 40-102, СП 40-105, СП 45.13330, СП 66.13330, СНиП 3.05.04 и DIN EN 805 [55].

При выполнении строительно-монтажных работ должны соблюдаться меры безопасности:

- стройплощадку необходимо обезопасить с помощью надлежащих мер таким образом, чтобы исключить любую угрозу работающему персоналу, другим лицам, собственности других лиц и движению по стройплощадке (например, с помощью мероприятий по обеспечению безопасно-

сти движения, пешеходных мостов, осветительных устройств);

- крепление раскопов, включая траншею под трубы, должно выполняться таким образом, чтобы обеспечить надежные условия работы;
- входные лестницы следует держать наготове и предохранять от повреждения;
- строительные работы не должны служить причиной повреждений имеющихся установок и сетей;
- организовывать хранение и транспортировку труб, фасонных изделий, арматуры и материалов таким образом, чтобы не возникало угрозы безопасности работающего персонала, других лиц или собственности;
- при прокладке труб следует выполнять действующие предписания по предотвращению несчастных случаев и по технике безопасности (например, ношение защитной одежды и использование особого оборудования при резке, сварке и других видах обработки материала).

Обратные засыпки при траншейной прокладке выполняются согласно требованиям 7 СП 45.13330.

Обратная засыпка грунтом, при его химическом или бактериологическом загрязнении (категория загрязнения почв – чрезвычайно опасная), не допускается.

Следует максимально сохранять исходное уплотнение грунта дна траншеи. При его разуплотнении или недостаточной несущей способности необходимо выполнить мероприятия по укреплению дна траншеи (замена грунта, устройство бетонного основания на всю ширину дна траншеи и др.). В случае возникновения проблем с осушением дна траншеи, разуплотнения грунта или наличия грунтов с низкой несущей способностью рекомендуется положить на дно траншеи стабилизирующий слой щебня. Для увеличения эффективности использования инертных материалов щебень укладывается на геотекстиль, который закрывается сверху стабилизирующего слоя внахлест для предотвращения фильтрации материалов основания в стабилизирующий слой.

Расчетная степень уплотнения грунтов – 0,95 для сыпучих несвязных грунтов. Более высокая степень уплотнения – при условии послойного отбора проб уплотнения.

При проведении строительно-монтажных работ при отрицательных температурах нельзя допускать промерзание грунта в зоне прокладки.

При строительстве сетей водоотведения рекомендуется применять колодцы из сборных железобетонных элементов, а также из PE или PP с обеспечением их герметичности.

При строительстве сетей водоотведения в обводненных грунтах, а также в грунтах с сезонным подъемом грунтовых вод следует применять колодцы из PE или PP (с обязательным расчетом на всплытие по ATV-DVWK-A 127 [31]), или железобетонные колодцы по ГОСТ 8020 с дополнительной футеровкой листами из PE или PP (анкерными профилированными элементами), при этом:

- толщина стенки листа – 4 мм и более;
- высота профиля – 12 мм и более;
- расстояние между анкерными элементами – от 2,4 до 2,8 мм;
- модуль упругости PE – 800 МПа и более.

При размещении запорной арматуры, гидрантов, вантузов в газонах, на неблагоустроенной территории следует предусматривать установку колодцев либо стеновых колец с плитой перекрытия.

Запорную арматуру рекомендуется устанавливать в ковере, со штоком. Рекомендуемый тип запорной арматуры – усиленная, с обрезиненным клином.

В качестве запорной арматуры для разных диаметров трубопроводов следует применять:

- задвижки для диаметров менее 400 мм;
- задвижки с редуктором или поворотные дисковые затворы с редуктором для диаметров 400 мм и более.

На сетях водоснабжения диаметром 400 мм и более следует предусматривать на отключаемых участках устройства для опорожнения (водоспуски). Применение поворотных затворов в качестве запорной арматуры водоспусков не рекомендуется.

В местах подключения зданий к системе коммунальной канализации рекомендуется предусматривать устройство шиберной запорной арматуры с невыдвижным штоком, исключая дисковые поворотные затворы.

Пожарные гидранты следует устанавливать в ковере (с ПК-10 и люком) с отбором воды через пожарную колонку.

На сетях водоснабжения диаметром 500 мм и менее при наличии на водопроводе запорной арматуры, предусматривающей одновременное отключение не более 3-х пожарных гидрантов, дополнительную отключающую арматуру непосредственно у пожарного гидранта допускается не устанавливать. Пожарный гидрант следует устанавливать с дополнительной отключающей задвижкой непосредственно на врезке в водопровод. Устройство пожарного гидранта на относе (врезке) не допускается.

На сетях водоснабжения диаметром менее 400 мм при наличии в конструкции пожарно-

го гидранта функции двойного запирания дополнительную отключающую арматуру допускается не предусматривать.

На сетях водоснабжения диаметром 600 мм и более следует предусматривать установку вантузов в переломных (наивысших) точках профиля водовода на каждом отключаемом участке. Конструкцию вантуза рекомендуется принять комбинированного действия (для впуска и выпуска воздуха). Вантуз рекомендуется устанавливать в ковере, с отключающей арматурой. На каждом отключаемом участке водопровода следует предусматривать установку воздушника для инструментального контроля давления.

6.1.2 Бестраншейная прокладка

Бестраншейные способы прокладки труб не требуют рытья траншеи, обеспечивают альтернативную прокладку с высокой степенью надежности и экономичности.

Для прокладки бестраншейными способами следует применять трубы из PE 100-RC тип 3 по PAS 1075 [20] и трубы из ВЧШГ.

При выполнении строительно-монтажных работ должны соблюдаться меры безопасности, указанные в 6.1.1 настоящего документа.

Прокол – способ продавливания грунта из стартового котлована, с последующей протяжкой трубы. При помощи домкратного устройства и штанги с наконечником в форме пики создается подземный туннель. В него протягивается труба. Способ используется при подключении к домам, а также при прокладке (в футляре) под железными дорогами и автомагистралями.

Горизонтально направленное бурение (ГНБ) – способ бурения (с использованием бентонитового раствора), с последующей протяжкой трубы. Сначала выполняется пилотное бурение, которое и определяет местоположение трассы. После этого проводится расширение диаметра до значения, необходимого для протяжки трубы (расширительное бурение). Затем следует протяжка соединенных в плеть труб.

К способу горизонтально направленного бурения также относится **горизонтально-шнековое бурение (ГШБ)**.

Микротоннелирование – способ бурения из стартового котлована при помощи проходческого микрощита с последующим продавливанием грунта трубами при помощи домкратной станции.

Прокол, ГНБ и микротоннеллирование рекомендуется выполнять согласно МГСН 6.01 [56].

При выборе труб для прокладки сетей способом микротоннелирования следует учитывать осевое усилие продавливания. При микротоннелировании возникают монтажные продольные нагрузки от усилий домкратных установок проходческого щита, от сил трения по наружной поверхности труб, от лобового сопротивления забоя, адгезии между трубами и грунтом. Величина осевого усилия продавливания для проходческой техники составляет в среднем 600 тс.

При ГНБ допустимые значения радиуса изгиба и тягового усилия должны быть соблюдены в обязательном порядке.

Прокладка труб бестраншейными способами должна осуществляться квалифицированным персоналом с помощью специальной строительной техники в соответствии с DVGW GW 322 [57].

При выполнении строительно-монтажных работ должны соблюдаться меры безопасности, указанные в 6.1.1 настоящего документа.

К бестраншейным способам прокладки труб также относится **протяжка (прессование)** с разрушением или без разрушения старой трубы (см. 6.1.3 настоящего документа).

6.1.3 Санация сетей

Протяжка (прессование) с разрушением старой трубы (взламывание) – способ обновления участка сети, при котором старая труба разрушается при помощи тянущей головки, а ее осколки впрессовываются в грунт. В образованное пространство протягивается соединенные в плеть трубы. Диаметр протягиваемой трубы может быть больше, чем диаметр старой.

Протяжка (прессование) без разрушения старой трубы (труба в трубе) – способ обновления участка сети, при котором в очищенный старый трубопровод при помощи специального устройства протягивается очищенная, соединенные в плеть трубы. Пустое пространство между старой трубой и новой впоследствии может быть заполнено.

Допустимые значения радиуса изгиба и тягового усилия должны быть соблюдены в обязательном порядке.

Протянутая труба должна быть протестирована внутренним давлением или давлением на вмятины.

Протяжка труб должна осуществляться квалифицированным персоналом с помощью специальной строительной техники в соответствии с DVGW GW 322 [57].

Полимерно-тканевый рукав – способ обновления участка сети, при котором протаскивается внутрь участка сети, предварительно очищенного струей высокого давления, специальный полимерно-тканевый рукав. После протаскивания рукав восстанавливается до формы трубы и вулканизируется с помощью теплоносителя

(пар, горячая вода) или ультрафиолетового излучения, что обеспечивает образование на внутренней поверхности старой трубы прочного инертного слоя определенной толщины (новой трубы). Рукав изготавливается из кислотоупорного поливолокна, упрочненного резиной или пропитанного смолой. Время вулканизации составляет несколько часов. Толщина покрытия зависит от диаметра трубы, глубины заложения, внутреннего рабочего давления. Покрытие наносится участками, длина которых зависит от диаметра трубы, условий проведения работ.

Толщина рукавного покрытия для чугунных, стальных и железобетонных трубопроводов должна составлять не менее 10 мм. Твердость покрытия по ГОСТ 9012 – не менее 45 МПа. Разрушающее напряжение на изгиб по ГОСТ 4648, ГОСТ 9550 – не менее 60 Н/мм^2.

Футеровка – способ обновления участка сети, при котором наносится на предварительно очищенную внутреннюю поверхность участка трубы полимерное или цементно-песчаное покрытие необходимой толщины. Технология применима только для ремонта водопроводной сети.

Кроме указанных способов санации возможно проведение локального ремонта трубы с помощью самоходного робота.

При выполнении строительно-монтажных работ должны соблюдаться меры безопасности, указанные в 6.1.1 настоящего документа.

6.2 Сети из PE 100-RC труб

Трубы и фасонные изделия из PE 100-RC типов 2, 3 по PAS 1075 [20], применяемые для строительства и реконструкции сетей водоснабжения и водоотведения, должны соответствовать техническим условиям заводов-изготовителей и действующей нормативно-технической документации.

Трубы и фасонные изделия должны проходить все необходимые испытания (см. Приложение Б к настоящему документу).

Монтаж труб и фасонных изделий должен выполняться согласно инструкциям и рекомендациям заводов-изготовителей с учетом требований СП 40-102 и СНиП 3.05.04.

Для напорных сетей следует использовать преимущественно неразъемные соединения, выполненные с помощью сварки. Стыковая сварка рекомендуется для соединения между собой труб и соединительных деталей наружным диаметром более 50 мм и толщиной стенки более 4 мм. Раструбная сварка рекомендуется для труб наружным диаметром до 110 мм и стенками любой толщины.

Требования по технологии сварки труб и аттестации сварщиков следует выполнять в соответствии с разделом 6 СП 42-103 и РД 03-495-02 [58] (см. приложение В к настоящему документу). При сварке труб встык необходимо выполнять требования ГОСТ 16310-80.

С помощью стыковой контактной сварки трубу из PE 100-RC можно сваривать с трубой из PE 100-RC или с трубой, изготовленной из PE 100 или PE 80, при условии равенства диаметров и одинаковых толщинах стенок соединяемых труб.

Допускается использовать только сертифицированные аппараты для стыковой контактной сварки.

Для зачистки монтажного участка трубы от защитного полимерного слоя применяется специальный режущий инструмент.

Трубы с диаметром до 63 мм разматываются обычно в вертикальном положении, причем начало плети должно быть зафиксировано. При больших диаметрах рекомендуется использование устройства для размотки. Бухты могут быть положены горизонтально на стальные или деревянные крестообразные вертушки и вручную или при помощи медленно движущегося транспорта размотаны. Трубы должны быть размотаны прямо, без изломов. Не допускается спиралевидная размотка.

При размотке должно быть обращено внимание на то, что гибкость полиэтиленовых труб зависит от температуры окружающей среды. При температуре, близкой к температуре замерзания, трубы диаметром от 75 мм, подлежащие размотке, должны быть разогреты.

При траншейном способе прокладки труб из PE 100-RC типов 2, 3 по PAS 1075 [20] дно траншеи должно быть выровнено, освобождено от камней, валунов и промерзших участков. При очень рыхлых грунтах может потребоваться укрепление дна траншеи. При проведении земляных работ в местах расположения дорог или в непосредственной близости от них прокладывать траншею следует таким образом, чтобы исключить возможность провала и оседания грунта под дорожным покрытием.

Толщина выравнивающего слоя под трубой должна составлять не менее 50 мм. В качестве материала выравнивающего слоя следует выбирать песок, гравий или щебень. Материал, используемый для выравнивающего слоя и засыпки, согласно СП 45.13330 и DIN EN 805 [55] не должен включать мерзлый грунт, органический материал, крупных камней, куски скальных пород, строительный мусор размером свыше 10 % от диаметра трубы и более.

Если вынутый грунт не годится для заполнения, то для этой цели должен использоваться

песок, гравий или щебень с максимальным размером фракций до 10 % от диаметра трубы.

Если дно траншеи ровное и материал дна отвечает вышеописанным требованиям к гранулометрическому составу выравнивающего слоя, то нет необходимости в отдельном выравнивающем слое, в этом случае трубу кладут прямо на дно траншеи.

Механически уплотнять материал начального заполнения необходимо по мере засыпки после каждого слоя высотой 0,2 м. Для начального заполнения траншеи может быть использован вынутый при раскопке траншеи грунт. Требования к гранулометрическому составу материала в этом случае такие же, как и для материала выравнивающего слоя.

Выбор материала заполнения и степени механического уплотнения под дорожным покрытием зависит от типа дорожного покрытия. Вне движения транспорта для заполнения можно использовать выкопанный из траншеи грунт, если его состав отвечает следующим требованиям:

- в слое толщиной 1 м от верхней части трубы не должно быть камней диаметром больше 300 мм, однако непосредственно над трубой в слое 0,3 м не должно быть камней, с размером, превышающим 60 мм;
- максимальный допустимый размер фракции материала заполнения должен составлять 2/3 от толщины каждого уплотняемого слоя;
- материал должен иметь смешанную структуру во избежание образования пустот и неравномерного промерзания.

Смонтированный трубопровод должен подвергаться предварительным и приемочным испытаниям согласно СНиП 3.05.04. Предельная длина трубопровода для испытания за один прием должна быть не более 1 км.

6.3 Сети из ВЧШГ труб

Трубы и фасонные изделия из ВЧШГ, применяемые для строительства и реконструкции сетей водоснабжения и водоотведения, должны соответствовать техническим условиям заводов-изготовителей и действующей нормативно-технической документации.

Трубы и фасонные изделия должны проходить все необходимые испытания (см. Приложение Б к настоящему документу).

Монтаж труб и фасонных изделий должен выполняться согласно инструкциям и рекомендациям заводов-изготовителей с учетом требований СП 66.13330 и СНиП 3.05.04.

При траншейной прокладке засыпка должна осуществляться в два приема – частичная засыпка грунтом, не содержащим включений размером свыше 1/4 диаметра трубы, на высоту 0,2 м над верхом трубы до предварительного испытания и окончательная засыпка после предварительного гидравлического испытания.

Резиновые уплотнительные кольца должны храниться в закрытых помещениях, в условиях, исключающих их деформацию и повреждения, при температуре от 0 до 35 °С.

Прокладку труб из ВЧШГ способом горизонтально направленного бурения следует выполнять в соответствии с разделами 7, 8 СП 66.13330, а также «Рекомендациями по использованию труб ОАО «ЛМЗ «Свободный сокол» [33] и «Руководством по прокладке подземных трубопроводов методом горизонтально-направленного бурения с применением труб из ВЧШГ» [59].

Для защиты от механических повреждений при прокладке трубы из ВЧШГ следует обеспечить трубу защитным покрытием в соответствии с положениями 5.14 СП 66.13330, DIN 30674 [60] и DIN EN 14628 [61].

Смонтированный трубопровод должен подвергаться предварительным и приемочным испытаниям согласно СНиП 3.05.04. Предельная длина трубопровода для испытания за один прием должна быть не более 1 км.

6.4 Сети из стальных электросварных прямошовных труб

Стальные электросварные прямошовные трубы и фасонные изделия, применяемые для строительства и реконструкции сетей водоснабжения, должны соответствовать техническим условиям заводов-изготовителей и действующей нормативно-технической документации.

Трубы и фасонные изделия должны проходить все необходимые испытания (см. Приложение Б к настоящему документу).

Монтаж стальных труб и фасонных изделий должен выполняться согласно СНиП 3.05.04.

Защита внутренней поверхности стальных труб от коррозии должна предусматриваться защитными покрытиями (эпоксидными, полиэтиленовыми, цементно-песчаными).

Работы по защите стальных труб от коррозии выполняются согласно СП 28.13330, СНиП 3.05.04, ГОСТ 12.3.004, ГОСТ 12.3.005, ГОСТ 12.3.008, ГОСТ 12.3.016.

Внешнему осмотру и измерениям подлежат все сварные соединения. Сварные швы должны соответствовать ГОСТ 16037-80.

Проверке качества сварных швов физическими методами контроля подвергаются трубопроводы с расчетным давлением:

- до 1 МПа в объеме не менее 2 % (но не менее одного стыка на каждого сварщика);

- от 1 до 2 МПа в объеме не менее 5 % (но не менее двух стыков на каждого сварщика);
- свыше 2 МПа в объеме не менее 10 % (но не менее трех стыков на каждого сварщика).

Физическими методам контроля следует подвергать 100 % сварных соединений трубопроводов, прокладываемых на участках переходов под и над железнодорожными и трамвайными путями, через водные преграды, под автомобильными дорогами, в городских коллекторах для коммуникаций при совмещенной прокладке с другими инженерными коммуникациями.

Выбор физического метода контроля (ультразвуковой, радиографический) должен производиться исходя из возможностей обеспечения более полного и точного выявления недопустимых дефектов с учетом особенностей физических свойств металла, а также освоенности и совершенства методики контроля для данного вида сварных соединений.

Сварные соединения рекомендуется подвергать ультразвуковой или радиографической дефектоскопии согласно РД 153-34.1-003-01 [62].

Смонтированный трубопровод должен подвергаться предварительным и приемочным испытаниям согласно СНиП 3.05.04. Предельная длина трубопровода для испытания за один прием должна быть не более 1 км.

6.5 Сети из РЕ и РР труб с гофрированной внешней поверхностью

Трубы и фасонные изделия из РЕ и РР труб с гофрированной внешней поверхностью (с двойной стенкой), применяемые для строительства и реконструкции сетей водоотведения, должны соответствовать техническим условиям заводов-изготовителей и действующей нормативно-технической документации.

Трубы и фасонные изделия должны проходить все необходимые испытания (см. Приложение Б к настоящему документу).

Монтаж труб и фасонных изделий должен выполняться согласно инструкциям и рекомендациям заводов-изготовителей.

Трубы должны поставляться в комплекте с соединительными муфтами и уплотнительными резиновыми кольцами, изготовленными в соответствии с нормативными документами.

При строительстве системы водоотведения из РЕ и РР труб с гофрированной внешней поверхностью целесообразно предусматривать применение полимерных колодцев.

При траншейной прокладке трубы укладываются на песчаную постель с фиксацией их положения профилированными опорами. Нельзя производить укладку труб непосредственно на бетонное основание. Необходимо производить первичную (с уплотнением) и вторичную засыпку трубопроводов. При засыпке трубопроводов над верхом трубы обязательно устройство защитного слоя из песчаного или мягкого местного грунта толщиной не менее 300 мм, не содержащего твердых включений размером более 20 мм. Высота засыпки над верхом трубы должна быть не менее 1,0 м до поверхности (низа конструкции дорожной одежды), за исключением труб от дождеприемных колодцев (не менее 0,5 м).

При раструбных и муфтовых соединениях используются резиновые уплотнительные кольца, при высоком расположении грунтовых вод применяется два кольца.

Требования по технологии сварки труб и аттестации сварщиков следует выполнять в соответствии с разделом 6 СП 42-103. При сварке труб встык необходимо выполнять требования ГОСТ 16310-80.

Смонтированный трубопровод должен подвергаться предварительным и приемочным испытаниям согласно СНиП 3.05.04. Предельная длина трубопровода для испытания за один прием должна быть не более 1 км.

6.6 Сети из стеклопластиковых труб

Стеклопластиковые трубы и фасонные изделия, применяемые для строительства и реконструкции сетей водоотведения, должны соответствовать техническим условиям заводов-изготовителей и действующей нормативно-технической документации.

Трубы и фасонные изделия должны проходить все необходимые испытания (см. Приложение Б к настоящему документу).

Монтаж труб и фасонных изделий должен выполняться согласно инструкциям и рекомендациям заводов-изготовителей с учетом требований СП 40-105 и AWWA Manual M45 [53].

Соединение стеклопластиковых труб на клею должно производиться по специальному технологическому регламенту, учитывающему:

- форму склеиваемых поверхностей; качество подготовки поверхностей под склеивание;
- вид клея (одно-, двухкомпонентный либо другого состава);
- способ нанесения клеевого состава на поверхности;
- время технологической паузы (разрыв между завершением нанесения клея и полным сопряжением склеиваемых поверхностей);
- метод сопряжения (вручную, посредством приспособлений);
- технологию отвердения (с обогревом или без обогрева);

- время отвердения до набирания монтажной прочности клеевым швом, а также время отвердения до набирания прочности, при которой возможно проведение испытаний трубопровода.

В регламенте на склеивание стеклопластиковых труб должен предусматриваться контроль качества выполнения клеевого соединения на всех перечисленных технологических этапах.

Соединения склеиванием труб в раструб или муфтой должны иметь адекватные с концами труб конические поверхности, подготавливаться к склейке. После покрытия соединяемые клеем концы сопрягаются в раструб или через муфту и стягиваются с усилием, обеспечивающим полный контакт покрытых клеем поверхностей, и выдерживаются в стянутом положении до полного отверждения клеевого слоя.

Сборка стыков труб диаметром до 150 мм производится вручную. Стыки труб больших диаметров следует собирать с помощью стягивающих механизмов. Клей должен иметь минимальную прочность на сдвиг 1,75 Н/мм^2 при трехкратной степени защиты.

Смонтированный трубопровод должен подвергаться предварительным и приемочным испытаниям согласно СНиП 3.05.04. Предельная длина трубопровода для испытания за один прием должна быть не более 1 км.

7 Контроль строительства сетей водоснабжения и водоотведения

7.1 Основные требования по контролю строительства

Порядок проведения строительного контроля при осуществлении строительства, реконструкции и капитального ремонта объектов капитального строительства осуществляется в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 21.06.2010 № 468 [18], принятым в соответствии с пунктом 8 статьи 53 Градостроительного кодекса РФ [5].

Строительный контроль должен выполняться в соответствии с требованиями СП 48.13330.2011, с учетом рекомендаций ГОСТ 24297-87, РД-11-05-2007 [63] и «Схем входного и операционного контроля качества строительно-монтажных работ. Часть III. Наружные сети канализации и водоснабжения» [64]

Все основные элементы сетей водоснабжения и водоотведения (трубы, фасонные изделия, уплотнительные манжеты, компенсационные муфты, запорная арматура, гидранты, вантузы и т.д.) должны иметь все необходимые документы (сертификаты, паспорта, акты и отчеты об испытаниях), подтверждающие соответствие техническим условиям заводов-изготовителей и действующим нормативным требованиям.

Технический заказчик (собственник или балансодержатель сети) и подрядчик, осуществляющий строительство (или реконструкцию) сети, могут проводить входной контроль элементов сети, поступающих на стройплощадку, на соответствие сопроводительным документам. В случае недоверия к сопроводительным документам входной инструментальный контроль обязателен.

В процессе производства элементов сетей водоснабжения и водоотведения (трубы, фасонные изделия, уплотнительные манжеты, компенсационные муфты, запорная арматура, гидранты, вантузы и т.д.) производитель должен выполнять все испытания в соответствии с техническими условиями и действующими стандартами.

Для каждой строящейся (или реконструируемой) сети должны производиться лабораторные испытания элементов сети, включая стыковые соединения, с целью установления их соответствия проектной и исполнительной документации (см. 7.2 и 7.3 настоящего документа).

Отбор образцов и лабораторные испытания должны проводиться (по договору с техническим заказчиком или подрядчиком) аттестованной испытательной лабораторией (см. приложение Б к настоящему документу).

Технический заказчик может провести проверку технологии изготовления элементов сети на заводе производителя с помощью представителей аттестованной испытательной лаборатории.

Все результаты контроля документально фиксируются в виде актов, отчетов о лабораторных испытаниях.

Копии документов сдаются в эксплуатирующую (гарантирующую) организацию (например, ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга») для оформления допуска сетей водоснабжения и водоотведения в эксплуатацию.

7.2 Полномочия подрядчика по контролю строительства

Подрядчик несет ответственность за соответствие построенной им сети водоснабжения (или водоотведения) проектной и исполнительной документации.

Подрядчик совместно с представителем аттестованной испытательной лаборатории производит отбор образцов для выполнения работ по контролю техническим заказчиком в соответствии с 7.3 настоящего документа.

Подрядчик имеет право приступить к монтажу труб до получения от испытательной лаборатории положительного заключения (некоторые

испытания носят длительный характер) и получения от завода-изготовителя подтверждения подлинности. В случае получения отрицательного заключения и (или) не подтверждения подлинности продукции подрядчик должен выполнить за свой счет работы по демонтажу смонтированных труб и возместить все затраты технического заказчика на строительство объекта.

Подрядчик выполняет (в присутствии технического заказчика) контрольные испытания на прочность и плотность (герметичность) гидравлическим или пневматическим способом дважды (предварительное и окончательное) согласно СП 31.13330, СП 32.13330 и СНиП 3.05.04 с внесением записи в «Общий журнал работ».

7.3 Полномочия технического заказчика по контролю строительства

7.3.1 Контроль качества сетей водоснабжения и водоотведения из PE 100-RC труб

Технический заказчик имеет право проводить контроль качества изделий и материалов при строительстве и реконструкции в следующем порядке:

1) Визуальный контроль всех основных элементов сети, выборочный измерительный контроль труб, фасонных изделий и материалов, периодический контроль качества складирования и хранения.

