ОТРАСЛЕВОЙ ДОРОЖНЫЙ МЕТОДИЧЕСКИЙ ДОКУМЕНТ

РОСАВТОДОР

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРИМЕНЕНИЮ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ТРУБ БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА В УСЛОВИЯХ НАЛЕДЕОБРАЗОВАНИЯ И МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ (ДЛЯ ОПЫТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА)

Издание официальное

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЛУЖБА ДОРОЖНОГО ХОЗЯЙСТВА

Москва 2003

gost.e-ecolog.ru

ОТРАСЛЕВОЙ ДОРОЖНЫЙ МЕТОДИЧЕСКИЙ ДОКУМЕНТ

Утверждено распоряжением
Минтранса России
от 25.08 2003 № ОС-753-р

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРИМЕНЕНИЮ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ТРУБ БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА В УСЛОВИЯХ НАЛЕДЕОБРАЗОВАНИЯ И МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ (ДЛЯ ОПЫТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА)

Издание официальное

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЛУЖБА ДОРОЖНОГО ХОЗЯЙСТВА
(РОСАВТОДОР)

Москва 2003

1. Разработан ФГУП «Союздорнии».

2. Внесен Управлением инноваций и технического нормирования в дорожном хозяйстве Государственной службы дорожного хозяйства.

3. Принят и введен в действие распоряжением Министерства транспорта Российской Федерации от 25.08.2003 № ОС-753-р.

Настоящие Методические рекомендации не могут быть полностью или частично воспроизведены, тиражированы и распространены в качестве официального издания без разрешения Росавтодора.

ВВЕДЕНИЕ

Настоящие Методические рекомендации относятся к районам распространения многолетнемерзлых грунтов и наледеобразования.

Эти районы характеризуются продолжительной зимой с низкими температурами воздуха, глубоким сезонным промерзанием, значительным распространением вечномерзлых грунтов и слабых переувлажненных грунтов.

Многолетняя эксплуатация водопропускных труб на дорогах Западной и Восточной Сибири, Забайкалья и других районов позволила оценить особенности работы в этих условиях труб различного поперечного сечения, выполненных из различных материалов.

Для этих районов характерны: непосредственное влияние на конструкции низкой температуры и значительных ее колебаний, в том числе в совокупности с увлажнением; силовое воздействие на трубы окружающего грунта в связи с морозными факторами – пучением, оттаиванием мерзлоты и т.п.; воздействием наледей на трубы.

Подобные воздействия приводят к тому, что в суровых климатических условиях водопропускные трубы значительно чаще и в большей степени подвержены различным деформациям, чем в обычных условиях. В связи с этим к ним, их конструкции и технологии строительно-монтажных работ должны предъявляться повышенные требования.

Рекомендации составлены с использованием как общей нормативно-методической литературы (СНиП 2.02.04–88, СНиП 2.02.01–83), так и специальной (Методические рекомендации по проектированию и постройке металлических гофрированных конструкций больших диаметров. АО ЦНИИС, 2002 г).

Методические рекомендации разработали:

от ФГУП «Союздорнии»:

В.Д. Казарновский, д-р техн. наук, проф., научн. рук.;

С.Е. Гречищев, д-р г.м.наук, проф., научн. рук.;

В.А. Зельманович, инж.;

Ю.Б. Шешин, канд. г.м.наук, отв. исп.;

от Росдорнии:

В.И. Климешов.

Методические рекомендации предназначены для опытного строительства, которое должно осуществляться при научном сопровождении организаций-разработчиков. При этом должны предусматриваться стационарные наблюдения за построенными конструкциями в процессе их опытной эксплуатации с целью последующей корректировки настоящих Рекомендаций.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1.Условия применения металлических труб большого диаметра

1.1.1. Методические рекомендации распространяются на проектирование и постройку металлических гофрированных водопропускных труб и водопропускных сооружений из гофрированных структур комплектной отечественной и импортной поставки отверстием до 8 м на автомобильных дорогах в районах вечной мерзлоты и наледеобразования.

При разработке проектов следует соблюдать требования действующих нормативных документов и государственных стандартов.

1.1.2. Проектирование металлических гофрированных водопропускных сооружений следует осуществлять на основании технико-экономического обоснования целесообразности их применения в конкретных условиях строительства.

1.1.3. Применение гофрированных труб с отверстием менее 5 м на водотоках при наличии ледохода, карчехода, селевых потоков и наледеобразования не допускается. Водопропускные сооружения из гофрированного металла с отверстием 5 м и более по технологии и из материалов зарубежных фирм на подобных водотоках проектируют в комплексе с противоналедными мероприятиями по соответствующим требованиям и нормам проектирования мостов при гарантии их надежной эксплуатации.