2) Лабораторный контроль на соответствие техническим условиям и проектной документации – один трубный образец на 1000 м труб диаметром до 500 мм, на 600 м труб диаметром от 500 мм (включая) до 1000 мм (не включая), на 400 м труб диаметром 1000 мм и более. Проводятся необходимые испытания (см. Приложение Б к настоящему документу). На объектах с протяженностью трассы менее 1000 м испытания проводят на одном образце.

3) Проверка квалификации монтажников и сварщиков согласно РД 03-495-02 [58], технический осмотр сварочных устройств и инструмента, а также операционный и инструментальный контроль качества сборки и сварных соединений (см. приложение В к настоящему документу).

7.3.2 Контроль качества сетей водоснабжения и водоотведения из ВЧШГ труб

Технический заказчик имеет право проводить контроль качества изделий и материалов при строительстве и реконструкции в следующем порядке:

1) Визуальный контроль всех основных элементов сети, выборочный измерительный контроль труб, фасонных изделий и материалов, периодический контроль качества складирования и хранения.

2) Лабораторный контроль на соответствие техническим условиям и проектной документации – один трубный образец на 600 м труб условным диаметром от 500 мм (включая) до 1000 мм (не включая), на 400 м труб условным диаметром 1000 мм и более. Проводятся необходимые испытания (см. Приложение Б к настоящему документу). На объектах с протяженностью трассы менее 400 м испытания проводят на одном образце.

3) Проверка квалификации монтажников, технический осмотр монтажных устройств и инструмента, а также операционный контроль качества сборки и соединений (с учетом положений 5.16 СП 66.13330).

7.3.3 Контроль качества сетей водоснабжения из стальных электросварных прямошовных труб

Технический заказчик имеет право проводить контроль качества изделий и материалов при строительстве и реконструкции в следующем порядке:

1) Визуальный контроль всех основных элементов сети, выборочный измерительный контроль труб, фасонных изделий и материалов, периодический контроль качества складирования и хранения.

2) Лабораторный контроль на соответствие техническим условиям и проектной документации – один трубный образец на 400 м труб условным диаметром 1000 мм и более. Проводятся необходимые испытания (см. Приложение Б к настоящему документу). На объектах с протяженностью трассы менее 400 м испытания проводят на одном образце.

3) Проверка квалификации монтажников и сварщиков согласно РД 03-495-02 [58], технический осмотр сварочных устройств и инструмента, а также операционный контроль качества сборки и сварных соединений с учетом положений Приложения 8 к ПБ 10-573-03 [65]. Инструментальный контроль поперечных стыковых сварных соединений неразрушающими методами согласно СНиП 3.05.04. Лаборатория неразрушающего контроля должна быть аттестована согласно ПБ 03-372-00 [66].

7.3.4 Контроль качества сетей водоотведения из PE и PP труб с гофрированной внешней поверхностью

Технический заказчик имеет право проводить контроль качества изделий и материалов при строительстве и реконструкции в следующем порядке:

1) Визуальный контроль всех основных элементов сети, выборочный измерительный контроль труб, фасонных изделий и материалов, периодический контроль качества складирования и хранения.

2) Лабораторный контроль на соответствие техническим условиям и проектной документации – один трубный образец на 1000 м труб диаметром до 500 мм, на 600 м труб диаметром от 500 мм (включительно) до 1000 мм, на 400 м труб диаметром 1000 мм и более. Проводятся необходимые испытания (см. Приложение Б к настоящему документу). На объектах с протяженностью трассы менее 400 м испытания проводят на одном образце.

3) Проверка квалификации монтажников и сварщиков согласно РД 03-495-02 [58], технический осмотр сварочных устройств и инструмента, а также операционный контроль качества сборки.

7.3.5 Контроль качества сетей водоотведения из стеклопластиковых труб

Технический заказчик имеет право проводить контроль качества изделий и материалов при строительстве и реконструкции в следующем порядке:

1) Визуальный контроль всех основных элементов сети, выборочный измерительный контроль труб, фасонных изделий и материалов, периодический контроль качества складирования и хранения.

2) Лабораторный контроль на соответствие техническим условиям и проектной документации – один трубный образец на 400 м труб диаметром 1000 мм и более. Проводятся необходимые испытания (см. Приложение Б к настоящему документу), в том числе на кольцевую жесткость, на окружную и осевую прочность и упругость при растяжении. На объектах с протяженностью трассы менее 400 м испытания проводят на одном образце.

3) проверка квалификации монтажников, технический осмотр монтажных устройств и инструмента, а также операционный контроль качества сборки и соединений (с учетом СП 40-105).

Приложение А
(справочное)

Нормативные ссылки

1 ГОСТ 9012-59 (ИСО 410-82, ИСО 6506-81) Металлы. Метод измерения твердости по Бринеллю

2 ГОСТ 15173-70 Пластмассы. Метод определения среднего коэффициента линейного теплового расширения

3 ГОСТ 4648-71 Пластмассы. Метод испытания на статический изгиб

4 ГОСТ 3845-75 Трубы металлические. Метод испытания гидравлическим давлением

5 ГОСТ 12.3.004-75 Термическая обработка металлов. Общие требования безопасности

6 ГОСТ 12.3.005-75 Работы окрасочные. Общие требования безопасности

7 ГОСТ 12.3.008-75 Производство покрытий металлических и неметаллических неорганических. Общие требования безопасности

8 ГОСТ 10706-76 Трубы стальные электросварные прямошовные. Технические требования

9 ГОСТ 9454-78 Металлы. Метод испытания на ударный изгиб при пониженных, комнатной и повышенных температурах

10 ГОСТ 10006-80 (ИСО 6892-84) Трубы металлические. Метод испытания на растяжение

11 ГОСТ 10692-80 «Трубы стальные, чугунные и соединительные части к ним. Приемка, маркировка, упаковка, транспортирование и хранение»

12 ГОСТ 11262-80 Пластмассы. Метод испытания на растяжение

13 ГОСТ 16037-80 Соединения сварные стальных трубопроводов. Основные типы, конструктивные элементы и размеры

14 ГОСТ 16310-80 Соединения сварные из полиэтилена, полипропилена и винипласта. Основные типы, конструктивные элементы и размеры

15 ГОСТ 24157-80 Трубы из пластмасс. Метод определения стойкости при постоянном внутреннем давлении

16 ГОСТ 25.601-80 Расчеты и испытания на прочность. Методы механических испытаний композиционных материалов с полимерной матрицей (композитов). Метод испытания плоских образцов на растяжение при нормальной, повышенной и пониженной температурах

17 ГОСТ 9550-81 Пластмассы. Методы определения модуля упругости при растяжении, сжатии и изгибе

18 ГОСТ 10708-82 Копры маятниковые. Технические условия

19 ГОСТ 20426-82 Контроль неразрушающий. Методы дефектоскопии радиационные. Область применения

20 ГОСТ 25.604-82 Расчеты и испытания на прочность. Методы механических испытаний композиционных материалов с полимерной матрицей (композитов). Метод испытания на изгиб при нормальной, повышенной и пониженной температурах

21 ГОСТ 25.603-82 Расчеты и испытания на прочность. Методы механических испытаний композиционных материалов с полимерной матрицей (композитов). Метод испытания на растяжение кольцевых образцов при нормальной, повышенной и пониженной температурах

22 ГОСТ 7512-82 Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Радиографический метод

23 ГОСТ 1497-84 (ИСО 6892-84) Металлы. Методы испытаний на растяжение

24 ГОСТ 23667-85 Контроль неразрушающий. Дефектоскопы ультразвуковые. Методы измерения основных параметров

25 ГОСТ 20295-85 Трубы стальные сварные для магистральных газонефтепроводов. Технические условия (с Изм. № 1, 2)

26 ГОСТ 7293-85 «Чугун с шаровидным графитом для отливок»

27 ГОСТ 27077-86 Детали соединительные из термопластов. Методы определения изменения внешнего вида после прогрева

28 ГОСТ 27078-86 Трубы из термопластов. Методы определения изменения длины труб после прогрева

29 ГОСТ 14782-86 Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Методы ультразвуковые

30 ГОСТ 12.3.016-87 Строительство. Работы антикоррозионные. Требования безопасности

31 ГОСТ 27208-87 Отливки из чугуна. Методы механических испытаний

32 ГОСТ 24297-87 Входной контроль продукции основные положения

33 ГОСТ 5525-88 «Части соединительные чугунные, изготовленные литьем в песчаные формы для трубопроводов. Технические условия»

34 ГОСТ 166-89 (ИСО 3599-76) Штангенциркули. Технические условия

35 ГОСТ 8020-90 Конструкции бетонные и железобетонные для колодцев канализационных, водопроводных и газопроводных сетей. Технические условия

36 ГОСТ 10704-91 Трубы стальные электросварные прямошовные. Сортамент

37 ГОСТ 21.110-95 Правила выполнения спецификации оборудования, изделий и материалов

38 ГОСТ Р 51164-98 Трубопроводы стальные магистральные. Общие требования к защите от коррозии

39 ГОСТ 18599-2001 Трубы напорные из полиэтилена

40 ГОСТ Р 52134-2003 Трубы напорные из термопластов и соединительные детали к ним для систем водоснабжения и отопления. Общие технические условия» (с изм. № 1 от 01.06.2010)

41 ГОСТ 9.602-2005 Единая система защиты от коррозии и старения. Сооружения подземные. Общие требования к защите от коррозии

42 ГОСТ Р 52748-2007 Дороги автомобильные общего пользования. Нормативные нагрузки, расчетные схемы нагружения и габариты приближения

43 ГОСТ Р ИСО 3126-2007 Трубопроводы из пластмасс. Пластмассовые элементы трубопровода. Определение размеров

44 ГОСТ Р ИСО 2531-2008 Трубы, фитинги, арматура и их соединения из чугуна с шаровидным графитом для водо- и газоснабжения. Технические условия

45 ГОСТ Р 53201-2008 Трубы стеклопластиковые и фитинги. Технические условия

46 ГОСТ Р 50838-2009 Трубы из полиэтилена для газопроводов. Технические условия

47 ГОСТ Р 21.1101-2009 Основные требования к проектной и рабочей документации

48 ГОСТ ИСО/МЭК 17025-2009 Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий

49 ГОСТ Р 54560-2011 Трубы и детали трубопроводов из реактопластов, армированных стекловолокном. Технические условия

50 ГОСТ Р 54475-2011 Трубы полимерные со структурированной стенкой и фасонные части к ним для систем наружной канализации. Технические условия

51 ГОСТ 21.704-2011 Правила выполнения рабочей документации наружных систем водоснабжения и канализации (взамен ГОСТ 21.604-82)

52 ГОСТ Р ИСО 12176-1-2011 Трубы и фитинги пластмассовые. Оборудование для сварки полиэтиленовых систем. Часть 1. Сварка нагретым инструментом встык

53 ГОСТ Р ИСО 12176-2-2011 Трубы и фитинги пластмассовые. Оборудование для сварки полиэтиленовых систем. Часть 2. Сварка с закладными нагревателями

54 СНиП 3.05.04-85* Наружные сети и сооружения водоснабжения и канализации

55 СНиП 23-01-99* Строительная климатология

56 Справочное пособие к СНиП 23-01-99*

57 СанПиН 2.1.4.1074-01 Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Гигиенические требования к обеспечению безопасности систем горячего водоснабжения

58 СанПиН 2.1.4.1175-02 Гигиенические требования к качеству воды нецентрализованного водоснабжения. Санитарная охрана источников

59 СП 40-102-2000 Проектирование и монтаж трубопроводов систем водоснабжения и канализации из полимерных материалов. Общие требования

60 СП 40-105-2001 Проектирование и монтаж подземных трубопроводов канализации из стеклопластиковых труб

61 СП 42-103-2003 Проектирование и строительство газопроводов из полиэтиленовых труб и реконструкция изношенных газопроводов

62 СП 34.13330.2010 Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 2.05.02-85*

63 СП 24.13330.2011 Свайные фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85

64 СП 66.13330.2011 Проектирование и строительство напорных сетей водоснабжения и водоотведения с применением высокопрочных труб из чугуна с шаровидным графитом

65 СП 48.13330.2011 Организация строительства. Актуализированная редакция СНиП 12-01-2004

66 СП 28.13330.2012 Защита строительных конструкций от коррозии. Актуализированная редакция СНиП 2.03.11-85

67 СП 31.13330.2012 Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.02-84*

68 СП 32.13330.2012 Канализация. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.03-85

69 СП 33.13330.2012 Расчет на прочность стальных трубопроводов. Актуализированная редакция СНиП 2.04.12-86

70 СП 45.13330.2012 Земляные сооружения, основания и фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 3.02.01-87

71 СП 72.13330.2012 Защита строительных конструкций и сооружений от коррозии. Актуализированная редакция СНиП 3.04.03-85

72 ТСН 30-305-2002 Санкт-Петербург. Градостроительство. Реконструкция и застройка нецентральных районов Санкт-Петербурга

73 ТСН 30-306-2002 Санкт-Петербург. Реконструкция и застройка исторически сложившихся районов Санкт-Петербурга

74 ТСН 50-302-2004 Санкт-Петербург. Проектирование фундаментов зданий и сооружений в Санкт-Петербурге

75 РМД 11-08-2009 Санкт-Петербург. Руководство по проектной подготовке капитального строительства в Санкт-Петербурге

76 РМД 41-11-2012 Санкт-Петербург. Устройство тепловых сетей в Санкт-Петербурге

77 СН 550-82 Инструкция по проектированию технологических трубопроводов из пластмассовых труб. ВНИИМонтажспецстрой – Киевский филиал Минмонтажспецстроя СССР. Утверждена постановлением Госстрой России от 22.04.1982 № 102

78 Пособие к СН 550-82 Пособие по проектированию технологических трубопроводов из пластмассовых труб. НПО Пластик Минхимпрома СССР. 1983

Приложение Б
(рекомендуемое)

Испытательная лаборатория, осуществляющая работы в области подтверждения качества труб и фасонных изделий для сетей водоснабжения и водоотведения

Испытательная лаборатория, осуществляющая работы в области подтверждения качества труб и фасонных изделий для сетей водоснабжения и водоотведения, должна соответствовать ГОСТ ИСО/МЭК 17025.

Испытательная лаборатория должна иметь аттестат, выдаваемый уполномоченным органом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт), согласно Федеральному закону РФ «О техническом регулировании» [7].

Испытательной лаборатории рекомендуется получить аттестат, выдаваемый уполномоченным органом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор) для выполнения работ по неразрушающему контролю сварных соединений металлических труб (см. ПБ 03-372-00 [66]).

Испытательной лаборатории следует получить аттестат аккредитации, выдаваемый уполномоченным органом Федеральной службы по аккредитации (Росаккредитация) для выполнения работ по подтверждению соответствия, согласно Постановлению Правительства РФ от 19.06.2012 № 602 [67].

Отбор образцов и испытания, проводимые лабораторией, должны осуществляться в соответствии с действующими стандартами (см. таблицы Б1-Б4).

Таблица Б1 – Испытания для труб и фасонных изделий из PE 100-RC

№ п/п	Наименование испытаний	Нормативный документ, согласно которому проводится испытание
1	Определение прочности при разрыве	ГОСТ 11262
2	Определение относительного удлинения при разрыве	ГОСТ 11262
3	Определение изменения длины после прогрева	ГОСТ 27078
4	Определение стойкости при постоянном внутреннем давлении	ГОСТ 24157
5	Испытание на ползучесть материала труб (FNCT-тест)	ISO 16770 [29]
6	Испытание точечной нагрузкой	Приложение А3 к PAS 1075 [20]
7	Пенетрационные испытания	Приложение А4 к PAS 1075 [20]
8	Определение сплошности сварных соединений (УЗК)	ГОСТ 23049, ГОСТ 14782

Измерительные инструменты и испытательное оборудование:
- рулетка, лекала, нутромер, штангенциркуль, микрометр, толщиномер ультразвуковой и толщиномеры покрытий для проведения визуального контроля;
- оборудование для подготовки образцов;
- универсальная разрывная машина для испытаний образцов на растяжение;
- термокамера для испытаний образцов на изменение длины после прогрева;
- установка для испытаний образцов на стойкость при постоянном внутреннем давлении, обеспечивающую возможность проведения одновременных испытаний при разных температурах;
- ультразвуковой импульсный дефектоскоп, пьезоэлектрические преобразователи, стандартные образцы для ультразвукового контроля сварных соединений.

Таблица Б2 – Испытания для PE и PP труб и фасонных изделий с гофрированной внешней поверхностью

№ п/п	Наименование испытаний	Нормативный документ, согласно которому проводится испытание
1	Определение кольцевой жесткости	ГОСТ Р 54475
2	Определение кольцевой гибкости при деформации	ГОСТ Р 54475
3	Определение коэффициента ползучести	ГОСТ Р 54475
4	Испытание на герметичность соединений	ГОСТ Р 54475
5	Определение стойкости к удару ступенчатым методом	ГОСТ Р 54475
6	Определение стойкости к прогреву при температуре	ГОСТ 27077, ГОСТ 27078
7	Определение стойкости при постоянном внутреннем давлении	ГОСТ 24157

Измерительные инструменты и испытательное оборудование:
- рулетка, лекала, нутромер, штангенциркуль, микрометр, толщиномер ультразвуковой и толщиномеры покрытий для проведения визуального контроля;
- стенд для испытаний на герметичность;
- оборудование для подготовки образцов;
- машина для обеспечения деформации сжатия поперечного сечения образца;
- стенд с падающим грузом;
- универсальная разрывная машина для испытаний образцов на растяжение;
- термокамера для испытаний образцов на изменение длины после прогрева;
- установка для испытаний образцов на стойкость при постоянном внутреннем давлении, обеспечивающую возможность проведения одновременных испытаний при разных температурах.

Таблица Б3 – Испытания для стеклопластиковых труб и фасонных изделий

№ п/п	Наименование испытаний	Нормативный документ, согласно которому проводится испытание
1	Определение кольцевой жесткости	ГОСТ Р 54560, ISO 10468 [44], [45]
2	Определение показателя твердости по Барколу	ГОСТ Р 54560
3	Испытание на герметичность трубы и муфт	ГОСТ Р 54560, ISO 10639 [40], [41], ISO 10467 [42], [43]
4	Степень отверждения материала труб и муфт	ГОСТ Р 54560
5	Определение окружного предела прочности при растяжении	ГОСТ 25.603
6	Определение осевого предела прочности при растяжении	ГОСТ 25.601
7	Определение окружного модуля упругости при растяжении	ГОСТ 25.603
8	Определение осевого модуля упругости при растяжении	ГОСТ 25.601
9	Определение окружного модуля упругости при изгибе	ГОСТ 25.604
10	Определение коэффициента Пуассона	ГОСТ 25.601
11	Определение коэффициента линейного теплового расширения	ГОСТ 15173
12	Испытания на устойчивость к разрушению в деформированном состоянии	ISO 10639 [40], [41], ISO 10467 [42], [43]
13	Испытание на устойчивость к коррозии в деформированном состоянии	ISO 10639 [40], [41], ISO 10467 [42], [43]

Измерительные инструменты и испытательное оборудование:
- рулетка, лекала, нутромер, штангенциркуль, микрометр, толщиномер ультразвуковой и толщиномеры покрытий для проведения визуального контроля;
- стенд для испытаний на герметичность;
- оборудование для подготовки образцов;
- машина для обеспечения деформации сжатия поперечного сечения образца;
- универсальная разрывная машина для испытаний образцов на растяжение;
- термокамера для испытаний образцов на изменение длины после прогрева.

Таблица Б4 – Испытания для труб и фасонных изделий из ВЧШГ, а также стальных электросварных прямошовных труб и фасонных изделий

№ п/п	Наименование испытаний	Нормативный документ, согласно которому проводится испытание
1	Испытания на растяжение (определения временного сопротивления, предела текучести, относительного удлинения)	ГОСТ 10006, ГОСТ 1497, ГОСТ 27208, ГОСТ Р ИСО 2531
2	Испытания на твердость	ГОСТ 9012, ГОСТ 27208, ГОСТ Р ИСО 2531
3	Испытания на герметичность	ГОСТ 3845, ГОСТ Р ИСО 2531, DIN EN 545 [32]
4	Испытания на ударную вязкость	ГОСТ 9454, ГОСТ 10708
5	Контроль массы цинкового покрытия	ISO 8179-1 [68]
6	Определение сплошности сварных соединений (УЗК)	ГОСТ 23049, ГОСТ 14782
7	Определение сплошности сварных соединений (РК)	ГОСТ 20426, ГОСТ 7512

Измерительные инструменты и испытательное оборудование:
- рулетка, лекала, нутромер, штангенциркуль, микрометр, толщиномер ультразвуковой и толщиномеры покрытий для проведения визуального контроля;
- стенд для испытаний на герметичность;
- оборудование для подготовки образцов;
- контрольное устройство для определения пластичности металла;
- универсальная разрывная машина для испытаний образцов на растяжение;
- приборы для измерения твердости по Роквеллу и Бринеллю;
- копр маятниковый для определения ударной вязкости металла;
- термостат для нагрева образца;
- ультразвуковой импульсный дефектоскоп, пьезоэлектрические преобразователи, стандартные образцы для ультразвукового контроля сварных соединений;
- радиационные источники излучения, маркировочные знаки размеров, радиографические пленки, металлические и флуоресцирующие усиливающие экраны, кассеты для зарядки пленки, защитные свинцовые экраны, проволочные, канавочные или пластинчатые эталоны для радиографического метода контроля сварных соединений;

Дополнительное оборудование для анализа химического состава и структуры металла:
- оптический спектрометр (ренгеноспектрометр);
- микроскоп металлографический.

Приложение В
(рекомендуемое)

Технические требования к контролю качества сварных соединений РЕ труб

1. При строительстве и реконструкции сетей водоснабжения и водоотведения с применением полиэтиленовых труб для обеспечения требуемого уровня качества производят:

- проверку квалификации сварщиков;
- входной контроль качества применяемых труб, соединительных деталей и материалов;
- технический осмотр сварочных устройств (нагревательного инструмента, сварочного центратора, торцовки, блока питания, программного устройства, вспомогательного инструмента) и другого технологического оборудования;
- систематический операционный контроль качества сборки под сварку и режимов сварки;
- визуальный контроль (внешний осмотр) сварных соединений и инструментальный контроль их геометрических параметров;
- контроль качества выполненных работ при помощи видеокамеры;
- контроль сварных стыковых соединений физическими методами (в объеме не менее 2 %, но не менее одного стыка на каждого сварщика);
- испытания смонтированного трубопровода на прочность и плотность (герметичность) гидравлическим или пневматическим способом согласно СНиП 3.05.04 при его сдаче в эксплуатацию;
- механические испытания сварных соединений.

Проверку сварочных устройств и технологического оборудования следует производить в соответствии с инструкциями по эксплуатации на соответствие паспортным данным и ГОСТ Р ИСО 12176. Дата технического осмотра и его результаты должны быть отражены в «Общем журнале работ».

2. Перед началом оценки качества сварных соединений полиэтиленовых труб необходимо проверить квалификацию сварщика в соответствии с РД 03-495-02 [58]. Сварщик должен, как правило, сварить в условиях, близких к производственным, допускные сварные соединения. Допускные сварные соединения изготавливаются из отрезков полиэтиленовых труб длиной не менее 300 мм, сваренных между собой при помощи деталей с закладными нагревателями или нагретым инструментом встык.

Количество допускных соединений при сварке деталями с закладными нагревателями должно быть не менее одного. Количество допускных соединений при сварке нагретым инструментом встык должно составлять не менее одного – при использовании сварочной техники с высокой степенью автоматизации, двух – при использовании сварочной техники со средней степенью автоматизации, трех – при использовании сварочной техники с ручным управлением.

Допускные сварные соединения независимо от способа сварки подвергают визуальному контролю (внешнему осмотру) и измерительному контролю геометрических параметров. Если по результатам внешнего осмотра сварные соединения не отвечают установленным требованиям, то сварщик выполняет сварку повторно. Отбор сварных соединений для механических испытаний осуществляют после получения положительных результатов визуального и измерительного контроля.

Допускные стыки, сваренные нагретым инструментом встык, подвергают механическим испытаниям на осевое растяжение, ультразвуковому контролю. Допускные сварные соединения, сваренные соединительными деталями с закладными нагревателями, подвергают механическим испытаниям: на сплющивание (для муфт, переходов, тройников, заглушек), на отрыв (для седловых отводов).

При неудовлетворительных результатах механического или ультразвукового испытания хотя бы одного сварного соединения сварщик выполняет сварку их удвоенного количества. Если при повторном контроле получены неудовлетворительные результаты хотя бы по одному из дополнительно сваренных соединений, то сварщик признается не выдержавшим испытания и должен пройти переаттестацию в установленном порядке.

По результатам механических испытаний и ультразвукового контроля допускных сварных соединений оформляются протоколы установленной формы, на основании которых сварщик допускается (не допускается) к проведению сварочных работ.

3. Проверке подвергаются допускные и контрольные соединения, выполненные сварщиком в соответствии с инструкцией завода-изготовителя полиэтиленовой трубы и ГОСТ 16310-80. Вырезку контрольных соединений осуществляют в период производства сварочных работ. Контрольные соединения выполняются в случаях обнаружения нарушений технологии сварки.

4. Сварные соединения, забракованные при внешнем осмотре и измерениях, исправлению не подлежат и должны быть удалены. При неудовлетворительных результатах испытаний сварных соединений необходимо произвести проверку удвоенного числа соединений тем же методом контроля, по которому были получены неудовлетворительные результаты. Если при повторной проверке хотя бы одно из проверяемых соединений окажется неудовлетворительного качества, то сварщик отстраняется от работы и направляется для переаттестации или проверяется сварочная техника, которая использовалась для сварки этих стыков.

5. Обязательным методам испытаний (см. таблицу В1) подвергаются сварные соединения, выполняемые перед началом строительства (допускные стыки) и отбираемые из числа стыков, сваренных каждым сварщиком на объекте (контрольные стыки). Перечень специальных методов испытаний, рекомендуемых к проведению при оценке качества сварных соединений, приведен в таблице В2. Результаты испытаний на длительное растяжение являются факультативными.

Таблица В1 – Перечень обязательных методов испытаний

Метод испытаний	Способ сварки
Внешний осмотр	Нагретым инструментом встык. Деталями с закладными нагревателями
Испытание на осевое растяжение	Нагретым инструментом встык
Ультразвуковой контроль	Нагретым инструментом встык
Испытания на герметичность	Нагретым инструментом встык. Деталями с закладными нагревателями
Испытание на сплющивание	Деталями с закладными нагревателями
Испытание на отрыв	Деталями с закладными нагревателями (только для седловых отводов)

Таблица В2 – Перечень специальных методов испытаний

Метод испытаний	Способ сварки
Испытание на статический изгиб	Нагретым инструментом встык
Испытание при постоянном внутреннем давлении	Нагретым инструментом встык. Деталями с закладными нагревателями
Испытание на длительное растяжение	Нагретым инструментом встык
Испытания на стойкость к удару	Деталями с закладными нагревателями (только для седловых отводов)

6. Внешнему осмотру подвергаются соединения, выполненные любым способом сварки. Рекомендуется иметь на предприятии контрольные образцы соединений, по которым можно вести наглядное сравнение внешнего вида сварных соединений.

Контрольный образец представляет собой сварное соединение труб между собой или с соединительной деталью, отвечающее требованиям ГОСТ 16310-80. Длина контрольного образца должна составлять не менее двух диаметров трубы, при этом сварной шов должен располагаться посередине.

Контрольный образец снабжается опломбированным ярлыком, в котором указывают:

- условное обозначение сваренных труб (соединительных деталей);
- наименование предприятия, выполняющего сварочные работы;
- гриф утверждения образца главным инженером, заверенный печатью, и дата утверждения;
- дату сварки и номер протокола сварочного процесса.

Сварку контрольных образцов производят на сварочном оборудовании, имеющем устройство для автоматического протоколирования сварки и при температуре наружного воздуха, близкой к условиям проведения строительства.

Контрольные образцы хранят на предприятии, выполняющем сварочные работы. Допускается использование типовых контрольных образцов для ряда типоразмеров труб и соединительных деталей.

7. Внешний вид сварных соединений, выполненных сваркой нагретым инструментом встык, должен отвечать следующим требованиям:

- валики сварного шва должны быть симметрично и равномерно распределены по окружности сваренных труб;
- цвет валиков должен быть одного цвета с трубой и не иметь трещин, пор, инородных включений;
- симметричность шва (отношение ширины наружных валиков грата к общей ширине грата) должна быть в пределах 0,3-0,7 в любой точке шва. При сварке труб с соединительными деталями это отношение допускается в пределах 0,2-0,8;
- смещение наружных кромок свариваемых заготовок не должно превышать 10 % толщины стенки трубы (детали);
- впадина между валиками грата (линия сплавления наружных поверхностей валиков грата) не должна находиться ниже наружной поверхности труб (деталей);
- угол излома сваренных труб или трубы и соединительной детали не должен превышать 5°.

8. Размеры валиков наружного грата швов зависят от толщины стенки и материала свариваемых труб (деталей). В таблице В3 приведены данные, полученные при сварке труб (деталей) из ПЭ 100.

Таблица В3 – Размеры валиков наружного грата швов

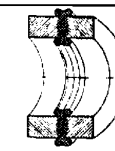
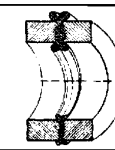
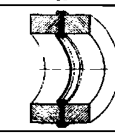
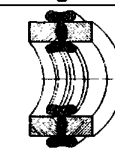
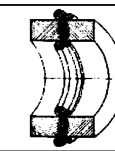
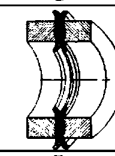
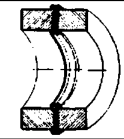
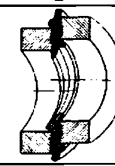
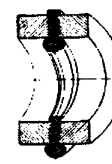
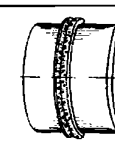
Параметры наружного грата	Условное обозначение труб					
	SDR 11 63 x 5,8	*SDR 11 75 x 6,8*	*SDR 17,6 90 x 5,2*	*SDR 11 90 x 8,2*	*SDR 17,6 110 x 6,3*	*SDR 11 110 x 10*
Высота h, мм	1,1-2,3	1,5-2,6	1,1-2,3	1,9-3,4	1,5-2,6	1,9-3,4
Ширина b, мм	3,0-4,5	3,8-5,3	3,0-4,5	4,5-6,4	3,4-4,9	4,9-7,5
	SDR 17,6 125 x 7,1	*SDR 11 125 x 11,4*	*SDR 17,6 140 x 8,0*	*SDR 11 140 x 12,7*	*SDR 17,6 160 x 9,1*	*SDR 11 160 x 14,6*
Высота h, мм	1,5-3,0	2,3-3,8	1,9-3,4	2,3-3,8	1,9-3,4	2,3-3,8
Ширина b, мм	4,1-5,6	6,4-9,0	4,5-6,4	6,8-9,8	4,5-7,1	7,5-11,3
	SDR 17,6 180 x 10,2	*SDR 11 180 x 16,4*	*SDR 17,6 200 x 11,4*	*SDR 11 200 x 18,2*	*SDR 17,6 225 x 12,8*	*SDR 11 225 x 20,5*
Высота h, мм	1,9-3,4	2,6-4,1	2,3-3,8	3,0-4,5	2,3-3,8	3,4-4,9
Ширина b, мм	4,9-7,9	8,3-12,0	6,4-9,0	9,8-13,5	6,8-9,8	10,5-15,8
	SDR 17,6 250 x 14,2	*SDR 11 250 x 22,7*	*SDR 17,6 280 x 15,9*	*SDR 11 280 x 25,4*	*SDR 17,6 315 x 17,9*	*SDR 11 315 x 28,6*
Высота h, мм	2,3-3,8	3,4-5,6	2,6-4,1	3,8-6,0	3,0-4,5	4,1-6,8
Ширина b, мм	7,1-10,9	12,4-17,6	8,3-12,4	12,8-19,5	9,8-13,5	14,3-21,0

Определение размеров валиков производится непосредственно на сварном шве в условиях строительства. Допускается производить определение расположения впадины между валиками грата и замер самих валиков после срезания наружного грата по всему периметру трубы. Срезание наружного грата должно производиться при помощи специальных приспособлений, не наносящих повреждений телу трубы и не выводящих толщину стенки за пределы допускаемых отклонений.

9. Критерии оценки внешнего вида соединений, выполненных нагретым инструментом встык, приведены в таблице В4. Результаты внешнего осмотра и проверки размеров сварочного грата соединений, выполненных сваркой нагретым инструментом встык, считают положительными, если они отвечают требованиям п. 7 и критериям, приведенным таблицах В3 и В4.

Отдельные наружные повреждения валиков сварного шва (срезы, сколы, вдавленности от клеймения стыка) протяженностью не более 20 мм и не затрагивающие основного материала трубы считать браком не следует.

Таблица В4 – Критерии оценки внешнего вида сварных стыковых соединений

Оценка внешнего вида			Графическое изображение
краткое описание	критерии оценки	соблюдение параметров сварки	
1. Хороший шов с гладкими и симметричными валиками грата округлой формы	Размеры наружного грата и внешний вид шва соответствуют требованиям качества (см. п. 7)	Соблюдение всех технологических параметров сварки в пределах нормы	
2. Брак. Шов с несимметричными валиками грата одинаковой высоты в одной плоскости, но различной в противоположных точках шва	Различие по высоте более 50 % в противоположных точках шва	Превышение допустимого зазора между торцами труб перед сваркой	
3. Брак. Малый грат округлой формы	Величина наружного грата по высоте и ширине меньше верхних предельных значений, приведенных в таблице Г3	Недостаточное давление при осадке шва или малое время прогрева	
4. Брак. Большой грат округлой формы	Величина наружного грата по высоте и ширине больше верхних предельных значений, приведенных в таблице Г3	Чрезмерное время прогрева или повышенная температура нагревателя	
5. Брак. Несимметричный грат по всей окружности шва	Различие по высоте и ширине валиков грата по всей окружности шва превышает 40 %	Различный материал свариваемых труб или деталей или различная толщина стенки труб	
6. Брак. Высокий и узкий грат, как правило, не касающийся краями трубы	Высота валиков грата больше или равна его ширине	Чрезмерное давление при осадке стыка при пониженной температуре нагревателя	
7. Брак. Малый грат с глубокой впадиной между валиками	Устье впадины расположено ниже наружной и выше внутренней образующих труб	Низкая температура нагревателя при недостаточном времени прогрева	
8. Брак. Неравномерность (асимметричность) валиков грата	Различие по высоте валиков грата в одной плоскости более 40 % с одновременным смещением образующих труб более 10 % толщины стенки	Смещение труб относительно друг друга	
9. Брак. Неравномерное распределение грата по периметру шва	Высота грата в месте неравномерного выхода больше его ширины, впадина между валиками грата нечетко выражена или отсутствует. В противоположной точке шва грат имеет размеры, меньшие на 50 % и более	Смещение нагревателя в процессе прогрева	
10. Брак. Шов с многочисленными наружными раковинами по периметру, с концентрацией по краям грата с возможными следами поперечного растрескивания	Многочисленные раковины, расположенные вплотную друг к другу	Чрезмерная температура нагревателя, значение которой выше температуры деструкции полиэтилена	

Измерения швов проводят как минимум в двух взаимопротивоположных зонах по периметру шва.

Контроль ширины и высоты наружного грата осуществляют штангенциркулем по ГОСТ 166.

Допускается использование шаблонов с проходным и непроходным размерами.

Для контроля симметричности валиков наружного грата по ширине производится их замер с помощью измерительной лупы ЛИ-3х, рассчитывается отношение замеренных размеров с округлением до целого значения. Расчет симметричности валиков наружного грата по высоте производится аналогично.

Для измерения смещения кромок может применяться специальный шаблон, который устанавливается по образующей одной из труб, прижимая его к трубе в околошовной зоне. Из-за смещения кромок при этом на другом конце опорной площадки шаблона наблюдается его подъем над поверхностью трубы. С помощью щупа производится замер зазора между поверхностью заготовки и пяткой шаблона. Далее рассчитывается отношение (в процентах) измеренного абсолютного значения смещения кромок к номинальной толщине стенки трубы. Расчет производится с округлением до целого значения процента.

10. Внешний вид сварных соединений, выполненных при помощи деталей с закладными нагревателями, должен отвечать следующим требованиям:

- трубы за пределами соединительной детали должны иметь следы механической обработки (зачистки);
- индикаторы сварки деталей должны находиться в выдвинутом положении;
- угол излома сваренных труб или трубы и соединительной детали не должен превышать 5°;
- поверхность деталей не должна иметь следов температурной деформации или сгоревшего полиэтилена;
- по периметру детали не должно быть следов расплава полиэтилена, возникшего в процессе сварки.

Критерии оценки внешнего вида соединений, выполненных при помощи муфт, тройников, отводов и переходов с закладными нагревателями, приведены в таблице В5.

Критерии оценки внешнего вида соединений, выполненных при помощи седловых отводов с закладными нагревателями, приведены в таблице В6.

Результаты внешнего осмотра сварных соединений, выполненных при помощи деталей с закладными нагревателями, считают положительными, если они отвечают требованиям п. 7 и критериям, приведенным в таблицах В5 и В6.

Таблица В5 – Критерии оценка внешнего вида седловых отводов с закладными нагревателями

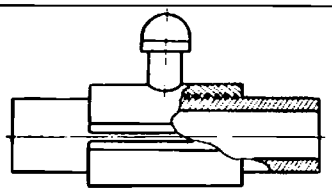
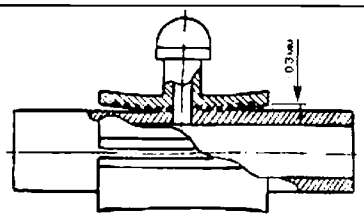
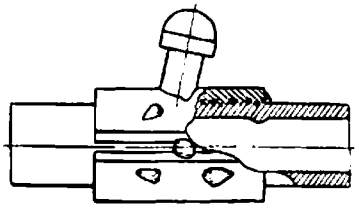
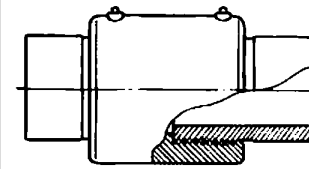
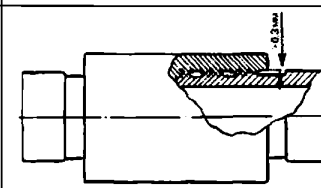
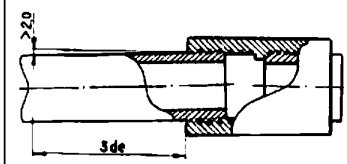
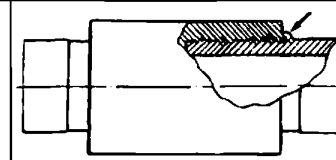
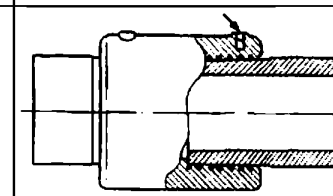
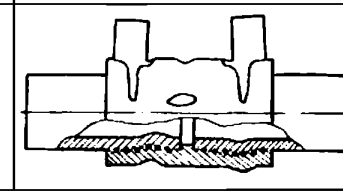
Оценка внешнего вида			Графическое изображение
краткое описание	критерии оценки	соблюдение параметров сварки	
1. Хорошее соединение, отвод плотно облегает поверхность трубы	Гладкая поверхность отвода без искривлений и зазоров	Соблюдение технологических операций и параметров сварки в пределах нормы	
2. Брак. Зазор между охватывающей частью седлового отвода и трубой	Более 0,3 мм	Чрезмерная обработка поверхности трубы или недостаточное усилие прижатия отвода	
3. Брак. Температурная деформация наружной поверхности отвода	Появление гофра на поверхности	Чрезмерное время нагрева или напряжение питания	

Таблица В6 – Критерии оценки внешнего вида сварных соединений, выполненных при помощи муфт, тройников, отводов и переходов с закладными нагревателями

Оценка внешнего вида			Графическое изображение
краткое описание	критерии оценки	соблюдение параметров сварки	
1. Хорошее соединение, деталь плотно охватывает концы свариваемых труб	Гладкая поверхность детали без видимых зазоров	Соблюдение технологических операций и параметров сварки в пределах нормы	
2. Брак. Зазор между охватывающей частью детали и трубой	Более 0,3 мм	Чрезмерная обработка поверхности трубы или эллипсность трубы	
3. Брак. Непараллельность (искривление осей трубы и детали)	Более 2 мм на длине L = 3de	Недостаточное заглубление концов труб внутрь детали или деформация соединения до его остывания	
4. Брак. Частичное появление расплава полиэтилена по торцам детали	Не допускается	Сдвиг трубы в процессе сварки или смещение спирали	
5. Брак. Индикаторы сварки в исходном положении	Не допускается	Недостаточное время сварки или недостаточное напряжение, подаваемое на спираль детали	
6. Брак. Местное расплавление поверхности детали	Не допускается	Чрезмерное время нагрева или напряжение питания	

11. Испытаниям на осевое растяжение подвергаются соединения, выполненные сваркой нагретым инструментом встык. Критерием определения качества сварного соединения, выполненного сваркой встык, является характер разрушения образцов.

Различают три типа разрушения:

Тип I – наблюдается после формирования «шейки», типичного сужения площади поперечного сечения образца во время растяжения на одной из половин испытываемого образца, разрушение наступает, как правило, не ранее чем при достижении относительного удлинения более 50 % и характеризует высокую пластичность, линия разрыва проходит по основному материалу и не пересекает плоскость сварки;

тип II – отмечается при достижении предела текучести в момент начала формирования «шейки», разрушение наступает при небольших величинах относительного удлинения, как правило, не менее 20 и не более 50 % и характеризует низкую пластичность, линия разрыва пересекает плоскость сварки, но носит вязкий характер;

тип III – происходит до достижения предела текучести и до начала формирования «шейки», разрушение наступает при удлинении образца, как правило, не более 20 % и характеризует хрупкое разрушение, линия разрыва проходит точно по плоскости сварки.

Результаты испытания считаются положительными, если при испытании на осевое растяжение не менее 80 % образцов имеют пластичный характер разрушения I типа. Остальные 20 % образцов могут иметь характер разрушения II типа. Разрушение III типа не допускается. При хрупком разрыве по шву для определения причин разрушения анализируются характер излома и дефекты шва.

При испытании на осевое растяжение определяют также относительное удлинение при разрыве (по ГОСТ 11262, за исключением п. 1.5 и 4.2, последний абзац). Методика проведения испытаний образцов сварных стыковых соединений на осевое растяжение приведена в Приложении П к СП 42-103.

12. Ультразвуковому контролю подвергаются соединения полиэтиленовых труб, выполненные сваркой нагретым инструментом встык и соответствующие требованиям визуального контроля (внешнего осмотра). Количество сварных соединений, подвергаемых ультразвуковому контролю, следует определять по СНиП 3.05.04.

К выполнению работ по ультразвуковому контролю допускаются специалисты, имеющие сертификат установленной формы на право проведения контроля не ниже второго уровня квалификации по акустическим методам контроля, а также удостоверение о дополнительном обучении по контролю сварных стыковых соединений полиэтиленовых трубопроводов.

С помощью ультразвукового контроля должны выявляться внутренние дефекты типа несплавлений, трещин, отдельных или цепочек (скоплений) пор, включений. Критерии оценки качества при помощи ультразвукового контроля сварных стыковых соединений полиэтиленовых труб приведены в Приложении Р к СП 42-103.

Дефекты сварных стыковых соединений полиэтиленовых газопроводов по результатам ультразвукового контроля относят к одному из следующих видов:

- одиночные (поры, механические включения, примеси);
- протяженные (несплавления, трещины, удлиненные поры и включения, цепочки или скопления пор, включений).

Оценка качества сварных стыковых соединений полиэтиленовых газопроводов производится по следующим признакам:

- максимально допустимой площади дефекта (амплитудный критерий);
- по условной протяженности дефекта (амплитудно-временной критерий);
- по количеству допустимых дефектов на периметре стыка.

Предельно допустимые размеры и количество дефектов приведены в Приложении С к СП 42-103. В случае определения разных значений условной протяженности дефекта при контроле сварного шва с двух его сторон оценка качества производится по большему из них.

13. Испытаниям на сплющивание подвергают соединения, полученные сваркой при помощи деталей муфтового типа (муфт, переходов, отводов, тройников, заглушек и т.п.) с закладными нагревателями. Испытания проводят на образцах-сегментах путем сжатия труб у торца соединения до величины, равной двойной толщине стенки. Стойкость сварного шва к сплющиванию характеризуется процентом отрыва, который является отношением длины сварного шва, не подвергнувшейся отрыву, к полной длине сварного шва в пределах одной трубы. Результаты испытаний считают положительными, если на всех испытанных образцах отрыв не наблюдался или если отношение длины шва, не подвергнутой отрыву, к общей измеренной длине шва составляет не менее 40 %. Методика проведения испытаний сварных соединений на сплющивание приведена в Приложении Т к СП 42-103.

14. Испытаниям на отрыв подвергают сварные соединения труб и седловых отводов с закладными нагревателями. Сварное соединение подвергается испытанию целиком и продолжается до полного отделения седлового отвода от трубы. В результате испытания соединения излом в месте сварки седлового отвода с трубой должен иметь полностью или частично пластичный характер разрушения по замкнутому периметру сварного шва. Хрупкое разрушение не допускается. В процессе проведения испытаний фиксируется также разрушающая нагрузка. Методика проведения испытания сварных соединений на отрыв приведена в Приложении У к СП 42-103.

15. Испытаниям на статический изгиб подвергаются соединения, выполненные сваркой нагретым инструментом встык. Испытания проводят на образцах-полосках с расположенным по центру сварным швом. При испытании на статический изгиб определяется угол изгиба образца, при котором появляются первые признаки разрушения. Результаты испытания считаются положительными, если испытываемые образцы выдерживают без разрушения и появления трещин изгиб на угол не менее 160°. Методика проведения испытаний приведена в Приложении Ф к СП 42-103.

16. Испытаниям при постоянном внутреннем давлении подвергаются сварные соединения, выполненные как сваркой нагретым инструментом встык, так и сваркой при помощи деталей с закладными нагревателями. Испытания проводятся в соответствии с ГОСТ 24157.

При испытании определяется стойкость при постоянном внутреннем давлении в течение заданного промежутка времени при нормальной и повышенной температурах и определенной величине начального напряжения в стенке трубы. Результаты испытаний считаются положительными, если все испытуемые образцы не разрушились до истечения контрольного времени испытания или разрушился один из образцов, но при повторных испытаниях ни один из образцов не разрушился. Методика проведения испытаний на внутреннее давление приведена в Приложении Х к СП 42-103.

17. Испытание сварных соединений на длительное растяжение проводится для определения длительной несущей способности сварных соединений, выполненных сваркой нагретым инструментом встык. Одновременно с испытанием оцениваемых образцов сварных швов при тех же условиях испытывают образцы других сварных соединений, сваренных при оптимальных параметрах сварки (базовые стыки). Образцы оцениваемых сварных соединений и базовые стыки должны быть изготовлены из одной марки материала и одной партии труб.

Испытания проводят до появления трещин не менее чем у 50 % испытываемых образцов. Результаты испытания сравниваются по среднему значению времени до появления трещин. По мере проведения испытаний образцы должны подвергаться периодическому внешнему осмотру с целью выявления хрупкого излома и трещин в зоне шва. Изломы в области зажимов не учитываются. Результаты испытания считаются положительными, если образцы оцениваемых сварных соединений имеют среднее значение времени до появления трещин не ниже значений, полученных для базовых стыковых соединений. Методика проведения испытаний приведена в Приложении Ц к СП 42-103.

18. Испытаниям на стойкость к удару подвергаются соединения, выполненные при помощи крановых седловых отводов. Испытания проводят на образцах в виде патрубков с расположенным посередине седловым отводом. При испытании на стойкость к удару определяется способность образца выдержать внутреннее пневматическое давление (0,6 ± 0,05) МПа в течение 24 ч после нанесения по нему двух ударов падающим грузом массой (5,0 ± 0,05) кг. Результаты испытания считаются положительными, если оцениваемые образцы выдерживают испытание при отсутствии видимых разрушений и разгерметизации. Методика проведения испытаний приведена в Приложении Ш к СП 42-103.

Приложение Г
(рекомендуемое)

Расчет на прочность трубопровода из РЕ 100-RC при подземной прокладке

Прочностной расчет трубопроводов из РЕ 100-RC при подземной прокладке рекомендуется выполнять согласно методике, приведенной в Приложении Д к СП 40-102 (для напорного варианта), с учетом СН 550-82, Пособия к СН 550-82 и ATV-DVWK-A 127 [31].

Выбираем исходные данные для расчета:

- отношение наружного диаметра трубы к толщине стенки SDR – 17;
- наружный диаметр $D_н$ – 315,0 мм;
- кратковременный модуль упругости РЕ 100-RC E_0 – 1050 МПа;
- долговременный модуль упругости РЕ 100-RC E_τ – 200 МПа;
- коэффициент Пуассона РЕ 100-RC μ – 0,32;
- предел текучести РЕ 100-RC при растяжении σ_0 – 22 МПа;
- глубина заложения от уровня земли до верха трубы $H_{гр1}$ – 2,3 м;
- глубина грунтовых вод от уровня земли $H_{гв}$ – 2,0 м;
- удельный вес грунта засыпки траншеи $\gamma_{гр}$ – 0,018 МН/м^3 (суглинки полутвердые, тугомягкие и текучепластичные, категория грунта Г-IV);
- удельный вес грунтовых вод $\gamma_в$ – 0,01 МН/м^3;
- модуль деформации грунта засыпки $E_{гр}$ – 5,5 МПа (для степени уплотнения 0,95);
- коэффициент, учитывающий качество уплотнения постели грунта K_σ – 1 (при периодическом контроле);
- коэффициент, учитывающий запаздывание овализации сечения трубы во времени K_τ – 1,25;
- коэффициент уплотнения грунта $K_{уг}$ – 1;
- коэффициент прогиба K_w – 0,11 (при периодическом контроле);
- коэффициент, учитывающий влияние кольцевой жесткости на овализацию трубы $K_ж$ – 0,15;
- коэффициент, учитывающий влияние грунта засыпки на овализацию трубы $K_{гр}$ – 0,06;
- коэффициент запаса на овализацию трубы $K_{зψ}$ – 1 (для напорных и самотечных трубопроводов);
- коэффициент запаса на устойчивость стенки трубы к действию внешних нагрузок $K_{зу}$ – 3;
- коэффициент запаса при растяжении материала стенки трубы, происходящего в условиях релаксации $K_з$ – 2;
- коэффициент, учитывающий процесс округления овализованной трубы под действием внутреннего давления в трубопроводе $K_{ок}$ = 1 (так как $K_{ок} \le 1$, выбираем значение, когда внутренне давление минимально);
- коэффициент, учитывающий глубину заложения n – 1 (для глубины заложения более 1,0 м);
- нагрузка от транспорта $q_т$ – 0,01 МПа (в условиях строительства по поверхности над трубопроводом возможно перемещение тяжелого транспорта).