1.1.4. Водопропускные сооружения из гофрированных металлических структур (отверстием более 3 м) рассчитывают на пропуск водного потока только в безнапорном режиме и проектируют по нормам проектирования мостов.

Возвышение высшей точки внутренней поверхности трубы над горизонтом воды в трубе при расчетном расходе и безнапорном режиме должно быть не менее ¼ высоты трубы в свету.

1.1.5. Наименьшую толщину засыпки над звеньями труб следует принимать согласно СНиП 2.05.03-84*. Мосты и трубы равной:

на автомобильных дорогах, а также на дорогах и на улицах городов и поселков – 0,5 м до низа дорожной одежды, но не менее 0,8 м до верха дорожного покрытия.

Минимальная толщина над сводом водопропускных сооружений больших отверстий из гофрированного металла, в том числе импортной поставки, следует проверять расчетом.

При армировании грунтовой обоймы и устройстве мембраны из объемных георешеток над шелыгой свода трубы, а также при осуществлении других специальных конструктивно-технологических мероприятий толщина засыпки может быть уменьшена с проверкой достаточности расчетом. Толщина засыпки над трубой в период строительства должна обеспечивать возможность пропуска строительных машин и механизмов.

1.1.6. Расчет труб и пойменных насыпей на воздействие водного потока следует производить, как правило, по гидрографам и водомерным графикам расчетных паводков. При этом вероятности превышения максимальных расходов расчетных паводков следует принимать с учетом категории дороги в соответствии с требованиями СНиП 2.05.03-84* (табл.3*).

1.1.7. Бровка земляного полотна на подходах к трубам должна быть не менее чем на 0,5 м выше отметки подпорного уровня, определяемого по наибольшему расходу расчетных паводков для автомагистралей.

1.1.8. Основные размеры труб и водопропускных сооружений из гофрированных металлоконструкций (гофрированных элементов, секций, крепежа) приведены в приложениях 1 и 2.

1.1.9. Внутренняя и наружная поверхности труб и водопропускных сооружений из гофрированных металлических структур должны иметь основное защитное антикоррозийное покрытие, а в необходимых случаях и дополнительные защитные антикоррозийные покрытия.

1.1.10. До начала производственных работ строительная организация должна получить от заказчика полную техническую документацию.

Рабочие чертежи сооружения должны содержать:

- физико-механические характеристики грунтов основания и грунтов засыпки (пластичность, максимальную стандартную плотность, оптимальную влажность, общий компрессионный модуль деформации, коррозионную активность воды и грунта), данные о мерзлотно-грунтовых условиях – глубину сезонного оттаивания-промерзания, температурный режим грунтов, в том числе температуру на уровне нулевых годовых амплитуд, данные о физико-механических свойствах грунтов в талом, мерзлом и оттаивающем состояниях (льдистость, теплофизические характеристики, просадочность при оттаивании, пучинистость при промерзании и др.);

- полные физико-механические характеристики армирующих материалов грунтовой обоймы;

- полные физико-механические характеристики металлических гофрированных элементов и крепежа;

- полные геометрические характеристики металлических гофрированных элементов и их раскладку и схемы сборки по сооружению;

- данные по типу и способу нанесения антикоррозийного покрытия;

- указания по технологии сборки водопропускного сооружения, включая устройство основания, фундаментов и формирование грунтовой (армогрунтовой) обоймы.

1.1.11. Характеристики грунтов для засыпки труб и оснований должны быть получены по данным изысканий и лабораторных анализов образцов грунта из выработок по дну лога (если предполагается верхний слой грунта использовать в качестве основания), а также карьеров грунта для засыпки труб. При этом следует руководствоваться указаниями СНиП 11-02-96 главы «Инженерные изыскания для строительства».

1.1.12. Изготовленные на заводе или приобретаемые по импорту элементы гофрированных водопропускных сооружений, включая болты, гайки, шайбы, должны иметь сертификаты качества с паспортами. В период постройки гофрированных водопропускных сооружений следует составлять акты приемки отдельных видов работ и в целом сооружения.

1.2. Номенклатура металлических труб

1.2.1. Конструкция трубы должна состоять из отдельных элементов – гофрированных листов, изогнутых по заданной кривизне и образующих между собой при соединении продольные (вдоль оси трубы) и поперечные (кольцевые стыки). Форма поперечного сечения труб может быть как круглой, так и эллиптической.