Определяем толщину стенки трубы, используя исходные данные

$$s = \frac{D_н}{SDR} = \frac{315{,}0}{17{,}0} = 18{,}5 \text{ мм}. \qquad (Г1)$$

Определяем глубину заложения до оси трубы $H_{гр2}$, используя исходные данные

$$H_{гр2} = H_{гр1} + \frac{D_н}{2} = 2{,}3 + \frac{0{,}315}{2} = 2{,}5 \text{ м}. \qquad (Г2)$$

Определяем грунтовую нагрузку, используя исходные данные и формулу (Г2)

$$q_{гр} = \gamma_{гр} H_{гр2} = 0{,}018 \cdot 2{,}5 = 0{,}044 \text{ МПа}. \qquad (Г3)$$

Определяем нагрузку от грунтовых вод (выталкивающей силой пренебрегаем), используя исходные данные и формулу (Г2)

$$q_{гв} = \gamma_{гв}(H_{гр2} - H_{гв}) = 0{,}01 \cdot (2{,}5 - 2{,}0) = 0{,}005 \text{ МПа}. \quad (Г4)$$

Определяем общую нагрузку, используя формулы (Г3) и (Г4)

$$q_c = q_{гр} + q_{гв} + q_m = 0{,}044 + 0{,}005 + 0{,}01 = 0{,}059 \text{ МПа}. \quad (Г5)$$

Определяем момент инерции сечения трубы на единицу длины, используя формулу (Г1)

$$I = \frac{s^3}{12} = \frac{277{,}9^3}{12} = 530{,}2 \text{ мм}^3/\text{мм}. \quad (Г6)$$

Определяем кратковременную кольцевую жесткость трубы, используя исходные данные и формулы (Г1) и (Г6)

$$G_0 = 53{,}7\frac{E_0 I}{(1-\mu^2)(D_н - s)^3} = 53{,}7\frac{1050 \cdot 530{,}2}{(1-0{,}32^2)(315{,}0-18{,}5)^3} = 1{,}278 \text{ МПа}. \quad (Г7)$$

Определяем длительную кольцевую жесткость трубы, используя исходные данные и формулы (1) и (6)

$$G_\tau = 53{,}7\frac{E_\tau I}{(1-\mu^2)(D_н - s)^3} = 53{,}7\frac{200 \cdot 530{,}2}{(1-0{,}32^2)(315{,}0-18{,}5)^3} = 0{,}243 \text{ МПа}. \quad (Г8)$$

Определяем относительное укорочение вертикального диаметра трубы под действием грунтовой нагрузки, используя исходные данные и формулы (Г3) и (Г7)

$$\psi_{гр} = \frac{K_{ок}K_\tau K_w q_{гр}}{K_ж G_0 - K_{гр}E_{гр}} = \frac{1 \cdot 1{,}25 \cdot 0{,}11 \cdot 0{,}044}{0{,}15 \cdot 1{,}278 - 0{,}06 \cdot 5{,}5} = 0{,}012. \quad (Г9)$$

Определяем укорочение вертикального диаметра трубы под действием транспортной нагрузки, используя исходные данные и формулу (Г7)

$$\psi_m = \frac{K_{ок}K_y K_w q_m}{K_ж G_0 - nK_{гр}E_{гр}} = \frac{1 \cdot 1 \cdot 0{,}11 \cdot 0{,}01}{0{,}15 \cdot 1{,}278 - 1 \cdot 0{,}06 \cdot 5{,}5} = 0{,}002. \quad (Г10)$$

Принимаем укорочение вертикального диаметра трубы в процессе складирования и монтажа $\psi_м = 0{,}02$ (по таблице Д.1 СП 40-102 для $G_0 > 0{,}29$ МПа и степени уплотнения грунта 0,85-0,95) и определяем относительное укорочение вертикального диаметра трубы, используя формулы (Г9) и (Г10)

$$\psi = \psi_{гр} + \psi_m + \psi_м = 0{,}012 + 0{,}002 + 0{,}02 = 0{,}036 \text{ или } 3{,}6\ \% \quad (Г11)$$

Если относительное укорочение вертикального диаметра трубы $\psi > 6$ % (согласно ATV-DVWK-A 127 [31] допустимая деформация не должна превышать 6 %), то рекомендуется выбрать трубу с более высокой кольцевой жесткостью или меньшим *SDR*, или же выбрать грунт засыпки с более высоким модулем деформации.

Определяем коэффициент овальности поперечного сечения трубы, используя формулу (Г11)

$$K_{ов} = 1 - 0{,}7\psi = 1 - 0{,}7 \cdot 0{,}036 = 0{,}975. \quad (Г12)$$

Определяем максимальное значение степени растяжения материала стенки трубы из-за овальности поперечного сечения трубопровода под действием внешних нагрузок, используя исходные данные и формулы (Г1) и (Г11)

$$\varepsilon_p = 4{,}27K_\sigma \frac{s}{D_н}\psi K_{з\psi} = 4{,}27 \cdot 1 \cdot \frac{18{,}5}{315{,}0} \cdot 0{,}036 \cdot 1 = 0{,}009. \quad (Г13)$$

Определяем степень сжатия материала стенки трубы, происходящего под действием внешних нагрузок, используя исходные данные и формулы (Г1) и (Г5)

$$\varepsilon_c = \frac{q_c}{2E_0} \cdot \frac{D_н}{s} = \frac{0{,}059}{2 \cdot 1050} \cdot \frac{315{,}0}{18{,}5} = 0{,}0005. \quad (Г14)$$

Определяем допустимую степень растяжения материала стенки трубы, происходящего в условиях релаксации, используя исходные данные

$$\varepsilon_{pp} = \frac{\sigma_0}{E_\tau K_з} = \frac{22}{200 \cdot 2} = 0{,}055. \qquad (Г15)$$

Определяем допустимую степень растяжения материала в стенке трубы, происходящего в условиях ползучести, используя исходные данные

$$\varepsilon_{pn} = \frac{\sigma_0}{E_0 K_з} = \frac{22}{1050 \cdot 2} = 0{,}01. \qquad (Г16)$$

Проверяем условия прочности трубы, используя формулы (Г13)-(Г16)

$$\frac{\varepsilon_p}{\varepsilon_{pp}} + \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{pn}} = \frac{0{,}009}{0{,}055} + \frac{0{,}0005}{0{,}01} = 0{,}21 \le 1{,}0. \qquad (Г17)$$

Проверяем устойчивость трубы против действия сочетания внешних нагрузок, используя исходные данные и формулы (Г5), (Г8) и (Г12)

$$\frac{K_{уг} K_{ов} \sqrt{n E_{гр} G_\tau}}{K_{зу}} = \frac{1 \cdot 0{,}975 \sqrt{1 \cdot 5{,}5 \cdot 0{,}243}}{3} = 0{,}376 \text{ МПа} \ge q_c = 0{,}059 \text{ МПа}. \qquad (Г18)$$

Таким образом, все расчетные показатели трубопровода полностью удовлетворяют проверкам на допустимые деформации и допустимые нагрузки.

Приложение Д
(рекомендуемое)

Расчет на прочность трубопровода из ВЧШГ при подземной прокладке

Прочностной расчет трубопровода из ВЧШГ при подземной прокладке рекомендуется выполнять согласно методике, приведенной в разделах 5.10-5.12 СП 66.13330 (для самотечного варианта), с учетом ГОСТ Р ИСО 2531, "Water mains" [69].

Выбираем исходные данные для расчета:

- наружный диаметр $D_н$ – 635,0 мм;
- толщина стенки трубы h – 9,9 мм;
- модуль упругости Юнга E – $1{,}7 \cdot 10^5$ Па;
- несущая способность трубы на внутреннее гидростатическое давление незасыпанного трубопровода P^0 – 9,7 МПа;
- расчетное сопротивление материала трубы на растяжение R_p – 300 МПа (при доверительной вероятности $p^* \geq 0{,}997$);
- глубина заложения от уровня земли до верха трубы H – 2,2 м;
- глубина грунтовых вод от уровня земли $H_{гв}$ – 2,0 м;
- удельный вес грунтовых вод $\gamma_в$ – 0,01 МН/м^3;
- удельный вес грунта засыпки траншеи $\gamma_{гр}$ – 17,7 кН/м^3 (суглинки, пески пылеватые, категория грунта Г-III);
- модуль деформации грунта засыпки $E_{гр}$ – 2,2 МПа (для нормальной степени уплотнения);
- расчетное внутреннее гидростатическое давление в трубопроводе $P_{раб}$ – 1,6 МПа;
- атмосферное давление при образовании в трубопроводе вакуума $P_{вак}$ – 0,1 МПа;
- безразмерный коэффициент, используемый для обозначения класса труб, k – 9;
- коэффициент, учитывающий заложение откоса, $m_{3,0}$ – 0,5 (при укладке в траншее с наклонными стенками на плоское основание);
- коэффициент, учитывающий выступание трубы, χ – 0,98 (при опирании на плоское грунтовое основание);
- коэффициент, учитывающий перегрузки для внешних нагрузок, n – 1,15 (при вертикальном давлении грунта), n – 1,1 (при вертикальном давлении транспорта, например НГ-60), n – 1,1 (при собственной массе трубопровода), n – 1,0 (при массе наполнителя), n – 1,0 (при горизонтальном давлении транспорта), n – 0,8 (при горизонтальном давлении грунта);
- коэффициент, учитывающий боковое давление грунта, $\lambda_{гр}$ – 0,05 (для нормальной степени уплотнения);
- коэффициент, учитывающий боковое давление грунта, $\lambda_н$ – 0,2 (для нормальной степени уплотнения);
- динамический коэффициент, учитывающий подвижную нагрузку, μ_m – 1 (зависит от глубины заложения трубопровода);
- коэффициент, зависящий от схемы распределения нагрузок и опорной реакции, с учетом активного влияния бокового давления грунта, f – 1;
- коэффициент, учитывающий условия работы материала труб, m – 1 (при доверительной вероятности $p^* \geq 0{,}997$);
- равномерно распределенное давление от транспортной нагрузки q_m – 16,5 кН/м^2 (для НГ-60).

Выполняем вычисление нагрузок от давления грунта засыпки.

Определяем ширину траншеи с наклонными стенками в соответствии с СП 45.13330, используя исходные данные:

$$B_1 = D_н + 0{,}6 = 0{,}635 + 0{,}6 = 1{,}235 \text{ м}. \qquad (Д1)$$

Определяем ширину траншеи по верху трубы, используя исходные данные и формулу (Д1):

$$B = B_1 + 2D_н m_{3,0} = 1{,}235 + 2 \cdot 0{,}635 \cdot 0{,}5 = 1{,}87 \text{ м}. \quad (Д2)$$

Определяем среднюю ширину траншеи на высоте *1/2* от верха трубы, используя исходные данные и формулу (Д1):

$$B_{ср} = B_1 + 2(D_н + \frac{H}{2})m_{3,0} = 1{,}235 + 2 \cdot (0{,}635 + \frac{2{,}2}{2}) \cdot 0{,}5 = 2{,}96 \text{ м}. \quad (Д3)$$

Используя расчетные данные полученные в формуле (Д3) и отношения $H/B_{ср} = 2/2{,}96 = 0{,}7$ в зависимости от категории грунтов, принимаем по таблице 5.6 СП 66.13330 коэффициент $K_{тр}$, учитывающий действие сил трения между засыпкой и стенками трубы, $K_{тр} = 0{,}896$.

Определяем параметр, характеризующий жесткость грунта засыпки, используя исходные данные:

$$P_{гр} = 0{,}125E_{гр} = 0{,}125 \cdot 2{,}2 = 0{,}275 \text{ МПа}. \quad (Д4)$$

Определяем параметр, характеризующий жесткость трубопровода, состоящего из отдельных раструбных труб, используя исходные данные:

$$P_л = 2E\left(\frac{h}{D_н - h}\right)^3 = 2 \cdot 1{,}7 \cdot 10^5 \cdot \left(\frac{9{,}9}{635 - 9{,}9}\right)^3 = 1{,}35 \text{ МПа}. \quad (Д5)$$

Определяем коэффициент, учитывающий разгрузку трубы от бокового давления грунта засыпки, используя исходные данные:

$$\psi = \frac{1}{1 + \frac{2P_{гр}(B - D_н)}{P_л \chi D_н}} = \frac{1}{1 + \frac{2 \cdot 0{,}275 \cdot (1{,}87 - 0{,}635)}{1{,}35 \cdot 0{,}98 \cdot 0{,}635}} = 0{,}553 \text{ МПа}. \quad (Д6)$$

Определяем коэффициент концентрации давления грунта засыпки при укладке труб на ненарушенный грунт в насыпи, используя исходные данные:

$$K_н = \frac{3(P_л + P_{гр})}{2(P_л + 2P_{гр})} = \frac{3 \cdot (1{,}35 + 0{,}275)}{2 \cdot (1{,}35 + 2 \cdot 0{,}275)} = 1{,}283. \quad (Д7)$$

Для определения расчетной зависимости по определению вертикальной нагрузки от давления грунта засыпки, сравниваем произведения $BK_{тр}\psi$ и $D_н K_н$, используя исходные данные и формулы (Д2) и (Д7):

$$\begin{aligned} BK_{тр}\psi &= 1{,}87 \cdot 0{,}896 \cdot 0{,}553 = 0{,}927, \\ D_н K_н &= 0{,}635 \cdot 1{,}283 = 0{,}815. \end{aligned} \quad (Д8)$$

Так как $BK_{тр}\psi < D_н K_н$, то определение вертикальной нагрузки от давления грунта засыпки производим по формуле:

$$Q_т = n\gamma BK_{тр}\psi = 1{,}15 \cdot 17{,}7 \cdot 2{,}183 \cdot 0{,}98 \cdot 0{,}635 \cdot 1{,}283 = 35{,}477 \text{ кН/м}. \quad (Д9)$$

Определяем равнодействующую расчетной горизонтальной нагрузки от бокового давления грунта, используя исходные данные:

$$Q_г = n\gamma(H + \frac{D_н}{2})D_н \lambda_н = 0{,}8 \cdot 17{,}7 \cdot (2{,}2 + \frac{0{,}635}{2}) \cdot 0{,}635 \cdot 0{,}2 = 6{,}21 \text{ кН/м}. \quad (Д10)$$

Выполняем вычисление нагрузки от давления наземного транспорта.

Определяем равнодействующую расчетной вертикальной нагрузки от давления наземного транспорта, используя исходные данные и формулу (Д7):

$$Q_{тр}^{в} = nq_{тр}D_н \mu_т K_н = 1{,}1 \cdot 16{,}5 \cdot 0{,}635 \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}283 = 14{,}787 \text{ кН/м}. \quad (Д11)$$

Определяем равнодействующую расчетной горизонтальной нагрузки от давления наземного транспорта, используя исходные данные:

$$Q_{тр}^{г} = nq_{тр}\chi D_н \lambda_н = 1 \cdot 16{,}5 \cdot 0{,}98 \cdot 0{,}635 \cdot 0{,}2 = 2{,}054 \text{ кН/м}. \quad (Д12)$$

Определяем равнодействующую расчетной вертикальной нагрузки от собственного веса трубопровода, используя исходные данные:

$$Q_1 = n\pi\gamma_{тр}h(D_н - h) = 1{,}1 \cdot 3{,}14 \cdot 72{,}6 \cdot 0{,}0099 \cdot (0{,}635 - 0{,}0099) = 1{,}552 \text{ кН/м}. \quad (Д13)$$

Определяем равнодействующую расчетной вертикальной нагрузки от веса транспортируемой воды, используя исходные данные:

$$Q_2 = 0{,}25n\pi\gamma_{тр}D_{вн}^2 b = 0{,}25 \cdot 1 \cdot 3{,}14 \cdot 9{,}8 \cdot (0{,}635 - 2 \cdot 0{,}0099)^2 \cdot 1 = 2{,}912 \text{ кН/м}. \quad (Д14)$$

Определяем внешнее гидростатическое давление от грунтовых вод, используя исходные данные:

$$P_г = \gamma_{гв}(H - H_{гв}) = 0{,}01 \cdot (2{,}2 - 2{,}0) = 0{,}002 \text{ МПа}. \quad (Д15)$$

Выполняем вычисление прочности при действии на трубопровод внешних нагрузок.

А) При действии на трубопровод давления грунта засыпки, передвижных транспортных средств, собственного веса трубы, внешнего гидростатического давления, веса транспортируемой воды:

Определяем расчетный изгибающий момент от действия грунтовой и транспортной нагрузок при укладке на плоское основание, используя исходные данные и формулы (Д9) и (Д11):

$$M_B^{'} = 0{,}235(Q_т^в + Q_{тр}^в)r_{ср} = 0{,}235 \cdot (35{,}477 + 14{,}787) \cdot 0{,}3175 = 3{,}75 \text{ кН/м}. \quad (Д16)$$

Определяем расчетный изгибающий момент от действия веса воды и собственного веса трубопровода при укладке на плоское основание, используя исходные данные и формулы (Д13) и (Д14):

$$M_B^{''} = 0{,}18(Q_1 + Q_2)r_{ср} = 0{,}18 \cdot (1{,}552 + 2{,}912) \cdot 0{,}3175 = 0{,}255 \text{ кН/м}. \quad (Д17)$$

Определяем расчетный изгибающий момент от действия горизонтальных нагрузок, используя исходные данные и формулы (Д10) и (Д12):

$$M_г = -0{,}125(Q_г + Q_{тр}^г)r_{ср} = -0{,}125 \cdot (6{,}21 + 2{,}054) \cdot 0{,}3175 = -0{,}328 \text{ кН/м}. \quad (Д18)$$

Определяем максимальный изгибающий момент от действия грунтовой и транспортной нагрузок, используя исходные данные и формулы (Д16), (Д17) и (Д18):

$$M = M_B^{'} + M_B^{''} + M_г = 3{,}75 + 0{,}255 - 0{,}328 = 3{,}677 \text{ кН/м}. \quad (Д19)$$

Определяем расчетную линейную приведенную эквивалентную нагрузку, используя исходные данные и формулу (Д19):

$$Q_{пр}^o = \frac{M}{0{,}318r_{ср}} = \frac{3{,}677}{0{,}318 \cdot 0{,}3175} = 36{,}419 \text{ кН/м}. \quad (Д20)$$

Определяем коэффициент, учитывающий влияние поддерживающего действия (отпора) грунта, используя исходные данные и формулы (Д4), (Д5) и (Д15):

$$\xi = \frac{1}{1 + \dfrac{P_{гр}}{P_л + 0{,}413P_г}} = \frac{1}{1 + \dfrac{0{,}275}{1{,}35 + 0{,}413 \cdot 0{,}002}} = 0{,}831 \text{ кН/м}. \quad (Д21)$$

Определяем предельную раздавливающую внешнюю нагрузку, действующую на трубопровод, уложенный в грунте, используя исходные данные и формулу (Д21):

$$Q_г^o = \frac{mRh^2}{0{,}95\xi D_н} = \frac{1{,}0 \cdot 300 \cdot 9{,}9^2}{0{,}95 \cdot 0{,}831 \cdot 635} = 57{,}653 \text{ кН/м}. \quad (Д22)$$

Для труб класса К-9 $Q_г^o$ =47,0 кН/м.

Рассчитываем коэффициенты запаса прочности:

$$K_o^{'} = \frac{58{,}653}{36{,}419} = 1{,}61, \; K_o^{''} = \frac{47{,}0}{36{,}419} = 1{,}29. \quad (Д23)$$

Условие прочности соблюдается.

Б) При действии грунта засыпки, атмосферного давления при образовании в трубопроводе вакуума, собственного веса трубопровода, веса воды:

Суммарный момент от действия этих нагрузок, без учета транспортных нагрузок $M = 2{,}647 + 0{,}255 - 0{,}247 = 2{,}655$ кН/м, тогда расчетная приведенная нагрузка по формуле (Д20) равна 26,296 кН/м.

Определяем коэффициент, учитывающий влияние отпора грунта при образовании в трубопроводе вакуума, используя исходные данные и формулы (Д4), (Д5) и (Д15):

$$\xi_в = \frac{1}{1 + \dfrac{P_{гр} - P_в}{P_л + 0{,}413 P_г}} = \frac{1}{1 + \dfrac{0{,}275 - 0{,}1}{1{,}35 + 0{,}413 \cdot 0{,}002}} = 0{,}885 \text{ кН/м}. \qquad (Д24)$$

Определяем предельно допустимую раздавливающую внешнюю нагрузку при образовании в трубопроводе вакуума:

$$Q_г^o = \frac{mRh^2}{0{,}95 \xi_в D_н} = \frac{1{,}0 \cdot 300 \cdot 9{,}9^2}{0{,}95 \cdot 0{,}885 \cdot 635} = 55{,}075 \text{ кН/м}. \qquad (Д25)$$

Условие прочности соблюдается: 55,075 кН/м > 36,419 кН/м, коэффициент запаса прочности $K = 55{,}075/26{,}296 = 2{,}094$.

Расчеты показали, что труба из ВЧШГ диаметром 635 мм класса К-9 удовлетворяет требованиям надежной работы подземного напорного трубопровода при образовании вакуума.

Выполняем вычисление устойчивости при воздействии на трубопровод внешних нагрузок.

Определяем критическое внешнее равномерное давление исходя из условия: $P_{гр} < \dfrac{P_л}{4}$, получаем, что $P_{гр} = 0{,}275$ МПа < 0,338 МПа, тогда $q_{кр} = P_л = 1{,}35$ МПа.

Определяем равномерно распределенное давление от действующей нагрузки с учетом q_1 и без учета q_2 воздействия транспортных нагрузок:

а) при действии на трубопровод внешних нагрузок:

$$q_1 = \frac{Q_{экв}}{D_н} = \frac{36{,}419}{63{,}5} = 0{,}574 \text{ МПа} \Rightarrow K_o = \frac{q_{кр}}{q_1} = \frac{1{,}35}{0{,}574} = 2{,}352. \qquad (Д26)$$

$$q_2 = \frac{Q_{экв}}{D_н} = \frac{26{,}296}{63{,}5} = 0{,}414 \text{ МПа} \Rightarrow K_o = \frac{q_{кр}}{q_1} = \frac{1{,}35}{0{,}414} = 3{,}261. \qquad (Д27)$$

б) при образовании в трубопроводе вакуума:

$$q_1 = \frac{Q_{экв}}{D_н} + P_в = \frac{36{,}419}{63{,}5} + 0{,}1 = 0{,}674 \text{ МПа} \Rightarrow K_o = \frac{q_{кр}}{q_1} = \frac{1{,}35}{0{,}674} = 2{,}003. \qquad (Д28)$$

$$q_2 = \frac{Q_{экв}}{D_н} + P_в = \frac{26{,}296}{63{,}5} + 0{,}1 = 0{,}514 \text{ МПа} \Rightarrow K_o = \frac{q_{кр}}{q_1} = \frac{1{,}35}{0{,}514} = 2{,}627. \qquad (Д29)$$

Условиям устойчивости трубопровод удовлетворяет.

Выполняем вычисление жесткости (по деформации) при внешнем нагружении расчетной приведенной нагрузкой.

Определяем допустимый прогиб труб с цементно-песчаным покрытием в грунте, используя исходные данные и формулы (Д5), (Д20) и (Д21):

$$f = \frac{Q_{пр}^o}{4 P_л} \xi = \frac{36{,}419 \cdot 0{,}831}{4 \cdot 1{,}35} = 5{,}6 \text{ мм}. \qquad (Д30)$$

$$5{,}6 \le 0{,}03 \cdot 635 = 19{,}05 \text{ мм}. \qquad (Д31)$$

Коэффициент запаса прочности в этом случае $K_o = 19{,}05/5{,}6 = 3{,}4$.

Расчеты показали, что при заданных параметрах внешней нагрузки трубы из ВЧШГ диаметром 600 мм класса К-9 полностью удовлетворяют требованиям по прочности, устойчивости и жесткости от воздействия внешних нагрузок.

Производим проверку трубопровода на комбинированную нагрузку для незасыпанного и засыпанного трубопроводов.

Определяем несущую способность трубы на внутреннее гидростатическое давление засыпанного трубопровода, используя исходные данные:

$$P^o = \frac{R_p h}{r_o} = \frac{300 \cdot 9{,}9}{307{,}6} = 9{,}655 \text{ МПа}. \quad (Д32)$$

Определяем значение допустимого внутреннего давления для труб класса К-9 соответственно для незасыпанного и засыпанного трубопроводов, используя исходные данные и формулы (Д20) и (Д32):

$$P'_{доп} = P^o(1 - \frac{Q^o_{пр}}{Q^o}) = 9{,}7 \cdot (1 - \frac{36{,}419}{47{,}0}) = 2{,}184 \text{ МПа}. \quad (Д33)$$

$$P''_{доп} = P^o(1 - \frac{Q^o_{пр}}{Q^o}) = 9{,}655 \cdot (1 - \frac{36{,}419}{58{,}79}) = 3{,}674 \text{ МПа}. \quad (Д34)$$

Для трубы диаметром 600 мм по данным таблицы 5.14 СП 66.13330 $P_{доп} = 3{,}6$ МПа, заданное рабочее давление $P_{раб} = 1{,}6$ МПа.

Определяем коэффициенты запаса прочности на внутреннее давление, используя исходные данные и формулы (Д33) и (Д34):

$$K'_o = \frac{2{,}184}{1{,}6} = 1{,}365, \; K''_o = \frac{3{,}674}{1{,}6} = 2{,}296. \quad (Д35)$$

Определяем значение испытательного давления для трубопровода диаметром 600 мм класса К-9, используя исходные данные:

$$P_и = 1{,}25 P_{раб} = 1{,}25 \cdot 1{,}6 = 2{,}0 \text{ МПа}. \quad (Д36)$$

Определяем значение приемочного давления для трубопровода диаметром 600 мм класса К-9, используя исходные данные и формулы (Д36):

$$P_г = P_и + 0{,}5 = 2{,}0 + 0{,}5 = 2{,}5 \text{ МПа}. \quad (Д37)$$

Для расчетов рекомендуется использовать также график несущей способности труб незасыпанного трубопровода, приведенного на рисунке 5.6 СП 66.13330, который позволяет определить значения внешней приведенной нагрузки от заданных величин внутреннего давления и наоборот. Величина допустимого давления из условия прочности в трубопроводе при $Q_{пр} = 36{,}419$ кН/м для трубы класса К-9 равна 2,4 МПа (по графику рисунка 5.6), $P_и = 4{,}5$ МПа, $P_г = 5{,}0$ МПа.

Минимальную диаметральная жесткость трубы диаметром 600 мм класса К-9 определяем по Приложению С-1 к ГОСТ Р ИСО 2531, $S = 41$ кН/м^2.

Определяем фактическую диаметральную жесткость трубы 600 мм, используя исходные данные:

$$S_ф = 1000 \frac{E}{12} \left(\frac{h}{D_н - h} \right)^3 = 1000 \cdot \frac{170000}{12} \cdot \left(\frac{0{,}0099}{0{,}635 - 0{,}0099} \right)^3 = 56{,}3 \text{ МПа}. \quad (Д38)$$

Фактическая диаметральная жесткость больше минимальной, то есть 56,3 МПа > 41,0 МПа.

Расчеты показали, что трубопровод диаметром 600 мм класса К-9 удовлетворяет всем прочностным требованиям, предъявляемым к незасыпанному и засыпанному трубопроводам, при рабочем давлении 1,6 МПа.

Приложение Е
(рекомендуемое)

Расчет на прочность трубопроводов из РЕ и РР с гофрированной внешней поверхностью при подземной прокладке

Прочностной расчет трубопроводов из полиэтилена и полипропилена с гофрированной внешней поверхностью при подземной прокладке рекомендуется выполнять согласно методике, приведенной в приложении Д СП 40-102 (для самотечного варианта), с учетом СН 550-82, Пособия к СН 550-82 и ATV-DVWK-A 127 [31].

Расчет выполняем на примере трубы из РР с гофрированной внешней поверхностью.

Выбираем исходные данные для расчета:

- внутренний диаметр трубы $D_{вн}$ – 27,1 см;
- наружный диаметр $D_н$ – 31,5 см;
- момент инерции стенки трубы на единицу длины I – 0,232 см^4/см;
- кратковременный модуль упругости E_0 – 1150 МПа;
- долговременный модуль упругости E_τ – 300 МПа;
- коэффициент Пуассона μ – 0,4;
- предел текучести растяжении σ_0 – 25 МПа;
- глубина заложения от уровня земли до верха трубы $H_{гр1}$ – 2,3 м;
- глубина грунтовых вод от уровня земли $H_{гв}$ – 2,0 м;
- удельный вес грунта засыпки траншеи $\gamma_{гр}$ – 0,018 МН/м^3 (суглинки полутвердые, тугомягкие и текучепластичные, категория грунта Г-IV);
- удельный вес грунтовых вод $\gamma_в$ – 0,01 МН/м^3;
- модуль деформации грунта засыпки $E_{гр}$ – 5,5 МПа (для степени уплотнения 0,95);
- коэффициент, учитывающий качество уплотнения постели грунта K_σ – 1 (при периодическом контроле);
- коэффициент, учитывающий запас $K_з$ – 1,25;
- коэффициент уплотнения грунта $K_{уг}$ – 1;
- коэффициент прогиба K_w – 0,11 (при периодическом контроле);
- коэффициент, учитывающий влияние кольцевой жесткости на овализацию трубы $K_{ж}$ – 0,15;
- коэффициент, учитывающий влияние грунта засыпки на овализацию трубы $K_{гр}$ – 0,06;
- коэффициент запаса на овализацию трубы $K_{зψ}$ – 1 (для напорных и самотечных трубопроводов);
- коэффициент запаса на устойчивость стенки трубы к действию внешних нагрузок $K_{зу}$ – 3;
- коэффициент запаса при растяжении материала стенки трубы, происходящего в условиях релаксации $K_з$ – 1,25;
- коэффициент, учитывающий процесс округления овализованной трубы под действием внутреннего давления в трубопроводе $K_{ок}$ – 1 (для самотечных трубопроводов);
- коэффициент, учитывающий глубину заложения n – 1 (для глубины заложения более 1,0 м);
- нагрузка от транспорта q_m – 0,01 МПа (в условиях строительства по поверхности над трубопроводом возможно перемещение тяжелого транспорта).

Определяем эквивалентную толщину стенки профилированной трубы, используя исходные данные:

$$s = \sqrt[3]{12 \cdot I} = \sqrt[3]{12 \cdot 0{,}232} = 1{,}41 \text{ см.} \qquad \text{(Е1)}$$

Определяем расчетный диаметр, используя исходные данные и формулу (Е1):

$$D = D_{вн} + 2s = 27{,}1 + 2 \cdot 1{,}41 = 29{,}91 \text{ см.} \qquad \text{(Е2)}$$

Определяем глубину заложения до оси трубы $H_{гр2}$, используя исходные данные

$$H_{гр2} = H_{гр1} + \frac{D_н}{2} = 2{,}3 + \frac{0{,}315}{2} = 2{,}5 \text{ м.} \qquad \text{(Е3)}$$

Определяем грунтовую нагрузку, используя исходные данные и формулы (Е3):

$$q_{гр} = \gamma_{гр} H_{гр2} = 0{,}018 \cdot 2{,}5 = 0{,}044 \text{ МПа}. \quad (Е4)$$

Определяем нагрузку от грунтовых вод (выталкивающей силой пренебрегаем), используя исходные данные и формулы (Е3):

$$q_{гв} = \gamma_{гв}(H_{гр2} - H_{гв}) = 0{,}01 \cdot (2{,}5 - 2{,}0) = 0{,}005 \text{ МПа}. \quad (Е5)$$

Определяем общую нагрузку, используя формулы (Е4) и (Е5)

$$q_c = q_{гр} + q_{гв} + q_m = 0{,}044 + 0{,}005 + 0{,}01 = 0{,}059 \text{ МПа}. \quad (Е6)$$

Определяем кратковременную кольцевую жесткость трубы, используя исходные данные и формулы (Е1) и (Е2)

$$G_0 = 5{,}37 \frac{E_0 I}{(1-\mu^2)\cdot(D-s)^3} = 5{,}37 \frac{1150 \cdot 0{,}232}{(1-0{,}4^2)\cdot(29{,}91-1{,}41)^3} = 0{,}742 \text{ МПа}. \quad (Е7)$$

Определяем длительную кольцевую жесткость трубы, используя исходные данные и формулы (Е1) и (Е2)

$$G_\tau = 53{,}7 \frac{E_\tau I}{(1-\mu^2)(D-s)^3} = 53{,}7 \frac{300 \cdot 0{,}232}{(1-0{,}4^2)(29{,}91-1{,}41)^3} = 0{,}194 \text{ МПа}. \quad (Е8)$$

Определяем относительное укорочение вертикального диаметра трубы под действием грунтовой нагрузки, используя исходные данные и формулы (Е4) и (Е7)

$$\psi_{гр} = \frac{K_{ок} K_\tau K_w q_{гр}}{K_ж G_0 + K_{гр} E_{гр}} = \frac{1 \cdot 1{,}25 \cdot 0{,}11 \cdot 0{,}044}{0{,}15 \cdot 0{,}742 + 0{,}06 \cdot 5{,}5} = 0{,}014. \quad (Е9)$$

Определяем укорочение вертикального диаметра трубы под действием транспортной нагрузки, используя исходные данные и формулу (Е7)

$$\psi_m = \frac{K_{ок} K_y K_w q_m}{K_ж G_0 + nK_{гр} E_{гр}} = \frac{1 \cdot 1 \cdot 0{,}11 \cdot 0{,}01}{0{,}15 \cdot 0{,}742 + 1 \cdot 0{,}06 \cdot 5{,}5} = 0{,}002. \quad (Е10)$$

Принимаем укорочение вертикального диаметра трубы в процессе складирования и монтажа $\psi_м = 0{,}02$ (по таблице Д.1 СП 40-102 для $G_0 > 0{,}29$ МПа и степени уплотнения грунта 0,85-0,95) и определяем относительное укорочение вертикального диаметра трубы, используя формулы (Е9) и (Е10)

$$\psi = \psi_{гр} + \psi_m + \psi_м = 0{,}014 + 0{,}002 + 0{,}02 = 0{,}036 \text{ или } 3{,}6\ \% \quad (Е11)$$

Если относительное укорочение вертикального диаметра трубы $\psi > 6$ % (согласно ATV-DVWK-A 127 [31] допустимая деформация не должна превышать 6 %), то рекомендуется выбрать трубу с более высокой кольцевой жесткостью или меньшим *SDR*, или же выбрать грунт засыпки с более высоким модулем деформации.

Определяем коэффициент овальности поперечного сечения трубы, используя формулу (Е11)

$$K_{ов} = 1 - 0{,}7\psi = 1 - 0{,}7 \cdot 0{,}036 = 0{,}975. \quad (Е12)$$

Определяем максимальное значение степени растяжения материала стенки трубы из-за овальности поперечного сечения трубопровода под действием внешних нагрузок, используя исходные данные и формулы (Е1) и (Е11)

$$\varepsilon_p = 4{,}27 K_\sigma \frac{s}{D} \psi K_{з\psi} = 4{,}27 \cdot 1 \cdot \frac{1{,}41}{29{,}91} \cdot 0{,}036 \cdot 1 = 0{,}007. \quad (Е13)$$

Определяем степень сжатия материала стенки трубы, происходящего под действием внешних нагрузок, используя исходные данные и формулы (Е1) и (Е6)

$$\varepsilon_c = \frac{q_c}{2E_0} \cdot \frac{D}{s} = \frac{0{,}059}{2 \cdot 1150} \cdot \frac{29{,}91}{1{,}41} = 0{,}0005. \quad (Е14)$$

Определяем допустимую степень растяжения материала стенки трубы, происходящего в условиях релаксации, используя исходные данные

$$\varepsilon_{pp} = \frac{\sigma_0}{E_\tau K_з} = \frac{25}{300 \cdot 1{,}25} = 0{,}067. \quad \text{(Е15)}$$

Определяем допустимую степень растяжения материала в стенке трубы, происходящего в условиях ползучести, используя исходные данные

$$\varepsilon_{pn} = \frac{\sigma_0}{E_0 K_з} = \frac{25}{1150 \cdot 1{,}25} = 0{,}017. \quad \text{(Е16)}$$

Проверяем условия прочности трубы, используя формулы (Е13)-(Е16)

$$\frac{\varepsilon_p}{\varepsilon_{pp}} + \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{pn}} = \frac{0{,}007}{0{,}067} + \frac{0{,}0005}{0{,}017} = 0{,}14 \le 1{,}0. \quad \text{(Е17)}$$

Проверяем устойчивость трубы против действия сочетания внешних нагрузок, используя исходные данные и формулы (Е6), (Е8) и (Е12)

$$\frac{K_{уг} K_{ов} \sqrt{n E_{гр} G_\tau}}{K_{зу}} = \frac{1 \cdot 0{,}975 \sqrt{1 \cdot 5{,}5 \cdot 0{,}194}}{3} = 0{,}335 \text{ МПа} \ge q_c = 0{,}059 \text{ МПа}. \quad \text{(Е18)}$$

Таким образом, все расчетные показатели трубопровода полностью удовлетворяют проверкам на допустимые деформации и допустимые нагрузки.

При глубине заложения 3 м и более расчет на прочность выполняем по ATV-DVWK-A 127 [31], учитывая требования 5.5 настоящего документа (класс жесткости – SN 16).

Расчет выполняем с помощью программного комплекса IngSoft EasyPipe (версия 2.1.2.0), который включает в себя различные расчетные методики в соответствии с международными стандартами (AWWA), в том числе модули A127, A161 и M45.

IngSoft GmbH
Landgrabenstrabe 94
90443 Nuremberg Germany
http://www.ingsoft.de/

1. Расчёт по ATV-DVWK-A 127 3 ред.

Тип расчета:	Номинальная жёсткость
Эскиз (Прокладка/Трубопровод) в распечатке:	Да

1.1. Ввод данных:

1.1.1. Показатели запаса прочности

Класс надежности:	A (нормальные условия)
Допустимая деформация:	6% (стандарт)
Использование внутреннего давления:	В соответствии с примечанием 39 ATV-DVWK-A 127
Меньший запас прочности на сжатие при изгибе:	нет (ATV-DVWK-A 127)
Доказательство надежности при непреимущественной статической нагрузке:	не требуется
Доказательство минимальной кольцевой жесткости:	Нет

1.1.2. Грунт

E1: Группа (тип) грунта обратной засыпки:	G2		
Расчет E1:	таблица 8 (A127)		
E20: Группа (тип) грунта в зоне трубы:	G1		
Расчет модуля упругости E20:	таблица 8 (A127)		
E3: Группа (тип) естественного грунта:	G4		
Расчет E3:	Плотность по Проктору		
Плотность по Проктору E3:	$D_{Pr,E3}$	95,0	%
E4 = 10 · E1:	Да		
Применить теории Силоса:	автоматически		

1.1.3. Нагрузка

Высота засыпки:	h	4,50	m
Вес грунта:	γ	20,0	kN/m³
Ручной ввод удельной веса грунта с учетом всплытия:	Нет		
Дополнительная поверхностная нагрузка:	p_0	0,0	kN/m²
Дополнительная поверхностная нагрузка - насыпь, обваловка:	Нет		
Максимальный уровень грунтовых вод над основанием трубы:	$h_{W,max}$	3,80	m
Минимальный уровень грунтовых вод над основанием трубы:	$h_{W,min}$	1,20	m
Внутреннее кратковременное давление:	$P_{I,K}$	0,00	bar
Внутреннее долговременное давление:	$P_{I,L}$	0,00	bar
Наполнение водой (напр., напорный водопр.):	Да		
Плотность среды:	γ_F	10,0	kN/m³
Транспортная нагрузка:	SLW 60		
Горизонтальная транспортная нагрузка в доказательстве усталости:	$\alpha_{qhT,dyn}$	0,00	%

1.1.4. Прокладка

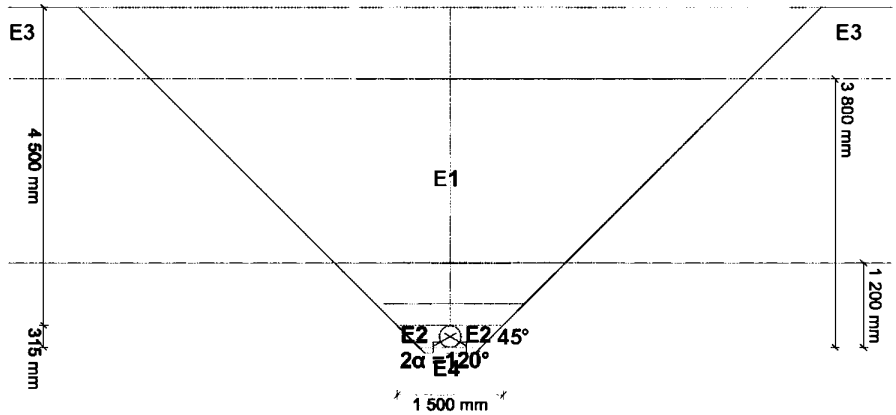
Способ прокладки:	Траншея		
Ширина траншеи:	b	1,50	m
Угол откоса:	ß	45	°
Условия засыпки:	A2		
Условия прокладки:	B2		
Учет забивки крепления ниже основания трубы по отчету рабочей группы 1.5.5. по ATV.:	Нет		
Тип прокладки (устройства основания):	сыпучий		
Угол опирания:	120°		
Рассчитать основание (опирание) автоматически:	Да		

Высота основания:	h_s	0,15	m

1.1.5. Труба с определённой жёсткостью

Выбор трубы из базы данных:	Нет		
Выбор данных:	Da - Di		
Наружный диаметр:	d_a	315	mm
Внутренний диаметр:	d_i	275	mm
Местные деформации:	$\delta_{v,lokal}$	0,0	%
Номинальная жёсткость:	SN	16 000	N/m²
Номинальное давление:	PN	0,0	bar
Дефформация при разрыве в таблице 3 ATV A127:	Да		
Коэффициент ползучести:	f_{Kriech}	4,00	[-]
Коэффициент уменьшения от температурного воздействия:	$A_{1,Temp}$	1,00	[-]
Коэффициент уменьшения от агрессивной среды:	$A_{2,Medium}$	1,00	[-]
Коэффициент уменьшения от динамических нагрузок:	$A_{3,dyn}$	1,00	[-]
Удельная масса материала трубы.:	γ_R	9,00	kN/m³
Коэффициент Poisson:	v	0,38	[-]
Амплитуда с 1·10^6 тестов, как известно:	Нет		
Амплитуда с 1·10^8 тестов, как известно:	Нет		

Транспортная нагрузка: SLW 60



1.2. Результаты:

1.2.1. Промежуточные результаты трубы

Внутренний диаметр:	d_i	275,0	mm
Наружный диаметр:	d_a	315,0	mm
Радиус центральной оси стенки трубы:	r_m	147,50	mm
Толщина стенки:	s	20,00	mm
Отношение радиуса к толщине стены:	r_m/s	7,375	[-]

$$\alpha_{ki} = 1 + \frac{s}{3 \cdot r_m}$$

Корректирующий коэффициент внутренней кривизны:	α_{ki}	1,045	[-]

$$\alpha_{ka} = 1 - \frac{s}{3 \cdot r_m}$$

Корректирующий коэффициент наруж. кривизны:	α_{ka}	0,955	[-]
Локальная предвар. деформация:	δ_{vl}	0,00	%
Предвар. деформация (овализация перед загрузкой):	δ_{vg}	1,00	%
Радиальна поверхность профиля:	A_{rad}	20,00	mm²/mm
Плечо инерции:	e	10,00	mm
Момент инерции:	I	666,67	mm^4/mm
Наружный момент сопротивления:	W_a	66,67	mm³/mm
Внутренний момент сопротивления:	W_i	66,67	mm³/mm
Плечо силы внешнего армирования:	κ_Q	1,2	[-]

1.2.1.1. Свойства материала

		краткосрочность	долгосрочность	
Удельный вес материала трубы	γ_R	9,0	9,0	kN/m³
Коэффициент Poisson	v	0,38	0,38	[-]
Расчитанная величина модуля упругости	E_R	616,1	154,0	N/mm²

1.2.1.2. Запасы прочности

Требуемый общий коэффициент безопасности, трещины, повреждение посредством разрыва	erf γ_{RBZ}	2,00	2,00	[-]
Требуемый общий коэффициент безопасности, трещины, повреждения посредством сжатия	erf γ_{RBD}	2,00	2,00	[-]
Требуемый общий коэффициент безопасности, потеря устойчивости	erf γ_{stab}	2,00	2,00	[-]

1.2.1.3. Минимальная ширина траншеи в соотв. с DIN 1610

Минимальная ширина в соответствии с таблицей 1:	$min_{b,T1}$	0,82	m
Минимальная ширина в соответствии с таблицей 2:	$min_{b,T2}$	1,00	m
Минимальная ширина траншеи:	min_b	1,00	m
Ширина траншеи:	b	1,50	m

Ширина траншеи соответствует стандарту DIN 1610

1.2.2. Промежуточные результаты для комбинации нагрузок при минимальных грунтовых водах

1.2.2.1. Теория Силоса

Коэффициент нагрузки грунта для нагрузки траншеи (Теория Силоса):	κ	0,922	[-]

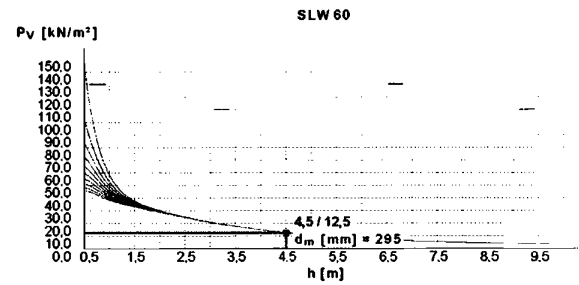
$$\kappa = \frac{1 - e^{-2 \cdot K_1 \cdot \tan\delta \cdot \frac{h}{b}}}{2 \cdot K_1 \cdot \tan\delta \cdot \frac{h}{b}}$$

Коэффициент нагрузки грунта к0 для поверхностной нагрузки (Теория Силоса):	κ_0	0,852	[-]

$$\kappa_0 = e^{-2 \cdot K_1 \cdot \tan\delta \cdot \frac{h}{b}}$$

1.2.2.2. Нагрузка

Уровень грунтовых вод над верхней точкой трубы:	$h_{W,Scheitel}$	0,89	m
Удельный вес засыпки под водой:	γ'	11,00	kN/m³
Вертикальное давление грунта от самого грунта:	P_{Erd}	75,62	kN/m²
Вертикальное напряжение грунта от самого грунта и поверхностной нагрузки:	P_E	75,62	kN/m²
Напряжения от транспортных нагрузок:	P_V	12,50	kN/m²
Включая фактор удара:		1,20	[-]



1.2.2.3. Модуль деформации грунта

Модуль упругости засыпки под нагрузкой:	$E_{1,\sigma}$	3,00	N/mm²
Модуль упругости основания под нагрузкой:	$E_{20,\sigma}$	6,00	N/mm²
Коэффициент уменьшения для ползучести:	f_1	1,000	[-]
Коэффициент уменьшения E20 (грунтовые воды):	f_2	0,750	[-]
Коэффициент уменьшения E20 (узкая траншея):	α_B	1,000	[-]
Модуль упругости основания (уменьшен.):	$E_{2,\sigma}$	4,50	N/mm²

$$E_3 = \frac{40}{4} \cdot e^{-0{,}188(100 - D_{Pr,E3})}$$

Verformungsmodul:	E_3	3,91	N/mm²
Модуль упругости естественного грунта:	$E_{3,\sigma}$	3,91	N/mm²

$$E_4 = \frac{40}{1} \cdot e^{-0{,}188(100 - D_{Pr,E4})}$$

Verformungsmodul:	E_4	0,00	N/mm²
Модуль упругости грунта под трубой:	$E_{4,\sigma}$	30,00	N/mm²

1.2.2.4. Значения жесткости грунта

Корректирующий фактор для горизонтальной жесткости основания: ζ 0,991 [-]

$$\zeta = \frac{1{,}667}{\Delta_f + (1{,}667 - \Delta_f) \cdot \frac{E_2}{E_3}}$$

$$\Delta_f = \frac{\frac{b}{d_a} - 1}{0{,}982 + 0{,}283 \cdot \left(\frac{b}{d_a} - 1\right)} \leq 1{,}667$$

Hilfswert für horizontale Bettungssteifigkeit: Δ_f 1,566 [-]

Для наклонных траншей (угол откоса менее 90) устанавливается ширина траншеи в средней точке трубы вместе ширины траншеи на уровне верхней точки трубы.

Горизонтальная жёсткость основания: S_{Bh} 2,675 N/mm²

$$S_{Bh} = 0{,}6 \cdot \zeta \cdot E_2$$

Вертикальная жёсткость основания: S_{Bv} 3,670 N/mm²

$$S_{Bv} = \frac{E_2}{a}$$

1.2.2.5. Угол опирания, эффективная относительная проекция и угол трения

Угол опирания (на основание): 2α 120 °

$$t_r = r_a - \cos(2\alpha/2) \cdot r_a$$

Высота основания: t_r 0,079 m

$$a = \frac{(h_s + d_a - t_r)}{d_a}$$

Расчитанная относительная проекция: a 1,23 [-]
Повышенная относительная проекция в случае разуплотненного грунта: a_S 1,23 [-]
Эффективная относительная проекция: a' 0,817 [-]

$$a' = a \cdot \frac{E_1}{E_2} \geq 0{,}26$$

Угол внутреннего трения: φ' 20,000 °
Угол трения стены траншеи: δ 6,667 °

		Краткосрочное	Долгосрочное	Долгосрочное	
		Все нагрузки	Нагрузка грунта Verkehrslast	прочее Нагрузки	
1.2.2.6. Значения характеристик материала трубы и кольцевая жёсткость					
Жёсткость трубы	S_R	128 000	45 623	32 000	N/m²
Расчитанная величина критической деформации волокна при растяжении	ε_R	3,742	2,458	2,245	%

$$S0 = \frac{p_e \cdot S_{0L} + p_v \cdot S_{0K}}{p_e + p_v}$$

$$S_R = 8 \cdot S0$$

Расчитанная величина модуля упругости	E_R	616,1	219,6	154,0	N/mm²

1.2.2.7. Соотношение жесткости

Жёсткость системы	V_{RB}	0,0478	0,0171	0,0120	[-]

$$V_{RB} = \frac{S_R}{S_{Bh}} = \frac{8 \cdot S_0}{S_{Bh}}$$

Соотношение жёсткости	V_S	0,8400	0,5369	---	[-]

$$V_S = \frac{S_R}{|c_v^*| \cdot S_{Bv}}$$

Коэффициент для силы реакции основания	c_v^*	-0,042	-0,023	---	[-]

1.2.2.8. Коэффициенты

Соотношение давления грунта (основание)	K_2	0,400	0,400	---	[-]
Коэффициент для давления сопротивления основания	K^*	0,781	1,064	---	[-]

$$K^* = \frac{c'_{h,qv}}{V_{RB} - c_{h,qh^*}}$$

Результирующий коэффициент деформации	$c'_{h,qv}$	0,0904	0,0904	---	[-]
Результирующий коэффициент деформации	c'_{h,qh^*}	-0,0679	-0,0679	---	[-]
Коэффициент для силы реакции основания	c_v^*	-0,042	-0,023	---	[-]

$$c_v^* = c_{v,qv} + c_{v,qh^*} \cdot K^*$$

1.2.2.9. Коэффициент концентрации λR и λB

Максимальный фактор концентрации	max λ	1,731	1,731	---	[-]

$$\max \lambda = 1 + \frac{\frac{h}{d_a}}{\frac{3,5}{a'} + \frac{2,2}{\frac{E_4}{E_1}(a' - 0,25)} + \left[\frac{0,62}{a'} + \frac{1,6}{\frac{E_4}{E_1}(a' - 0,25)}\right] \cdot \frac{h}{d_a}}$$

Коэффициент для максимального фактора концентрации	K'	0,860	0,788	---	[-]

$$K' = -\frac{c_{v,qh} + \frac{c_{h,qh}}{c_{h,qv}} \cdot c_{v,qh^*} \cdot K^*}{c_{v,qv} + c_{v,qh^*} \cdot K^*}$$

Соотношение:			I/(A·rm²)	0,00153	[-]
Соотношение 'I/(A·rm²)·κq':			I/(A·rm²)·κQ	0,00184	[-]

		q_v	q_h	q_h^*	
Коэффициент деформации для момента изгиба	c_v	-0,0893	0,0833	0,0640	[-]
Коэффициент деформации для нормального усилия	c^N_v	-0,6830	-0,6810	-0,2470	[-]
Коэффициент деформации для поперечных сил	c^Q_v	-0,3590	0,3350	0,2430	[-]

$$c' = c + \frac{I}{A \cdot r_m^2} \cdot [c^N + 2(1 + v) \cdot \kappa_Q \cdot c^Q]$$

Результирующий коэффициент деформации	c'_v	-0,0922	0,0840	0,0649	[-]
Результирующий коэффициент деформации	$c'_{h,qv}$	0,0904	-0,0860	-0,0679	[-]
Фактор концентрации над трубой, начальное значение	λ_R	0,962	0,807	---	[-]

$$\lambda_R = \frac{\max \lambda \cdot V_s + a' \cdot \frac{4 \cdot K_2 \cdot K'}{3} \cdot \frac{\max \lambda - 1}{a' - 0{,}25}}{V_s + a' \cdot \frac{3 + K_2 \cdot K'}{3} \cdot \frac{\max \lambda - 1}{a' - 0{,}25}}$$

Фактор концентрации над трубой, эффект траншеи	λ_{RG}	0,962	0,807	---	[-]

$\lambda_{RG} = \lambda_R$ = const.