1.2.2. Металлическую гофрированную конструкцию составляют из структур – гофрированных листов, изогнутых по форме ее поперечного сечения. Элементы имеют гофры высотой 50 мм с гребнями через 150 мм. Размеры листов по окружности – 2000 мм, а вдоль конструкции – 900 мм. Толщина листов до 7 мм. Собственный вес стальной конструкции при толщине листа 7 мм (на 1 м^2) – 23,6 кН/м^2. Торцы труб в сооружении срезают или вертикально, или параллельно откосу насыпи, т.е. практикуют устройство безоголовочной трубы. Сведения о физических характеристиках и профилях гофрированных листов см. в приложении 1. Размеры металлических листов могут иметь ширину 1220, 1465, 2195 мм или длину от 3152 до 3762 мм.

1.2.3. Соединение элементов в продольном и поперечном направлении осуществляют внахлестку на высокопрочных болтах диаметром 20 мм. Причем установку болтов осуществляют изнутри свода трубы, а закрепление гайками – снаружи. В лотковой части трубы крепление выполняют в обратной последовательности. В продольных стыках принято двухрядное расположение болтов, причем в шахматном порядке (13 болтов в пределах звена). В поперечных стыках расположение болтов однорядное с шагом по окружности 232,5 мм. Гофрированные элементы, болты, гайки изготавливают из стали марки S233JRG2 с пределом прочности 340–470 Н/мм^2. Химический состав: углерод (С) – 0,08 %, кремний (Si) – 0,2%, марганец (Mn) – 0,31%, медь(Cu) – 0,008%. Сведения о крепежных изделиях см. в приложении 2.

Предел текучести стали – 2350 кгс/см^2 (по финскому стандарту EN 10025, что соответствует марке стали Ст 3пс, СП по ГОСТ 380-88 и пределу текучести Rs = 2400 кгс/см^2).

Защита от коррозии выполняется в заводских условиях покрытием горячей оцинковкой толщиной 85 мкм.

1.2.4. В условиях вечной мерзлоты и наледеобразования рекомендуются к применению листовые волнистые профили из стали марки 09Г2Д (по СНиП 2.05.03084*, стр.77) по ГОСТ 17066-94 и ГОСТ 19281-89. Сталь импортных поставок должна быть аналогичного качества по химическому составу и физико-механическим характеристикам.

1.2.5. Болты крепления следует применять из сталей 25Х и 38ХА по ГОСТ 4543-71*, допускается применять болты из сталей марок 20,30,35 по ГОСТ 1050-88*. По согласованию с заказчиком допускается применение (наряду с импортными) отечественных креплений для импортных поставок гофрированных структур. Минимальную толщину листа (с гофром) рекомендуется принимать 2,75 мм. Отверстия под болты поперечных стыков должны быть овальной формы, вытянутой вдоль длинной кромки листа. Для гофрированных труб импортной поставки крепежные элементы должны быть сертифицированы, а схема расположения отверстий под болты должна быть также указана в сертификате.

1.2.6. Основным средством защиты элементов труб от коррозии является цинковое покрытие с толщиной слоя не менее 80 мкм, наносимое на внутреннюю и наружную поверхности элементов. Применение металлических труб в сильноагрессивных средах не разрешается. В районах вечной мерзлоты необходимы дополнительные защитные покрытия на основе полиуретановых материалов.

1.3. Требования к конструктивным решениям водопропускных сооружений на основе металлических гофрированных структур

1.3.1. Металлическая гофрированная структура (труба круглого или квадратного сечения) должна быть запроектирована таким образом, чтобы была обеспечена ее совместная работа с грунтом насыпи.

1.3.2. Конструктивные решения водопропускных сооружений должны обеспечивать:

- эксплуатационную надежность сооружения при наименьших затратах на его содержание в течение всего срока службы;

- сборку трубы на строительной площадке при наименьших затратах труда;

- возможность перевозки элементов труб различными видами транспорта.

2. ОСОБЕННОСТИ ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЙ И ПРОЦЕССОВ, ТРЕБУЮЩИХ УЧЕТА ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ВОДОПРОПУСКНЫХ СООРУЖЕНИЙ В ЗОНЕ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ И НАЛЕДЕОБРАЗОВАНИЯ

2.1. Особенности стока в I дорожно-климатической зоне

Определение расчетных значений стока рек и малых водотоков производится с целью дальнейшего назначения количества и диаметра труб водопропуска. В северной дорожно-климатической зоне при этом необходимо иметь в виду гидрологические и мерзлотные особенности водотоков, наличие сквозных и несквозных подрусловых таликов, подрусловых водоупоров, распространение наледей и др. Сток в этой зоне значительно больше, т.к. близко к поверхности залегают многолетнемерзлые породы (ММП), не дающие возможности влаге проникать вниз под действием гравитационных сил; вода накапливается над слоем ММП и затем изливается на поверхность земли, значительно увеличивая как объем стока с бассейнов, так и опасность появления наледных явлений. Назначение расчетных величин стока следует производить согласно методикам, изложенным в следующих публикациях:

- Инструкция по расчету стока с малых бассейнов. ВСН 63-76. Минтрансстрой СССР и МПС СССР. М., 1976, 104 с.;

- Водопропускные трубы под насыпями. Под ред. О.А. Янковского. М., Транспорт, 1982, с.232;

- Руководство по расчету ливневого стока воды с малых бассейнов. ВНИИтрансп.стр-ва. М., 1978, с.44.