Фактор концентрации над трубой, верхний предел	λ_{fo}	3,325	3,325	---	[-]
Фактор концентрации над трубой, нижний предел	λ_{fu}	0,191	0,191	---	[-]
Фактор концентрации над трубой, конечное значение	λ_{RG}	0,962	0,807	---	[-]
Фактор концентрации грунта	λ_B	1,013	1,064	---	[-]

$$\lambda_B = \frac{4 - \lambda_R}{3}$$

1.2.2.10. Распределение давления по окружности трубы

		Краткосрочное Все нагрузки	Долгосрочное Нагрузка грунта Verkehrslast	Долгосрочное прочее Нагрузки	
Суммарная вертикальная нагрузка	q_v	85,24	73,49	---	kN/m²

$q_v = \lambda_{RG} \cdot p_E + p_v$

Боковое давление	q_h	31,32	32,89	---	kN/m²

$$q_h = K_2 \cdot \left(\lambda_B \cdot p_E + \gamma_B \cdot \frac{d_a}{2} \right)$$

Давление сопротивления основания (нагрузка грунта)	q^*_h	43,28	44,88	---	kN/m²

$$q^*_h = \frac{c_{h,qv} \cdot q_v + c_{h,qh} \cdot q_h}{V_{RB} - c_{h,qh}^*}$$

Давление сопротивления основания (наполнение водой)	q^*_{hw}	0,83	1,20	---	kN/m²

$$q^*_{hw} = \frac{c_{hw} \cdot q_w}{V_{RB} - c_{h,qh}^*}$$

1.2.3. Промежуточные результаты для комбинации нагрузок при максимальном уровне грунтовых вод

1.2.3.1. Теория Силоса

Коэффициент нагрузки грунта для нагрузки траншеи (Теория Силоса):	κ	0,922	[-]

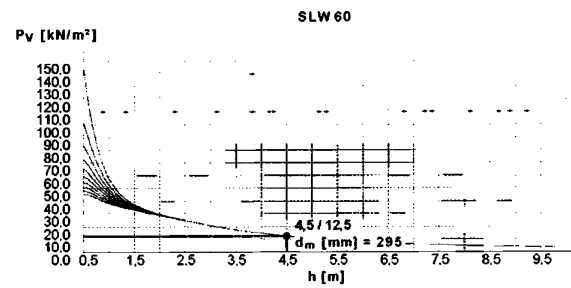
$$\kappa = \frac{1 - e^{-2 \cdot K_1 \cdot \tan\delta \cdot \frac{h}{b}}}{2 \cdot K_1 \cdot \tan\delta \cdot \frac{h}{b}}$$

Коэффициент нагрузки грунта κ0 для поверхностной нагрузки (Теория Силоса):	κ_0	0,852	[-]

$$\kappa_0 = e^{-2 \cdot K_1 \cdot \tan\delta \cdot \frac{h}{b}}$$

1.2.3.2. Нагрузка

Уровень грунтовых вод над верхней точкой трубы:	$h_{W,Scheitel}$	3,49	m
Удельный вес засыпки под водой:	γ'	11,00	kN/m³
Вертикальное давление грунта от самого грунта:	P_{Erd}	54,05	kN/m²
Вертикальное напряжение грунта от самого грунта и поверхностной нагрузки:	P_E	54,05	kN/m²
Напряжения от транспортных нагрузок:	P_V	12,50	kN/m²
Включая фактор удара:		1,20	[-]



1.2.3.3. Модуль деформации грунта

Модуль упругости засыпки под нагрузкой:	$E_{1,\sigma}$	3,00	N/mm²
Модуль упругости основания под нагрузкой:	$E_{20,\sigma}$	6,00	N/mm²
Коэффициент уменьшения для ползучести:	f_1	1,000	[-]
Коэффициент уменьшения E20 (грунтовые воды):	f_2	0,750	[-]
Коэффициент уменьшения E20 (узкая траншея):	α_B	1,000	[-]
Модуль упругости основания (уменьшен.):	$E_{2,\sigma}$	4,50	N/mm²

$$E_3 = \frac{40}{4} \cdot e^{-0,188(100 - D_{Pr,E3})}$$

Verformungsmodul:	E_3	3,91	N/mm²
Модуль упругости естественного грунта:	$E_{3,\sigma}$	3,91	N/mm²

$$E_4 = \frac{40}{1} \cdot e^{-0,188(100 - D_{Pr,E4})}$$

Verformungsmodul:	E_4	0,00	N/mm²
Модуль упругости грунта под трубой:	$E_{4,\sigma}$	30,00	N/mm²

1.2.3.4. Значения жесткости грунта

Корректирующий фактор для горизонтальной жесткости основания: ζ 0,991 [-]

$$\zeta = \frac{1,667}{\Delta_f + (1,667 - \Delta_f) \cdot \frac{E_2}{E_3}}$$

$$\Delta_f = \frac{\frac{b}{d_a} - 1}{0,982 + 0,283 \cdot \left(\frac{b}{d_a} - 1\right)} \leq 1,667$$

Hilfswert für horizontale Bettungssteifigkeit: Δ_f 1,566 [-]

Для наклонных траншей (угол откоса менее 90) устанавливается ширина траншеи в средней точке трубы вместе ширины траншеи на уровне верхней точки трубы.

Горизонтальная жёсткость основания: S_{Bh} 2,675 N/mm²

$$S_{Bh} = 0,6 \cdot \zeta \cdot E_2$$

Вертикальная жёсткость основания: S_{Bv} 3,670 N/mm²

$$S_{Bv} = \frac{E_2}{a}$$

1.2.3.5. Угол опирания, эффективная относительная проекция и угол трения

Угол опирания (на основание): 2α 120 °

$$t_r = r_a - \cos(2\alpha/2) \cdot r_a$$

Высота основания: t_r 0,079 m

$$a = \frac{(h_s + d_a - t_r)}{d_a}$$

Расчитанная относительная проекция:	a	1,23	[-]
Повышенная относительная проекция в случае разуплотненного грунта:	a_S	1,23	[-]
Эффективная относительная проекция:	a'	0,817	[-]

$$a' = a \cdot \frac{E_1}{E_2} \geq 0,26$$

Угол внутреннего трения:	φ'	20,000	°
Угол трения стены траншеи:	δ	6,667	°

		Краткосрочное	Долгосрочное	Долгосрочное
		Все нагрузки	Нагрузка грунта Verkehrslast	прочее Нагрузки

1.2.3.6. Значения характеристик материала трубы и кольцевая жёсткость

Жёсткость трубы	S_R	128 000	50 038	32 000	N/m²

$$S0 = \frac{p_e \cdot S_{0L} + p_v \cdot S_{0K}}{p_e + p_v}$$

$S_R = 8 \cdot S0$

Расчитанная величина критической деформации волокна при растяжении	ε_R	3,742	2,527	2,245	%
Расчитанная величина модуля упругости	E_R	616,1	240,9	154,0	N/mm²

1.2.3.7. Соотношение жесткости

Жёсткость системы	V_{RB}	0,0478	0,0187	0,0120	[-]

$$V_{RB} = \frac{S_R}{S_{Bh}} = \frac{8 \cdot S_0}{S_{Bh}}$$

Соотношение жёсткости	V_S	0,8400	0,5572	---	[-]

$$V_S = \frac{S_R}{|c_v^*| \cdot S_{Bv}}$$

Коэффициент для силы реакции основания	c_v^*	-0,042	-0,024	---	[-]

1.2.3.8. Коэффициенты

Соотношение давления грунта (основание)	K_2	0,400	0,400	---	[-]
Коэффициент для давления сопротивления основания	K^*	0,781	1,044	---	[-]

$$K^* = \frac{c'_{h,qv}}{V_{RB} - c_{h,qh^*}}$$

Результирующий коэффициент деформации	$c'_{h,qv}$	0,0904	0,0904	---	[-]
Результирующий коэффициент деформации	c'_{h,qh^*}	-0,0679	-0,0679	---	[-]
Коэффициент для силы реакции основания	c_v^*	-0,042	-0,024	---	[-]

$$c_v^* = c_{v,qv} + c_{v,qh^*} \cdot K^*$$

1.2.3.9. Коэффициент концентрации λR и λB

Максимальный фактор концентрации	max λ	1,731	1,731	---	[-]

$$\max \lambda = 1 + \frac{\frac{h}{d_a}}{\frac{3,5}{a'} + \frac{2,2}{\frac{E_4}{E_1}(a' - 0,25)} + \left[\frac{0,62}{a'} + \frac{1,6}{\frac{E_4}{E_1}(a' - 0,25)}\right] \cdot \frac{h}{d_a}}$$

Коэффициент для максимального фактора концентрации	K'	0,860	0,796	---	[-]

$$K' = -\frac{c_{v,qh} + \frac{c_{h,qh}}{c_{h,qv}} \cdot c_{v,qh^*} \cdot K^*}{c_{v,qv} + c_{v,qh^*} \cdot K^*}$$

Соотношение:			I/(A·rm²)	0,00153	[-]
Соотношение 'I/(A·rm²)·kq':			I/(A·rm²)·kQ	0,00184	[-]

		q_v	q_h	q_h^*	
Коэффициент деформации для момента изгиба	c_v	-0,0893	0,0833	0,0640	[-]
Коэффициент деформации для нормального усилия	c^N_v	-0,6830	-0,6810	-0,2470	[-]

Коэффициент деформации для поперечных сил	c^{Q}_{v}	-0,3590	0,3350	0,2430	[-]
$c' = c + \frac{I}{A \cdot r_m^2} \cdot [c^N + 2(1 + v) \cdot \kappa_Q \cdot c^Q]$					
Результирующий коэффициент деформации	c'_v	-0,0922	0,0840	0,0649	[-]
Результирующий коэффициент деформации	$c'_{h,qv}$	0,0904	-0,0860	-0,0679	[-]
Фактор концентрации над трубой, начальное значение	λ_R	0,962	0,820	---	[-]
$\lambda_R = \frac{\max\lambda \cdot V_s + a' \cdot \frac{4 \cdot K_2 \cdot K'}{3} \cdot \frac{\max\lambda - 1}{a' - 0,25}}{V_s + a' \cdot \frac{3 + K_2 \cdot K'}{3} \cdot \frac{\max\lambda - 1}{a' - 0,25}}$					
Фактор концентрации над трубой, эффект траншеи	λ_{RG}	0,962	0,820	---	[-]
$\lambda_{RG} = \lambda_R = \text{const.}$					
Фактор концентрации над трубой, верхний предел	λ_{fo}	3,325	3,325	---	[-]
Фактор концентрации над трубой, нижний предел	λ_{fu}	0,191	0,191	---	[-]
Фактор концентрации над трубой, конечное значение	λ_{RG}	0,962	0,820	---	[-]
Фактор концентрации грунта	λ_B	1,013	1,060	---	[-]
$\lambda_B = \frac{4 - \lambda_R}{3}$					

1.2.3.10. Распределение давления по окружности трубы

		Краткосрочное Все нагрузки	Долгосрочное Нагрузка грунта Verkehrslast	Долгосрочное прочее Нагрузки	
Суммарная вертикальная нагрузка	q_v	64,50	56,81	---	kN/m²
$q_v = \lambda_{RG} \cdot p_E + p_v$					
Боковое давление	q_h	22,59	23,61	---	kN/m²
$q_h = K_2 \cdot \left(\lambda_B \cdot p_E + \gamma_B \cdot \frac{d_a}{2} \right)$					
Давление сопротивления основания (нагрузка грунта)	q^*_h	33,57	35,83	---	kN/m²
$q^*_h = \frac{c_{h,qv} \cdot q_v + c_{h,qh} \cdot q_h}{V_{RB} - c_{h,qh}^*}$					
Давление сопротивления основания (наполнение водой)	q^*_{hw}	0,83	1,20	---	kN/m²

$$q^*_{hw} = \frac{c_{hw} \cdot q_w}{V_{RB} - c_{h,qh}^*}$$

1.2.4. Schnittkräfte

1.2.4.1. Силы резания (поперечные) при минимальных грунтовых водах, Краткосрочное

		вершина	Ось симметрии	основание	
	m_{qv}	0,261	-0,265	0,275	[-]
Момент от суммарной вертикальной нагрузки	M_{qv}	0,484	-0,491	0,510	kNm/m
	m_{qh}	-0,250	0,250	-0,250	[-]
Момент бокового давления	M_{qh}	-0,170	0,170	-0,170	kNm/m
	m_{qh}^*	-0,181	0,208	-0,181	[-]
Момент от горизонтального давления сопротивления основания	M^*_{qh}	-0,170	0,196	-0,170	kNm/m
Момент от горизонтального давления сопротивления основания (заполн.водой)	M^*_{qw}	-0,003	0,004	-0,003	kNm/m
	m_g	0,381	-0,440	0,520	[-]
Момент от собственного веса	M_g	0,001	-0,002	0,002	kNm/m
	m_w	0,190	-0,220	0,260	[-]
Момент от заполнения водой	M_w	0,006	-0,007	0,008	kNm/m
	m_{pw}	0,000	0,000	0,000	[-]
Момент из-за давления воды	M_{pw}	0,000	0,000	0,000	kNm/m
$\Sigma M = M_{qv} + M_{qh} + M^*_{qh} + M^*_{qw} + M_g + M_w + M_{pw}$					
Сумма моментов	ΣM	0,147	-0,131	0,176	kNm/m
$\Sigma_{Mqv,qh,qh^*} = M_{qv} + M_{qh} + M^*_{qh}$					
Сумма моментов от грунта и транспортных нагрузок	Σ_{Mqv,qh,qh^*}	0,143	-0,125	0,169	kNm/m
$\Sigma_{Msonst} = M^*_{qw} + M_g + M_w + M_{pw}$					
Сумма моментов от других нагрузок	Σ_{Msonst}	0,004	-0,005	0,007	kNm/m
$\Sigma M' = M_{qv} + M_{qh} + M^*_{qh} + M_g$					
Сумма моментов без заполн. водой и гидростат. давления	$\Sigma M'$	0,145	-0,127	0,171	kNm/m
	n_{pv}	0,027	-1,000	-0,027	[-]
Нормальная сила от общей вертик. нагрузки	N_{qv}	0,339	-12,574	-0,339	kN/m
	n_{qh}	-1,000	0,000	-1,000	[-]
Нормальная сила бокового давления	N_{qh}	-4,620	0,000	-4,620	kN/m
	n_{qh}^*	-0,577	0,000	-0,577	[-]
Нормальная сила от горизонтального давления сопротивления основания	N^*_{qh}	-3,683	0,000	-3,683	kN/m
	n_{qh}^*	-0,577	0,000	-0,577	[-]
Нормальная сила от горизонтального давления сопротивления основания (заполн.водой)	N^*_{qw}	-0,070	0,000	-0,070	kN/m
	n_g	0,250	-1,571	-0,250	[-]
Нормальная сила от собственного веса	N_g	0,007	-0,042	-0,007	kN/m
	n_w	0,625	0,215	1,375	[-]
Нормальная сила от заполнения водой	N_w	0,136	0,047	0,299	kN/m
Нормальная сила от давления воды	N_{pw}	-1,890	-1,890	-1,890	kN/m
Сумма нормальных сил	ΣN	-9,782	-14,458	-10,311	kN/m

Общая нормальная сила от грунта и транспортных нагрузок	Σ_{Nqv,qh,qh^*}	-7,964	-12,574	-8,643	kN/m
Общая нормальная сила от других нагрузок	Σ_{Nsonst}	-1,818	-1,885	-1,668	kN/m
Сумма без заполнение водой и давления	$\Sigma N'$	-7,957	-12,615	-8,649	kN/m

1.2.4.2. Силы резания (поперечные) при минимальных грунтовых водах, Долгосрочное

		вершина	Ось симметрии	основание	
	m_{qv}	0,261	-0,265	0,275	[-]
Момент от суммарной вертикальной нагрузки	M_{qv}	0,417	-0,424	0,440	kNm/m
	m_{qh}	-0,250	0,250	-0,250	[-]
Момент бокового давления	M_{qh}	-0,179	0,179	-0,179	kNm/m
	m_{qh}^*	-0,181	0,208	-0,181	[-]
Момент от горизонтального давления сопротивления основания	M^*_{qh}	-0,177	0,203	-0,177	kNm/m
Момент от горизонтального давления сопротивления основания (заполн.водой)	M^*_{qw}	-0,005	0,005	-0,005	kNm/m
	m_g	0,381	-0,440	0,520	[-]
Момент от собственного веса	M_g	0,001	-0,002	0,002	kNm/m
	m_w	0,190	-0,220	0,260	[-]
Момент от заполнения водой	M_w	0,006	-0,007	0,008	kNm/m
	m_{pw}	0,000	0,000	0,000	[-]
Момент из-за давления воды	M_{pw}	0,000	0,000	0,000	kNm/m
$\Sigma M = M_{qv} + M_{qh} + M^*_{qh} + M^*_{qw} + M_g + M_w + M_{pw}$					
Сумма моментов	ΣM	0,064	-0,046	0,089	kNm/m
$\Sigma_{Mqv,qh,qh^*} = M_{qv} + M_{qh} + M^*_{qh}$					
Сумма моментов от грунта и транспортных нагрузок	Σ_{Mqv,qh,qh^*}	0,062	-0,042	0,084	kNm/m
$\Sigma_{Msonst} = M^*_{qw} + M_g + M_w + M_{pw}$					
Сумма моментов от других нагрузок	Σ_{Msonst}	0,002	-0,004	0,005	kNm/m
$\Sigma M' = M_{qv} + M_{qh} + M^*_{qh} + M_g$					
Сумма моментов без заполн. водой и гидростат. давления	$\Sigma M'$	0,063	-0,043	0,086	kNm/m
	n_{pv}	0,027	-1,000	-0,027	[-]
Нормальная сила от общей вертик. нагрузки	N_{qv}	0,293	-10,840	-0,293	kN/m
	n_{qh}	-1,000	0,000	-1,000	[-]
Нормальная сила бокового давления	N_{qh}	-4,851	0,000	-4,851	kN/m
	n_{qh}^*	-0,577	0,000	-0,577	[-]
Нормальная сила от горизонтального давления сопротивления основания	N^*_{qh}	-3,819	0,000	-3,819	kN/m
	n_{qh}^*	-0,577	0,000	-0,577	[-]
Нормальная сила от горизонтального давления сопротивления основания (заполн.водой)	N^*_{qw}	-0,102	0,000	-0,102	kN/m
	n_g	0,250	-1,571	-0,250	[-]
Нормальная сила от собственного веса	N_g	0,007	-0,042	-0,007	kN/m
	n_w	0,625	0,215	1,375	[-]
Нормальная сила от заполнения водой	N_w	0,136	0,047	0,299	kN/m
Нормальная сила от давления воды	N_{pw}	-1,890	-1,890	-1,890	kN/m
Сумма нормальных сил	ΣN	-10,227	-12,725	-10,663	kN/m
Общая нормальная сила от грунта и транспортных нагрузок	Σ_{Nqv,qh,qh^*}	-8,378	-10,840	-8,963	kN/m
Общая нормальная сила от других нагрузок	Σ_{Nsonst}	-1,850	-1,885	-1,700	kN/m
Сумма без заполнение водой и давления	$\Sigma N'$	-8,371	-10,882	-8,970	kN/m

1.2.4.3. Силы резания (поперечные) при максимальном уровне грунтовых вод. Краткосрочное

		вершина	Ось симметрии	основание	
	m_{qv}	0,261	-0,265	0,275	[-]
Момент от суммарной вертикальной нагрузки	M_{qv}	0,366	-0,372	0,386	kNm/m
	m_{qh}	-0,250	0,250	-0,250	[-]
Момент бокового давления	M_{qh}	-0,123	0,123	-0,123	kNm/m
	m_{qh}^*	-0,181	0,208	-0,181	[-]
Момент от горизонтального давления сопротивления основания	M^*_{qh}	-0,132	0,152	-0,132	kNm/m
Момент от горизонтального давления сопротивления основания (заполн.водой)	M^*_{qw}	-0,003	0,004	-0,003	kNm/m
	m_g	0,381	-0,440	0,520	[-]
Момент от собственного веса	M_g	0,001	-0,002	0,002	kNm/m
	m_w	0,190	-0,220	0,260	[-]
Момент от заполнения водой	M_w	0,006	-0,007	0,008	kNm/m
	m_{pw}	0,000	0,000	0,000	[-]
Момент из-за давления воды	M_{pw}	-0,001	-0,001	-0,001	kNm/m
$\Sigma M = M_{qv} + M_{qh} + M^*_{qh} + M^*_{qw} + M_g + M_w + M_{pw}$					
Сумма моментов	ΣM	0,114	-0,103	0,137	kNm/m
$\Sigma_{Mqv,qh,qh^*} = M_{qv} + M_{qh} + M^*_{qh}$					
Сумма моментов от грунта и транспортных нагрузок	Σ_{Mqv,qh,qh^*}	0,111	-0,097	0,131	kNm/m
$\Sigma_{Msonst} = M^*_{qw} + M_g + M_w + M_{pw}$					
Сумма моментов от других нагрузок	Σ_{Msonst}	0,003	-0,006	0,006	kNm/m
$\Sigma M' = M_{qv} + M_{qh} + M^*_{qh} + M_g$					
Сумма моментов без заполн. водой и гидростат. давления	$\Sigma M'$	0,113	-0,099	0,133	kNm/m
	n_{pv}	0,027	-1,000	-0,027	[-]
Нормальная сила от общей вертик. нагрузки	N_{qv}	0,257	-9,513	-0,257	kN/m
	n_{qh}	-1,000	0,000	-1,000	[-]
Нормальная сила бокового давления	N_{qh}	-3,331	0,000	-3,331	kN/m
	n_{qh}^*	-0,577	0,000	-0,577	[-]
Нормальная сила от горизонтального давления сопротивления основания	N^*_{qh}	-2,857	0,000	-2,857	kN/m
	n_{qh}^*	-0,577	0,000	-0,577	[-]
Нормальная сила от горизонтального давления сопротивления основания (заполн.водой)	N^*_{qw}	-0,070	0,000	-0,070	kN/m
	n_g	0,250	-1,571	-0,250	[-]
Нормальная сила от собственного веса	N_g	0,007	-0,042	-0,007	kN/m
	n_w	0,625	0,215	1,375	[-]
Нормальная сила от заполнения водой	N_w	0,136	0,047	0,299	kN/m
Нормальная сила от давления воды	N_{pw}	-5,985	-5,985	-5,985	kN/m
Сумма нормальных сил	ΣN	-11,844	-15,493	-12,208	kN/m
Общая нормальная сила от грунта и транспортных нагрузок	Σ_{Nqv,qh,qh^*}	-5,932	-9,513	-6,445	kN/m
Общая нормальная сила от других нагрузок	Σ_{Nsonst}	-5,913	-5,980	-5,763	kN/m
Сумма без заполнение водой и давления	$\Sigma N'$	-5,925	-9,555	-6,452	kN/m

1.2.4.4. Силы резания (поперечные) при максимальном уровне грунтовых вод. Долгосрочное

		вершина	Ось симметрии	основание	

	m_{qv}	0,261	-0,265	0,275	[-]
Момент от суммарной вертикальной нагрузки	M_{qv}	0,323	-0,328	0,340	kNm/m
	m_{qh}	-0,250	0,250	-0,250	[-]
Момент бокового давления	M_{qh}	-0,128	0,128	-0,128	kNm/m
	m_{qh}^*	-0,181	0,208	-0,181	[-]
Момент от горизонтального давления сопротивления основания	M^*_{qh}	-0,141	0,162	-0,141	kNm/m
Момент от горизонтального давления сопротивления основания (заполн.водой)	M^*_{qw}	-0,005	0,005	-0,005	kNm/m
	m_g	0,381	-0,440	0,520	[-]
Момент от собственного веса	M_g	0,001	-0,002	0,002	kNm/m
	m_w	0,190	-0,220	0,260	[-]
Момент от заполнения водой	M_w	0,006	-0,007	0,008	kNm/m
	m_{pw}	0,000	0,000	0,000	[-]
Момент из-за давления воды	M_{pw}	-0,001	-0,001	-0,001	kNm/m
$\Sigma M = M_{qv} + M_{qh} + M^*_{qh} + M^*_{qw} + M_g + M_w + M_{pw}$					
Сумма моментов	ΣM	0,055	-0,042	0,075	kNm/m
$\Sigma_{Mqv,qh,qh^*} = M_{qv} + M_{qh} + M^*_{qh}$					
Сумма моментов от грунта и транспортных нагрузок	Σ_{Mqv,qh,qh^*}	0,053	-0,037	0,070	kNm/m
$\Sigma_{Msonst} = M^*_{qw} + M_g + M_w + M_{pw}$					
Сумма моментов от других нагрузок	Σ_{Msonst}	0,002	-0,005	0,004	kNm/m
$\Sigma M' = M_{qv} + M_{qh} + M^*_{qh} + M_g$					
Сумма моментов без заполн. водой и гидростат. давления	$\Sigma M'$	0,055	-0,039	0,072	kNm/m
	n_{pv}	0,027	-1,000	-0,027	[-]
Нормальная сила от общей вертик. нагрузки	N_{qv}	0,226	-8,380	-0,226	kN/m
	n_{qh}	-1,000	0,000	-1,000	[-]
Нормальная сила бокового давления	N_{qh}	-3,483	0,000	-3,483	kN/m
	n_{qh}^*	-0,577	0,000	-0,577	[-]
Нормальная сила от горизонтального давления сопротивления основания	N^*_{qh}	-3,049	0,000	-3,049	kN/m
	n_{qh}^*	-0,577	0,000	-0,577	[-]
Нормальная сила от горизонтального давления сопротивления основания (заполн.водой)	N^*_{qw}	-0,102	0,000	-0,102	kN/m
	n_g	0,250	-1,571	-0,250	[-]
Нормальная сила от собственного веса	N_g	0,007	-0,042	-0,007	kN/m
	n_w	0,625	0,215	1,375	[-]
Нормальная сила от заполнения водой	N_w	0,136	0,047	0,299	kN/m
Нормальная сила от давления воды	N_{pw}	-5,985	-5,985	-5,985	kN/m
Сумма нормальных сил	ΣN	-12,250	-14,359	-12,553	kN/m
Общая нормальная сила от грунта и транспортных нагрузок	Σ_{Nqv,qh,qh^*}	-6,306	-8,380	-6,758	kN/m
Общая нормальная сила от других нагрузок	Σ_{Nsonst}	-5,945	-5,980	-5,795	kN/m
Сумма без заполнение водой и давления	$\Sigma N'$	-6,299	-8,421	-6,765	kN/m

1.2.5. Доказательство краткосрочных нагрузок

1.2.5.1. Доказательство растяжения (при минимальных грунтовых водах)

$$\varepsilon_{R,res} = \frac{|\varepsilon_{qv,qh,qh^*}| \cdot \bar{\varepsilon}_R + |\varepsilon_{sonst}| \cdot \varepsilon_{R,L}}{|\varepsilon_{qv,qh,qh^*}| + |\varepsilon_{sonst}|}$$

Корректирующий коэффициент внутренней кривизны: α_{ki} 1,045 [-]

Внутри:		вершина	Ось симметрии	основание	
$\varepsilon_{qv,qh,qh^*} = \frac{\sigma_{qv,qh,qh^*}}{E_R} = \frac{s}{2r_m^3 \cdot 8S_0} \cdot \left(\frac{s \cdot \Sigma N_{qv,qh,qh^*}}{6} + \Sigma M_{qv,qh,qh^*} \cdot \alpha_{ki} \right)$					
Растяжение от нагрузки грунта и транспорта	ε_{qv,qh,qh^*}	0,300	-0,421	0,360	%
$\varepsilon_{sonst} = \frac{\sigma_{sonst}}{E_R} = \frac{s}{2r_m^3 \cdot 8S_0} \cdot \left(\frac{s \cdot \Sigma N_{sonst}}{6} + \Sigma M_{sonst} \cdot \alpha_{ki} \right)$					
Растяжение от других нагрузок	ε_{sonst}	-0,005	-0,029	0,004	%
$\varepsilon = \varepsilon_{sonst} + \varepsilon_{qv,qh,qh^*}$					
Суммарное растяжение	ε	0,295	-0,450	0,364	%
С учетом предельного растяжения внешних волокон	$\varepsilon_{R,res}$	3,74	3,74	3,74	%
Коэффициент надежности на растяжение при изгибе:	γ_{BZ}	12,679	---	10,280	[-]
Коэффициент надежности на сдавливание при изгибе:	γ_{BD}	---	8,318	---	[-]

Требуемый общий коэффициент безопасности, трещины, повреждение посредством разрыва: erf γ_{RBZ} 2,00 [-]

Требуемый общий коэффициент безопасности, трещины, повреждения посредством сжатия: erf γ_{RBD} 2,00 [-]

Корректирующий коэффициент наруж. кривизны: α_{ka} 0,955 [-]

Снаружи:		вершина	Ось симметрии	основание	
$\varepsilon_{qv,qh,qh^*} = \frac{\sigma_{qv,qh,qh^*}}{E_R} = \frac{s}{2r_m^3 \cdot 8S_0} \cdot \left(\frac{s \cdot \Sigma N_{qv,qh,qh^*}}{6} - \Sigma M_{qv,qh,qh^*} \cdot \alpha_{ka} \right)$					
Растяжение от нагрузки грунта и транспорта	ε_{qv,qh,qh^*}	-0,398	0,189	-0,464	%

$$\varepsilon_{sonst} = \frac{\sigma_{sonst}}{E_R} = \frac{s}{2r_m^3 \cdot 8S_0} \left(\frac{s \cdot \Sigma_{Nsonst}}{6} - \Sigma_{Msonst} \cdot \alpha_{ka} \right)$$

Растяжение от других нагрузок	ε_{sonst}	-0,024	-0,003	-0,029	%

$$\varepsilon = \varepsilon_{sonst} + \varepsilon_{qv,qh,qh^*}$$

Суммарное растяжение	ε	-0,422	0,186	-0,493	%
С учетом предельного растяжения внешних волокон	$\varepsilon_{R,res}$	3,74	3,74	3,74	%
Коэффициент надежности на растяжение при изгибе:	γ_{BZ}	---	20,070	---	[-]
Коэффициент надежности на сдавливание при изгибе:	γ_{BD}	8,878	---	7,596	[-]

Требуемый общий коэффициент безопасности, трещины, повреждение посредством разрыва:	erf γ_{RBZ}	2,00	[-]
Требуемый общий коэффициент безопасности, трещины, повреждения посредством сжатия:	erf γ_{RBD}	2,00	[-]

Все рассчитанные коэффициенты надежности доказательства растяжения достаточны.

1.2.5.2. Доказательство растяжения (при максимальном уровне грунтовых вод)

$$\varepsilon_{R,res} = \frac{|\varepsilon_{qv,qh,qh^*}| \cdot \bar{\varepsilon}_R + |\varepsilon_{sonst}| \cdot \varepsilon_{R,L}}{|\varepsilon_{qv,qh,qh^*}| + |\varepsilon_{sonst}|}$$

Корректирующий коэффициент внутренней кривизны:			α_{ki}	1,045	[-]
Внутри:		вершина	Ось симметрии	основание	

$$\varepsilon_{qv,qh,qh^*} = \frac{\sigma_{qv,qh,qh^*}}{E_R} = \frac{s}{2r_m^3 \cdot 8S_0} \left(\frac{s \cdot \Sigma_{Nqv,qh,qh^*}}{6} + \Sigma_{Mqv,qh,qh^*} \cdot \alpha_{ki} \right)$$

Растяжение от нагрузки грунта и транспорта	ε_{qv,qh,qh^*}	0,235	-0,324	0,281	%

$$\varepsilon_{sonst} = \frac{\sigma_{sonst}}{E_R} = \frac{s}{2r_m^3 \cdot 8S_0} \left(\frac{s \cdot \Sigma_{Nsonst}}{6} + \Sigma_{Msonst} \cdot \alpha_{ki} \right)$$

Растяжение от других нагрузок	ε_{sonst}	-0,040	-0,065	-0,032	%

$$\varepsilon = \varepsilon_{sonst} + \varepsilon_{qv,qh,qh^*}$$

Суммарное растяжение	ε	0,195	-0,389	0,249	%
С учетом предельного растяжения внешних волокон	$\varepsilon_{R,res}$	3,74	3,74	3,74	%

Коэффициент надежности на растяжение при изгибе:	γ_{BZ}	19,230	---	15,045	[-]
Коэффициент надежности на сдавливание при изгибе:	γ_{BD}	---	9,626	---	[-]

Требуемый общий коэффициент безопасности, трещины, повреждение посредством разрыва:	erf γ_{RBZ}	2,00 [-]
Требуемый общий коэффициент безопасности, трещины, повреждения посредством сжатия:	erf γ_{RBD}	2,00 [-]

Корректирующий коэффициент наруж. кривизны:	α_{ka}	0,955 [-]

Снаружи:		вершина	Ось симметрии	основание	
$\varepsilon_{qv,qh,qh^*} = \frac{\sigma_{qv,qh,qh^*}}{E_R} = \frac{s}{2r_m^3 \cdot 8S_0} \cdot \left(\frac{s \cdot \Sigma N_{qv,qh,qh^*}}{6} - \Sigma M_{qv,qh,qh^*} \cdot \alpha_{ka} \right)$					
Растяжение от нагрузки грунта и транспорта	ε_{qv,qh,qh^*}	-0,307	0,148	-0,356	%
$\varepsilon_{sonst} = \frac{\sigma_{sonst}}{E_R} = \frac{s}{2r_m^3 \cdot 8S_0} \cdot \left(\frac{s \cdot \Sigma N_{sonst}}{6} - \Sigma M_{sonst} \cdot \alpha_{ka} \right)$					
Растяжение от других нагрузок	ε_{sonst}	-0,055	-0,034	-0,060	%
$\varepsilon = \varepsilon_{sonst} + \varepsilon_{qv,qh,qh^*}$					
Суммарное растяжение	ε	-0,362	0,115	-0,417	%
С учетом предельного растяжения внешних волокон	$\varepsilon_{R,res}$	3,74	3,74	3,74	%
Коэффициент надежности на растяжение при изгибе:	γ_{BZ}	---	32,663	---	[-]
Коэффициент надежности на сдавливание при изгибе:	γ_{BD}	10,347	---	8,979	[-]

Требуемый общий коэффициент безопасности, трещины, повреждение посредством разрыва:	erf γ_{RBZ}	2,00 [-]
Требуемый общий коэффициент безопасности, трещины, повреждения посредством сжатия:	erf γ_{RBD}	2,00 [-]

Все рассчитанные коэффициенты надежности доказательства растяжения достаточны.

1.2.5.3. Доказательство деформации (при минимальных грунтовых водах)

Режим расчета:		линейный
Соотношение:		$l/(A \cdot rm^2)$ 0,00153 [-]
Соотношение '$l/(A \cdot rm^2) \cdot kq$':		$l/(A \cdot rm^2) \cdot k_Q$ 0,00184 [-]

		q_v	q_h	q_h^*	
Коэффициент деформации для момента изгиба	c_v	-0,0893	0,0833	0,0640	[-]
Коэффициент деформации для нормального усилия	c^N_v	-0,6830	-0,6810	-0,2470	[-]

Коэффициент деформации для поперечных сил	c^{Q}_{v}	-0,3590	0,3350	0,2430	[-]

$$c' = c + \frac{I}{A \cdot r_m^2} \cdot [c^N + 2(1 + \nu) \cdot \kappa_Q \cdot c^Q]$$

Результирующий коэффициент деформации	c'_v	-0,0922	0,0840	0,0649	[-]
Результирующий коэффициент деформации	$c'_{h,qv}$	0,0904	-0,0860	-0,0679	[-]

$$\Delta d_v = \frac{2 \cdot r_m}{8 S_0} \cdot (c_{v,qv} \cdot q_v + c_{v,qh} \cdot q_h + c_{v,qh^*} \cdot q_h^*)$$

$$\Delta d_h = \frac{2 \cdot r_m}{8 S_0} \cdot (c_{h,qv} \cdot q_v + c_{h,qh} \cdot q_h + c_{h,qh^*} \cdot q_h^*)$$

Вертикальное изменение диаметра:	Δd_v	5,58	mm
Горизонтальное изменение диаметра:	Δd_h	4,77	mm

$$\delta_v = \frac{\Delta d_v}{2 \cdot r_m} \cdot 100 \text{ in } \%$$

Относительная вертикальная деформация:	δ_v	1,89	%
Допустимая деформация:	zul δ_v	6,00	%

Рассчитанная деформация меньше допустимой.

1.2.5.4. Доказательство деформации (при максимальном уровне грунтовых вод)

Режим расчета:	линейный		
Соотношение:	$I/(A \cdot rm^2)$	0,00153	[-]
Соотношение 'I/(A·rm²)·κq':	$I/(A \cdot rm^2) \cdot \kappa_Q$	0,00184	[-]

		q_v	q_h	q_h^*		
Коэффициент деформации для момента изгиба	c_v	-0,0893	0,0833	0,0640	[-]	
Коэффициент деформации для нормального усилия	c^N_v	-0,6830	-0,6810	-0,2470	[-]	
Коэффициент деформации для поперечных сил	c^Q_v	-0,3590	0,3350	0,2430	[-]	

$$c' = c + \frac{I}{A \cdot r_m^2} \cdot [c^N + 2(1 + \nu) \cdot \kappa_Q \cdot c^Q]$$

Результирующий коэффициент деформации	c'_v	-0,0922	0,0840	0,0649	[-]
Результирующий коэффициент деформации	$c'_{h,qv}$	0,0904	-0,0860	-0,0679	[-]

$$\Delta d_v = \frac{2 \cdot r_m}{8 S_0} \cdot (c_{v,qv} \cdot q_v + c_{v,qh} \cdot q_h + c_{v,qh^*} \cdot q_h^*)$$

$$\Delta d_h = \frac{2 \cdot r_m}{8 S_0} \cdot (c_{h,qv} \cdot q_v + c_{h,qh} \cdot q_h + c_{h,qh^*} \cdot q_h^*)$$

Вертикальное изменение диаметра:	Δd_v	4,31	mm
Горизонтальное изменение диаметра:	Δd_h	3,70	mm

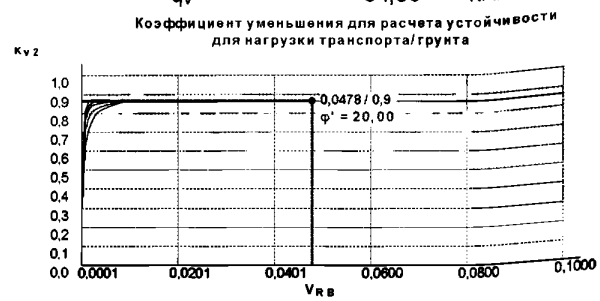
$$\delta_v = \frac{\Delta d_v}{2 \cdot r_m} \cdot 100 \text{ in } \%$$

Относительная вертикальная деформация:	δ_v	1,46	%
Допустимая деформация:	zul δ_v	6,00	%

Рассчитанная деформация меньше допустимой.

1.2.5.5. Доказательство устойчивости (линейное) (при максимальном уровне грунтовых вод)

Суммарная вертикальная нагрузка: q_v 64,50 kN/m²



Коэффициент уменьшения для расчета устойчивости для нагрузки транспорта/грунта:	κ_{v2}	0,87	[-]
Критическая вертикальная суммарная нагрузка:	krit q_v	1 013,7	kN/m²

$$\text{krit } q_v = 2 \cdot \kappa_{v2} \cdot (8S_0 \cdot S_{Bh})^{0,5}$$

Коэффициент надежности (вертикальная суммарная нагрузка):	γ_{qv}	15,72	[-]

$$\gamma = \frac{\text{krit } q_v}{q_v}$$

Внешнее давление воды:	p_a	38,00	kN/m²

$$p_a = h_W \cdot \gamma_W$$

Вкл. пониженное давление (вакуум) в трубе:	p_l-	0,00	kN/m²
Жёсткость системы:	V_{RB}	0,0478	[-]
Входная величина δv2 для определения κa2:	δ_{v2}	2,46	%
Уменьшающий коэффициент предварительной деформации для пробивных нагрузок при внешнем давлении воды:	κ_{a2}	0,79	[-]
Уменьшающий коэффициент локальной предварительной деформации для "пробивных" нагрузок при внешнем давлении воды:	κ_{a1}	1,00	[-]
Заменительная величина для rm/s:	k*	7,375	[-]
Коэффициент пробоя:	α_D	6,067	[-]
Критическое внешнее давление воды:	krit p_a	616,443	kN/m²

$$\text{krit } p_a = \kappa_a \cdot \alpha_D \cdot 8S_0$$

$$\kappa_a = \kappa_{a2} \cdot \kappa_{a1}$$

Коэффициент надежности для устойчивости (внешнее давление воды):	γ_{pa}	16,222	[-]

$$\gamma_{pa} = \frac{\text{krit } p_a}{p_a}$$

Коэффициент надежности для устойчивости:	γ	7,98	[-]
Требуемый общий коэффициент безопасности, потеря устойчивости:	erf γ_{stab}	2,00	[-]

Расчитанные коэффициенты надежности доказательства устойчивости достаточны.

1.2.5.6. Нелинейное доказательство стабильности

Нелинейное доказательство стабильности не применяется, т.к. VRB > 1.0 (жёсткая труба).

1.2.6. Доказательство долгосрочных нагрузок

1.2.6.1. Доказательство растяжения (при минимальных грунтовых водах)

$$\varepsilon_{R,res}=\frac{|\varepsilon_{qv,qh,qh^*}|\cdot\bar{\varepsilon}_R+|\varepsilon_{sonst}|\cdot\varepsilon_{R,L}}{|\varepsilon_{qv,qh,qh^*}|+|\varepsilon_{sonst}|}$$

Корректирующий коэффициент внутренней кривизны: α_{ki} 1,045 [-]

Внутри:		вершина	Ось симметрии	основание	
$\varepsilon_{qv,qh,qh^*}=\frac{\sigma_{qv,qh,qh^*}}{E_R}=\frac{s}{2r_m^3\cdot 8S_0}\left(\frac{s\cdot\Sigma N_{qv,qh,qh^*}}{6}+\Sigma M_{qv,qh,qh^*}\cdot\alpha_{ki}\right)$					
Растяжение от нагрузки грунта и транспорта	ε_{qv,qh,qh^*}	0,250	-0,545	0,396	%
$\varepsilon_{sonst}=\frac{\sigma_{sonst}}{E_R}=\frac{s}{2r_m^3\cdot 8S_0}\left(\frac{s\cdot\Sigma N_{sonst}}{6}+\Sigma M_{sonst}\cdot\alpha_{ki}\right)$					
Растяжение от других нагрузок	ε_{sonst}	-0,035	-0,099	-0,002	%
$\varepsilon=\varepsilon_{sonst}+\varepsilon_{qv,qh,qh^*}$					
Суммарное растяжение	ε	0,215	-0,644	0,395	%
С учетом предельного растяжения внешних волокон	$\varepsilon_{R,res}$	2,44	2,43	2,46	%
Коэффициент надежности на растяжение при изгибе:	γ_{BZ}	11,350	---	6,227	[-]
Коэффициент надежности на сдавливание при изгибе:	γ_{BD}	---	3,778	---	[-]

Требуемый общий коэффициент безопасности, трещины, повреждение посредством разрыва: erf γ_{RBZ} 2,00 [-]

Требуемый общий коэффициент безопасности, трещины, повреждения посредством сжатия: erf γ_{RBD} 2,00 [-]

Корректирующий коэффициент наруж. кривизны: α_{ka} 0,955 [-]

Снаружи:		вершина	Ось симметрии	основание	
$\varepsilon_{qv,qh,qh^*}=\frac{\sigma_{qv,qh,qh^*}}{E_R}=\frac{s}{2r_m^3\cdot 8S_0}\left(\frac{s\cdot\Sigma N_{qv,qh,qh^*}}{6}-\Sigma M_{qv,qh,qh^*}\cdot\alpha_{ka}\right)$					
Растяжение от нагрузки грунта и транспорта	ε_{qv,qh,qh^*}	-0,593	0,025	-0,753	%

$$\varepsilon_{sonst} = \frac{\sigma_{sonst}}{E_R} = \frac{s}{2r_m^3 \cdot 8S_0} \cdot \left(\frac{s \cdot \Sigma N_{sonst}}{6} - \Sigma M_{sonst} \cdot \alpha_{ka} \right)$$

Растяжение от других нагрузок	ε_{sonst}	-0,083	-0,026	-0,104	%

$$\varepsilon = \varepsilon_{sonst} + \varepsilon_{qv,qh,qh^*}$$

Суммарное растяжение	ε	-0,676	-0,001	-0,857	%
С учетом предельного растяжения внешних волокон	$\varepsilon_{R,res}$	2,44	2,37	2,44	%
Коэффициент надежности на растяжение при изгибе:	γ_{BZ}	---	---	---	[-]
Коэффициент надежности на сдавливание при изгибе:	γ_{BD}	3,607	2 790,502	2,848	[-]

Требуемый общий коэффициент безопасности, трещины, повреждение посредством разрыва:	erf γ_{RBZ}	2,00	[-]
Требуемый общий коэффициент безопасности, трещины, повреждения посредством сжатия:	erf γ_{RBD}	2,00	[-]

Все рассчитанные коэффициенты надежности доказательства растяжения достаточны.

1.2.6.2. Доказательство растяжения (при максимальном уровне грунтовых вод)

$$\varepsilon_{R,res} = \frac{|\varepsilon_{qv,qh,qh^*}| \cdot \bar{\varepsilon}_R + |\varepsilon_{sonst}| \cdot \varepsilon_{R,L}}{|\varepsilon_{qv,qh,qh^*}| + |\varepsilon_{sonst}|}$$

Корректирующий коэффициент внутренней кривизны:			α_{ki}	1,045	[-]
Внутри:		вершина	Ось симметрии	основание	

$$\varepsilon_{qv,qh,qh^*} = \frac{\sigma_{qv,qh,qh^*}}{E_R} = \frac{s}{2r_m^3 \cdot 8S_0} \cdot \left(\frac{s \cdot \Sigma N_{qv,qh,qh^*}}{6} + \Sigma M_{qv,qh,qh^*} \cdot \alpha_{ki} \right)$$

Растяжение от нагрузки грунта и транспорта	ε_{qv,qh,qh^*}	0,215	-0,415	0,318	%

$$\varepsilon_{sonst} = \frac{\sigma_{sonst}}{E_R} = \frac{s}{2r_m^3 \cdot 8S_0} \cdot \left(\frac{s \cdot \Sigma N_{sonst}}{6} + \Sigma M_{sonst} \cdot \alpha_{ki} \right)$$

Растяжение от других нагрузок	ε_{sonst}	-0,177	-0,241	-0,143	%

$$\varepsilon = \varepsilon_{sonst} + \varepsilon_{qv,qh,qh^*}$$

Суммарное растяжение	ε	0,038	-0,656	0,174	%
С учетом предельного растяжения внешних волокон	$\varepsilon_{R,res}$	2,43	2,45	2,46	%

Коэффициент надежности на растяжение при изгибе:	γ_{BZ}	64,113	---	14,127	[-]
Коэффициент надежности на сдавливание при изгибе:	γ_{BD}	---	3,738	---	[-]

Требуемый общий коэффициент безопасности, трещины, повреждение посредством разрыва:	erf γ_{RBZ}	2,00	[-]
Требуемый общий коэффициент безопасности, трещины, повреждения посредством сжатия:	erf γ_{RBD}	2,00	[-]

Корректирующий коэффициент наруж. кривизны:	α_{ka}	0,955	[-]

Снаружи:		вершина	Ось симметрии	основание	
$\varepsilon_{qv,qh,qh^*}=\frac{\sigma_{qv,qh,qh^*}}{E_R}=\frac{s}{2r_m^3\cdot 8S_0}\left(\frac{s\cdot\Sigma_{Nqv,qh,qh^*}}{6}-\Sigma_{Mqv,qh,qh^*}\cdot\alpha_{ka}\right)$					
Растяжение от нагрузки грунта и транспорта	ε_{qv,qh,qh^*}	-0,447	0,046	-0,559	%
$\varepsilon_{sonst}=\frac{\sigma_{sonst}}{E_R}=\frac{s}{2r_m^3\cdot 8S_0}\left(\frac{s\cdot\Sigma_{Nsonst}}{6}-\Sigma_{Msonst}\cdot\alpha_{ka}\right)$					
Растяжение от других нагрузок	ε_{sonst}	-0,208	-0,151	-0,229	%
$\varepsilon = \varepsilon_{sonst}+\varepsilon_{qv,qh,qh^*}$					
Суммарное растяжение	ε	-0,654	-0,105	-0,788	%
С учетом предельного растяжения внешних волокон	$\varepsilon_{R,res}$	2,46	2,34	2,47	%
Коэффициент надежности на растяжение при изгибе:	γ_{BZ}	---	---	---	[-]
Коэффициент надежности на сдавливание при изгибе:	γ_{BD}	3,763	22,178	3,134	[-]

Требуемый общий коэффициент безопасности, трещины, повреждение посредством разрыва:	erf γ_{RBZ}	2,00	[-]
Требуемый общий коэффициент безопасности, трещины, повреждения посредством сжатия:	erf γ_{RBD}	2,00	[-]

Все рассчитанные коэффициенты надежности доказательства растяжения достаточны.

1.2.6.3. Доказательство деформации (при минимальных грунтовых водах)

Режим расчета:		линейный	
Соотношение:		I/(A·rm²)	0,00153 [-]
Соотношение 'I/(A·rm²)·kq':		I/(A·rm²)·κ_Q	0,00184 [-]

		q_v	q_h	q_h^*	
Коэффициент деформации для момента изгиба	c_v	-0,0893	0,0833	0,0640	[-]
Коэффициент деформации для нормального усилия	c^N_v	-0,6830	-0,6810	-0,2470	[-]

Коэффициент деформации для поперечных сил	c^Q_v	-0,3590	0,3350	0,2430	[-]

$$c' = c + \frac{I}{A \cdot r_m^2} \cdot [c^N + 2(1 + v) \cdot \kappa_Q \cdot c^Q]$$

Результирующий коэффициент деформации	c'_v	-0,0922	0,0840	0,0649	[-]
Результирующий коэффициент деформации	$c'_{h,qv}$	0,0904	-0,0860	-0,0679	[-]

$$\Delta d_v = \frac{2 \cdot r_m}{8 S_0} \cdot (c_{v,qv} \cdot q_v + c_{v,qh} \cdot q_h + c_{v,qh^*} \cdot q_h^*)$$

$$\Delta d_h = \frac{2 \cdot r_m}{8 S_0} \cdot (c_{h,qv} \cdot q_v + c_{h,qh} \cdot q_h + c_{h,qh^*} \cdot q_h^*)$$

Вертикальное изменение диаметра:	Δd_v	7,13	mm
Горизонтальное изменение диаметра:	Δd_h	4,95	mm

$$\delta_v = \frac{\Delta d_v}{2 \cdot r_m} \cdot 100 \text{ in } \%$$

Относительная вертикальная деформация:	δ_v	2,42	%
Допустимая деформация:	zul δ_v	6,00	%

Рассчитанная деформация меньше допустимой.

1.2.6.4. Доказательство деформации (при максимальном уровне грунтовых вод)

Режим расчета:		линейный	
Соотношение:	$I/(A \cdot rm^2)$	0,00153	[-]
Соотношение 'I/(A·rm²)·κq':	$I/(A \cdot rm^2) \cdot \kappa_Q$	0,00184	[-]

		q_v	q_h	q_h^*	
Коэффициент деформации для момента изгиба	c_v	-0,0893	0,0833	0,0640	[-]
Коэффициент деформации для нормального усилия	c^N_v	-0,6830	-0,6810	-0,2470	[-]
Коэффициент деформации для поперечных сил	c^Q_v	-0,3590	0,3350	0,2430	[-]

$$c' = c + \frac{I}{A \cdot r_m^2} \cdot [c^N + 2(1 + v) \cdot \kappa_Q \cdot c^Q]$$

Результирующий коэффициент деформации	c'_v	-0,0922	0,0840	0,0649	[-]
Результирующий коэффициент деформации	$c'_{h,qv}$	0,0904	-0,0860	-0,0679	[-]

$$\Delta d_v = \frac{2 \cdot r_m}{8 S_0} \cdot (c_{v,qv} \cdot q_v + c_{v,qh} \cdot q_h + c_{v,qh^*} \cdot q_h^*)$$

$$\Delta d_h = \frac{2 \cdot r_m}{8 S_0} \cdot (c_{h,qv} \cdot q_v + c_{h,qh} \cdot q_h + c_{h,qh^*} \cdot q_h^*)$$

Вертикальное изменение диаметра:	Δd_v	5,48	mm
Горизонтальное изменение диаметра:	Δd_h	3,95	mm

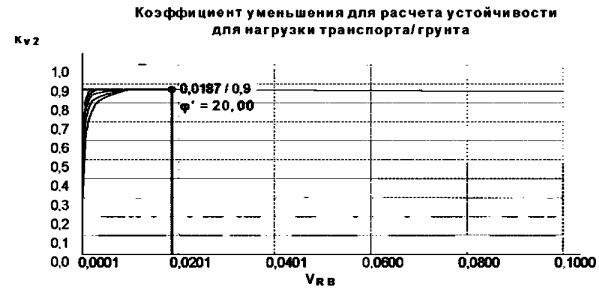
$$\delta_v = \frac{\Delta d_v}{2 \cdot r_m} \cdot 100 \text{ in } \%$$

Относительная вертикальная деформация:	δ_v	1,86	%
Допустимая деформация:	zul δ_v	6,00	%

Рассчитанная деформация меньше допустимой.

1.2.6.5. Доказательство устойчивости (линейное) (при максимальном уровне грунтовых вод)

Суммарная вертикальная нагрузка:	q_v	56,81	kN/m²



Коэффициент уменьшения для расчета устойчивости для нагрузки транспорта/грунта:	κ_{v2}	0,87	[-]
Критическая вертикальная суммарная нагрузка:	krit q_v	636,6	kN/m²

$$krit\ q_v = 2 \cdot \kappa_{v2} \cdot (8S_0 \cdot S_{Bh})^{0,5}$$

Коэффициент надежности (вертикальная суммарная нагрузка):	γ_{qv}	11,21	[-]

$$\gamma = \frac{krit\ q_v}{q_v}$$

Внешнее давление воды:	p_a	38,00	kN/m²

$$p_a = h_W \cdot \gamma_W$$

Вкл. пониженное давление (вакуум) в трубе:	p_{l-}	0,00	kN/m²
Жёсткость системы:	V_{RB}	0,0187	[-]
Входная величина δv2 для определения κa2:	δ_{v2}	2,86	%
Уменьшающий коэффициент предварительной деформации для пробивных нагрузок при внешнем давлении воды:	κ_{a2}	0,83	[-]
Уменьшающий коэффициент локальной предварительной деформации для "пробивных" нагрузок при внешнем давлении воды:	κ_{a1}	1,00	[-]
Заменительная величина для rm/s:	k*	7,375	[-]
Коэффициент пробоя:	α_D	8,788	[-]
Критическое внешнее давление воды:	krit p_a	232,016	kN/m²

$$krit\ p_a = \kappa_a \cdot \alpha_D \cdot 8S_0$$

$$\kappa_a = \kappa_{a2} \cdot \kappa_{a1}$$

Коэффициент надежности для устойчивости (внешнее давление воды):	γ_{pa}	6,106	[-]

$$\gamma_{pa} = \frac{krit\ p_a}{p_a}$$

Коэффициент надежности для устойчивости:	γ	3,95	[-]
Требуемый общий коэффициент безопасности, потеря устойчивости:	erf γ_{stab}	2,00	[-]

Расчитанные коэффициенты надежности доказательства устойчивости достаточны.

1.2.6.6. Нелинейное доказательство стабильности

Нелинейное доказательство стабильности не применяется, т.к. VRB > 1.0 (жёсткая труба).

Результаты всех необходимых испытаний удовлетворительные.

Приложение Ж
(рекомендуемое)

Расчет на прочность трубопровода из стеклопластика при подземной прокладке

Прочностной расчет трубопроводов из стеклопластика при подземной прокладке рекомендуется выполнять согласно методике, приведенной в AWWA Manual M45 [53], а также в Технических рекомендациях «Проектирование подземных трубопроводов систем водоснабжения и водоотведения из стеклопластиковых труб, изготовленных методом непрерывной намотки. Часть I. Методические положения» [54] (для самотечного варианта), с учетом ATV-DVWK-A 127 [31].

Выбираем исходные данные для расчета:

- номинальный диаметр трубы ND – 1000 мм;
- толщина структурной стенки δ_{cc} – 14,5 мм;
- толщина лайнера (защитный внутренний слой из смолы) $\delta_{лс}$ – 1,02 мм;
- общая толщина стенки δ_o – 15,52 мм;
- жесткость трубы SN – 10000 Па;
- окружной модуль на растяжение E_H – 12411 МПа;
- максимально допустимая деформация $\delta d/d_{ср}$ – 0,05 мм/мм;
- коэффициент безопасности по устойчивости FS – 2,5;
- долговременная кольцевая изгибная деформация S_b – 0,0115;
- средний диаметр трубы $d_{ср}$ – 1024,5 мм;
- вакуум $P_{вак}$ – 0,56 ати (0,06 МПа);
- глубина прокладки H – 1,22÷2,43 м (от уровня земли до внешней поверхности трубы);
- удельный вес воды $\gamma_в$ – 9810 кгс/м^3 (96138 $Н/м^3$);
- удельный вес естественного грунта (плотный илистый песок) $\gamma_{гр}$ – 2018 кгс/м^3 (19776 $Н/м^3$);
- модуль естественного грунта E'_n – 69 МПа;
- модуль грунта обратной засыпки (слабо уплотненный глинистый песок) E'_b – 6,9 МПа;
- высота столба грунтовых вод над внешней поверхностью трубы $H_в$ – 1,52÷0,3 м;
- ширина траншеи $B_{тр}$ – 1,5 м;
- коэффициент комбинированной реакции грунта S_c – 2,0 (в зависимости от E'_n/E'_b и $B_{тр}/d_н$);
- коэффициент формы D_f – 4,5 (в зависимости от жесткости трубы, материала засыпки и степени уплотнения материала засыпки);
- коэффициент постели K_X – 0,103;
- нагрузка колеса G – 7257 кгс (71172 Н);
- длина следа от колеса (длина грузовой площадки) в направлении движения l_1 – 0,25 м;
- коэффициент динамической нагрузки I_F – 1,0 (при $H \geq 0,9$ м);
- коэффициент запаздывания прогиба D_L – 1,1.

Значение максимально допустимого прогиба необходимо для последующей проверки расчетного прогиба, который должен быть меньше максимально допустимого.

Определяем максимально допустимый долговременный вертикальный прогиб трубы:

$$\Delta y_a = \frac{S_b}{FS} \cdot \frac{d_{ср}}{\delta_o} \cdot \frac{d_{ср}}{D_f} = \frac{0,0115}{1,5} \cdot \frac{1024,5}{15,52} \cdot \frac{1024,5}{4,5} = 115,2 \text{ мм}. \quad (Ж1)$$

$$\frac{\Delta y_a}{d_{ср}} = \frac{115,2}{1024,5} = 0,11 \geq \delta d/d_{ср} = 0,05. \quad (Ж2)$$

Принимаемое в пределах 5 % уменьшение диаметра трубы по вертикали от внешних нагрузок и установленная допустимая деформация (6 % по ATV-DVWK-A 127 [31]) меньше рассчитанного максимально допустимого долговременного прогиба, т.е. результат этой проверки положительный.

Определяем нагрузки от грунта (точнее, давления, оказываемого грунтом на единицу площади) для максимальной и минимальной глубин прокладки трубопровода:

$$W_{гр\max} = \gamma_{гр} H_{\max} = 19776 \cdot 2{,}43 = 48056 \text{ Па}, \quad (Ж3)$$

$$W_{гр\min} = \gamma_{гр} H_{\min} = 19776 \cdot 1{,}22 = 24127 \text{ Па}.$$

Определяем максимальную и минимальную ширину зоны действия нагрузки от транспортных средств параллельно (Ж4) и перпендикулярно (Ж5) направлению движения:

$$L_{1\max} = l_1 + 1{,}75 H_{\max} = 0{,}25 + 1{,}75 \cdot 2{,}43 = 4{,}50 \text{ м}, \quad (Ж4)$$

$$L_{1\min} = l_1 + 1{,}75 H_{\min} = 0{,}25 + 1{,}75 \cdot 1{,}22 = 2{,}39 \text{ м}.$$

$$L_{2\max} = \frac{1{,}31 + 1{,}75 H_{\max}}{8} = \frac{1{,}31 + 1{,}75 \cdot 2{,}43}{8} = 0{,}7 \text{ м}, \quad (Ж5)$$

$$L_{2\min} = \frac{1{,}31 + 1{,}75 H_{\min}}{8} = \frac{1{,}31 + 1{,}75 \cdot 1{,}22}{8} = 0{,}43 \text{ м}.$$

Определяем минимальную и максимальную динамические нагрузки:

$$W_{Д\min} = \frac{GI_F}{L_{1\max} L_{2\max}} = \frac{71172 \cdot 1{,}0}{4{,}5 \cdot 0{,}7} = 22594 \text{ Па}, \quad (Ж6)$$

$$W_{Д\max} = \frac{GI_F}{L_{1\min} L_{2\min}} = \frac{71172 \cdot 1{,}0}{2{,}39 \cdot 0{,}43} = 69254 \text{ Па}.$$

Определяем комбинированный модуль реакции грунта:

$$E' = S_c E'_b = 2{,}0 \cdot 6{,}9 = 13{,}8 \text{ МПа}. \quad (Ж7)$$

Определяем расчетную деформацию трубы для максимальной и минимальной глубин прокладки трубопровода:

$$\frac{\Delta y_{\max}}{d_{ср}} = \frac{(D_L W_{гр\max} + W_{Д\min}) K_X}{0{,}149 SN + 0{,}061 E'} \cdot 100\% = \frac{(1{,}1 \cdot 48056 + 22594) \cdot 0{,}103}{0{,}149 \cdot 10000 + 0{,}061 \cdot 13800000} \cdot 100\% = 0{,}91\%, \quad (Ж8)$$

$$\frac{\Delta y_{\min}}{d_{ср}} = \frac{(D_L W_{гр\min} + W_{Д\max}) K_X}{0{,}149 SN + 0{,}061 E'} \cdot 100\% = \frac{(1{,}1 \cdot 24127 + 69254) \cdot 0{,}103}{0{,}149 \cdot 10000 + 0{,}061 \cdot 13800000} \cdot 100\% = 1{,}16\%.$$

Проверка расчетной деформации по допустимым деформациям для обоих вариантов глубины прокладки трубопровода дает положительный результат:

$$0{,}91\% \le \delta d / d_{ср} = 5\% \le \frac{\Delta y_a}{d_{ср}} = 11\% \quad (Ж9)$$

$$1{,}16\% \le \delta d / d_{ср} = 5\% \le \frac{\Delta y_a}{d_{ср}} = 11\%$$

Определяем коэффициент плавучести для двух вариантов по глубине прокладки:

$$R_{B\min} = 1 - 0{,}33 \frac{H_{B\max}}{H_{\max}} = 1 - 0{,}33 \frac{1{,}52}{2{,}43} = 0{,}794, \quad (Ж10)$$

$$R_{B\max} = 1 - 0{,}33 \frac{H_{B\min}}{H_{\min}} = 1 - 0{,}33 \frac{0{,}3}{1{,}22} = 0{,}919.$$

Определяем эмпирический коэффициент упругой опоры для двух вариантов по глубине прокладки:

$$B'_{\max} = \frac{1}{1 + 4e^{-0{,}213 H_{\max}}} = \frac{1}{1 + 4 \cdot 2{,}718^{-0{,}2132{,}43}} = 0{,}296, \quad (Ж11)$$

$$B'_{\min} = \frac{1}{1 + 4e^{-0{,}213 H_{\min}}} = \frac{1}{1 + 4 \cdot 2{,}718^{-0{,}2131{,}22}} = 0{,}245.$$

Определяем допустимое давление, вызывающее вдавливание (потерю устойчивости):

$$q_{доп\max} = \frac{\sqrt{32R_{B\min}B'_{\max}E'SN}}{FS} = \frac{\sqrt{32 \cdot 0{,}794 \cdot 0{,}296 \cdot 13800000 \cdot 10000}}{2{,}5} = 407503 \text{ Па}, \quad \text{(Ж12)}$$

$$q_{доп\min} = \frac{\sqrt{32R_{B\max}B'_{\min}E'SN}}{FS} = \frac{\sqrt{32 \cdot 0{,}919 \cdot 0{,}245 \cdot 13800000 \cdot 10000}}{2{,}5} = 398855 \text{ Па}.$$

Общее расчетное значение внешних нагрузок должно быть меньше или равным допустимому давлению, вызывающему вдавливание (потерю устойчивости).

Определяем расчетное давление при двух глубинах прокладки трубы:

$$q_{1p\max} = \gamma_в H_{в\max} + R_{в\min}W_{гр\max} + P_{вак} = 99138 \cdot 1{,}52 + 0{,}794 \cdot 48056 + 55168 = 244016 \text{ Па}, \quad \text{(Ж13)}$$

$$q_{1p\min} = \gamma_в H_{в\min} + R_{в\max}W_{гр\min} + P_{вак} = 99138 \cdot 0{,}3 + 0{,}919 \cdot 24127 + 55168 = 107082 \text{ Па}.$$

Определяем расчетное давление при действии нагрузки от грунта и динамической нагрузки при двух глубинах прокладки трубы:

$$q_{2p\max} = \gamma_в H_{в\max} + R_{в\min}W_{гр\max} + W_{Д\min} = 99138 \cdot 1{,}52 + 0{,}794 \cdot 48056 + 22594 = 214440 \text{ Па}, \quad \text{(Ж14)}$$

$$q_{2p\min} = \gamma_в H_{в\min} + R_{в\max}W_{гр\min} + W_{Д\max} = 99138 \cdot 0{,}3 + 0{,}919 \cdot 24127 + 69254 = 124168 \text{ Па}.$$

Так как при сравнении результатов по формулам (Ж12) и (Ж13), (Ж12) и (Ж14) получаем, что $q_{1p} < q_{доп}$ и $q_{2p} < q_{доп}$, то проверка устойчивости дает положительный результат.

Таким образом, все расчетные показатели трубопровода полностью удовлетворяют проверкам на допустимые деформации и допустимые нагрузки.

Библиография

[1] Рекомендации совместного совещания Комитета по промышленной политике Совета Федерации, Комитета по науке, образованию, здравоохранению и экологии Совета Федерации, Комитета по экологии Государственной Думы на тему: «О законодательном обеспечении экологической безопасности трубопроводных систем питьевого водоснабжения» от 08.10.2007

[2] Решения Федерального собрания РФ Государственной думы «О проблемах обеспечения экологической безопасности сетей водоснабжения» от 22.02.2006 № 70-1

[3] Решения Федерального собрания РФ Государственной думы «О проблемах обеспечения экологической безопасности сетей водоснабжения» от 15.11.2007 № 125-5

[4] Федеральный закон РФ «О пожарной безопасности» от 21.12.1994 № 69-ФЗ (в ред. от 30.12.2012)

[5] Федеральный закон РФ «Градостроительный кодекс Российской Федерации» от 29.12.2004 № 190-ФЗ (в ред. от 05.04.2013)

[6] Федеральный закон РФ «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 № 7-ФЗ (в ред. от 05.03.2013)

[7] Федеральный закон РФ «О техническом регулировании» от 27.12.2002 № 184-ФЗ (в ред. от 03.12.2012)

[8] Федеральный закон РФ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 23.11.2009 № 261-ФЗ (в ред. от 25.12.2012, с изм. от 05.04.2013)

[9] Федеральный закон РФ «О теплоснабжении» от 27.07.2010 № 190-ФЗ (в ред. от 07.05.2013)

[10] Федеральный закон РФ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» от 22.07.2008 № 123-ФЗ (в ред. от 10.07.2012)

[11] Федеральный закон РФ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» от 30.12.2009 № 384-ФЗ

[12] Федеральный закон РФ «О водоснабжении и водоотведении» от 07.12.2011 № 416-ФЗ (в ред. от 07.05.2013)

[13]	Постановление Правительства РФ от 22.12.2010 № 1092 (в ред. от 26.06.2012)	О федеральной целевой программе «Чистая вода» на 2011-2017 годы
[14]	Постановление Правительства РФ от 15.09.2009 № 753 (в ред. от 24.03.2011)	Об утверждении технического регламента о безопасности машин и оборудования
[15]	Постановление Правительства Санкт-Петербурга от 11.12.2007 № 1587 (в ред. от 20.04.2011)	Об отраслевой схеме водоснабжения и отраслевой схеме водоотведения (канализации) Санкт-Петербурга на период до 2015 года с учетом перспективы до 2025 года
[16]	Постановление Правительства Санкт-Петербурга от 21.10.2007 № 1270 (в ред. от 14.03.2011)	О программе комплексного развития систем коммунальной инфраструктуры Санкт-Петербурга до 2015 года
[17]	Постановление Правительства Санкт-Петербурга от 24.05.2011 № 625	Об утверждении Программы «Региональная программа «Чистая вода Санкт-Петербурга» на 2011-2025 годы»
[18]	Постановление Правительства РФ от 21.06.2010 № 468	О порядке проведения строительного контроля при осуществлении строительства, реконструкции и капитального ремонта объектов капитального строительства
[19]	Постановление Правительства РФ от 16.02.2008 № 87 (в ред. от 02.08.2012)	О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию

[20] PAS 1075:2009 Pipes made from Polyethylene for alternative installation Techniques – Dimensions, technical requirements and testing

[21] DIN 8074-2011 Polyethylene (PE) – Pipes PE 80, PE 100 – Dimensions

[22] DIN 8075-2011 Polyethylene (PE) pipes – PE 80, PE 100 – General quality requirements, testing

[23] DIN EN 12201-1-2011 Plastics piping systems for water supply, and for drainage and sewerage under pressure – Polyethylene (PE) – Part 1: General

[24] DIN EN 12201-2-2011 Plastics piping systems for water supply, and for drainage and sewerage under pressure – Polyethylene (PE) – Part 2: Pipes

[25] DIN EN 12201-3-2013 Plastics piping systems for water supply, and for drainage and sewerage under pressure – Polyethylene (PE) – Part 3: Fittings

[26] DIN EN 12201-4-2012 Plastics piping systems for water supply, and for drainage and sewerage under pressure – Polyethylene (PE) – Part 4: Valves

[27] DIN EN 12201-5-2011 Plastics piping systems for water supply, and for drainage and sewerage under pressure – Polyethylene (PE) – Part 5: Fitness for purpose of the system

[28] ISO 9080:2003 Plastics piping and ducting systems – Determination of the long-term hydrostatic strength of thermoplastics materials in pipe form by extrapolation

[29] ISO 16770:2004 Plastics – Determination of environmental stress cracking (ESC) of polyethylene – Full-notch creep test (FNCT)

[30] DIN EN ISO 13760:1998 Plastics pipes for the conveyance of fluids under pressure – Miner's rule – Calculation method for cumulative damage

[31] ATV-DVWK-A 127 Statische Berechnung von Abwasserkanälen und – leitungen. August 2000

[32] DIN EN 545-2011 Ductile iron pipes, fittings, accessories and their joints for water pipelines – Requirements and test methods

[33] Рекомендации по использованию труб ОАО «ЛМЗ «Свободный сокол». 2011

[34] Приказ Минэнерго России от 29.12.2002 № 375 — Инструкция по защите городских подземных трубопроводов от коррозии (РД 153-39.4-091-01)

[35] DIN EN 13476-3-2009 Plastics piping systems for non-pressure underground drainage and sewerage – Structured-wall piping systems of unplasticized poly(vinyl chloride) (PVC-U), polypropylene (PP) and polyethylene (PE) – Part 3: Specifications for pipes and fittings with smooth internal and profiled external surface and the system, Type B

[36] DIN EN 1277-2004 Plastics piping systems – Thermoplastics piping systems for buried non-pressure applications – Test methods for leaktightness of elastomeric sealing ring type joints

[37] ТР 170-05 Технические рекомендации на проектирование и строительство подземных сетей водоотведения из безнапорных полиэтиленовых труб с двухслойной стенкой. ГУП «НИИМОССТРОЙ». 2005

[38] ТР 171-05 Технические рекомендации на проектирование и строительство подземных сетей водоотведения из безнапорных полипропиленовых труб с двухслойной стенкой. ГУП «НИИМОССТРОЙ». 2005

[39] СК 2416-06 Конструкции безнапорных трубопроводов хозяйственно-бытовой и дождевой канализации с применением полипропиленовых гофрированных с двухслойной стенкой труб «Прагма». ГУП «МОСИНЖПРОЕКТ». 2006

[40] ISO 10639:2004 Plastics piping systems for pressure and non-pressure water supply – Glass-reinforced thermosetting plastics (GRP) systems based on unsaturated polyester (UP) resin

[41] ISO 10639:2004/Amd.1:2011 Plastics piping systems for pressure and non-pressure water supply – Glassreinforced thermosetting plastics (GRP) systems based on unsaturated polyester (UP) resin – Amendment 1

[42] ISO 10467:2004 Plastics piping systems for pressure and non-pressure drainage and sewerage – Glass-reinforced thermosetting plastics (GRP) systems based on unsaturated polyester (UP) resin

[43] ISO 10467:2004/Amd.1:2012 Plastics piping systems for pressure and non-pressure drainage and sewerage – Glass-reinforced thermosetting plastics (GRP) systems based on unsaturated polyester (UP) resin – Amendment 1

[44] ISO 10468:2003 Glass-reinforced thermosetting plastics (GRP) pipes – Determination of the longterm specific ring creep stiffness under wet conditions and calculation of the wet creep factor

[45] ISO 10468:2003/Amd.1:2010 Glass-reinforced thermosetting plastics (GRP) pipes – Determination of the long-term specific ring creep stiffness under wet conditions and calculation of the wet creep factor – Amendment 1

[46] ANSI/AWWA C950-01 Fiberglass Pressure Pipe

[47] DIN 16868-1-1994 Glass fibre reinforced unsaturated polyester resin (UP-GF) pipes – Part 1: Wound, filled; dimensions

[48] DIN 16868-2-1994 Glass fibre reinforced unsaturated polyester resin (UP-GF) pipes – Part 2: Wound, filled; General quality requirements, testing

[49] DIN EN 1796-2013 Plastics piping systems for water supply with or without pressure – Glass-reinforced thermosetting plastics (GRP) based on unsaturated polyester resin (UP)

[50] DIN EN 14364-2009 Plastics piping systems for drainage and sewerage with or without pressure – Glass-reinforced thermosetting plastics (GRP) based on unsaturated polyester resin (UP) – Specifications for pipes, fittings and joints

[51] DIN 16870-1-1987 Wound glass fibre reinforced epoxy resin pipes; Dimensions

[52] DIN 16871-1982 Centrifugally cast glass fibre reinforced epoxy resin (EP-GF) pipes; Dimensions

[53] AWWA Manual M45 Fiberglass Pipe Design

[54] Технические рекомендации. Проектирование подземных трубопроводов систем водоснабжения и водоотведения из стеклопластиковых труб, изготовленных методом непрерывной намотки. Часть I. Методические положения. Часть II. Таблицы гидравлических расчетов. ООО «Новые Трубные Технологии». 2007

[55] DIN EN 805-2000 Water supply – Requirements for systems and components outside building

[56] МГСН 6.01-03 (ТСН 40-303-2003) Бестраншейная прокладка коммуникаций с применением микротоннелепроходческих комплексов и реконструкция трубопроводов с применением специального оборудования

[57] DVGW GW 322:2001 No-dig Replacement Of Gas And Water Pipework Using Pushing Or Pulling Procedures – Requirements, Quality And Testing

[58] Приказ Госгортехнадзора России от 25.06.2002 № 36 (в ред. от 17.10.2012) Об утверждении новой редакции «Технологического регламента проведения аттестации сварщиков и специалистов сварочного производства» (РД 03-495-02)

[59] Руководство по прокладке подземных трубопроводов методом горизонтально-направленного бурения с применением труб из ВЧШГ. ООО «Аквадизайн – А». 2007

[60] DIN 30674-3-2001 Sheathing ductile cast iron pipes – Part 3: Zinc coating with protective sheathing

[61] DIN EN 14628-2006 Ductile iron pipes, fittings and accessories – External polyethylene coating for pipes – Requirements and test methods

[62] Приказ Минэнерго России от 02.07.2001 № 197 Сварка, термообработка и контроль трубных систем котлов и трубопроводов при монтаже и ремонте энергетического оборудования (РД 153-34.1-003-01, РТМ-1с, СО 153-34.003-01)

[63] Приказ Ростехнадзора от 12.01.2007 № 7 — Об утверждении и введении в действие «Порядка ведения общего и (или) специального журнала учета выполнения работ при строительстве, реконструкции, капитальном ремонте объектов капитального строительства» (РД-11-05-2007)

[64] ФГУП ЦУФС МИНАТОМА РОССИИ (б. трест «ОРГТЕХСТРОЙ-11») Схемы входного и операционного контроля качества строительно-монтажных работ. Часть III. Наружные сети канализации и водоснабжения. 2002

[65] Постановление Госгортехнадзора России от 11.06.2003 № 90 — Об утверждении Правил устройства и безопасной эксплуатации трубопроводов пара и горячей воды (ПБ 10-573-03)

[66] Постановление Госгортехнадзора России от 02.06.2000 № 29 — Об утверждении Правил аттестации и основные требования к лабораториям неразрушающего контроля (ПБ 03-372-00)

[67] Постановление Правительства РФ от 19.06.2012 № 602 — Об аккредитации органов по сертификации и испытательных лабораторий (центров), выполняющих работы по подтверждению соответствия, аттестации экспертов по аккредитации, а также привлечении и отборе экспертов по аккредитации и технических экспертов для выполнения работ в области аккредитации

[68] ISO 8179-1:2004 Ductile iron pipes – External zinc-based coating – Part 1: Metallic zinc with finishing layer

[69] Water mains: Ductile iron pipes and fittings for raw and potable water supplied and irrigation. Saint-Gobain PAM. 2001

gost.e-ecolog.ru