2.2. Особенности термомеханического взаимодействия водопропускных труб и грунтов насыпи

2.2.1. Конструирование и расчет конструктивных параметров пропусков (прежде всего водопропусков) в насыпях следует производить на основе расчета напряженно-деформированного состояния пропускных труб, что позволяет подойти к назначению толщины стенки труб и выбору конструкции фундаментов трубы . Не менее важна и связанная с этой проблемой задача расчета напряженно-деформированного состояния грунтов, взаимодействующих с пропускными трубами, т.к. в окрестностях пропусков часты разрушения насыпей.

2.2.2.В районах вечной мерзлоты и наледных процессов основными причинами возникновения недопустимых деформаций водопропускных труб и разрушения насыпей являются:

- забитость труб наледным льдом на наледных участках и, как следствие, недопустимое повышение уровня воды в паводок, приводящее к разрушению насыпи над трубами вследствие фильтрации паводковой воды через тело насыпи в ее верхней, наиболее водопроницаемой, части;
- возникновение наледей на участках водотока, где их не было до строительства насыпи, в связи с изменившимися после строительства гидрологическими условиями (когда насыпь начинает работать как плотина, особенно, после того как в ней сформируется мерзлое ядро) и развитием паводковых фильтрационно-эрозионных процессов (см. выше);
- замерзание и дальнейшее сильное понижение температуры грунта вокруг трубы зимой, приводящее к температурному растрескиванию грунта насыпи, образованию над трубой вертикальной сквозной трещины поперек дороги и тела насыпи и дальнейшему размыву по этой трещине паводковыми водами;
- замерзание и пучение грунта вокруг трубы в осенне-зимний период в связи с ее избыточным охлаждением и возникновение давления пучения как в связи с криогенной миграцией поровой влаги, так и в связи с возможностью

образования при определенных условиях замкнутых, временно еще незамерзших, объемов грунта внутри насыпи;
- давление оттаявшего грунта насыпи на трубу в связи с избыточным отеплением изнутри трубы летом;
- пучение фундамента трубы зимой;
- осадка оттаивания грунтов под фундаментом трубы летом;
- вдольтрассовая эрозия насыпи паводковыми водами за счет появления повышенных скоростей течения в связи с перегораживанием водотока насыпью;
- волновое воздействие паводковых вод, если залитое ими пространство оказывается достаточно большим, что характерно для равнинных участков рек.

Основой прогнозирования перечисленных выше явлений является прогноз температурных полей в окрестности водопропусков, расчет оттаявших-промерзающих зон внутри насыпи, что предшествует расчетам напряженно-деформированного поля в окружающих грунтах насыпи и основания.

2.3. Особенности расчета фундаментов труб в зоне вечной мерзлоты

2.3.1. Сооружение фундаментов труб в I дорожно-климатической зоне при наличии в основании многолетнемерзлых грунтов может производиться по двум принципам – с сохранением грунтового основания в мерзлом состоянии (принцип I) и с его оттаиванием (принцип II).

2.3.2. Подготовительная работа при возведении фундаментов труб на мерзлом основании (принцип I) производится в зимнее время и при условии максимального сохранения естественных условий (растительного и мохового покровов). В этом случае многолетнемерзлые грунты обеспечат устойчивость сооружения и его надежную работу в процессе эксплуатации. Сохранность многолетнемерзлых грунтов в основании труб обеспечивается специальными конструктивными решениями и прогнозными теплотехническими расчетами.

2.3.3. При проектировании труб по II принципу и при наличии в основании оттаявших слабо- и среднесжимаемых супесчаных грунтов (табл.1) возможно возведение фундаментов при условии, что суммарная величина осадки может быть компенсирована строительным подъемом (см. приложение 6).

При наличии в основании труб оттаявших сильносжимаемых и просадочных супесчано- глинистых грунтов целесообразно производить их замену дренирующим грунтом. Рекомендуется устройство подушки армированной объемной георешеткой.

Основные строительные работы при возведении фундаментов труб по II принципу необходимо производить в летнее время.

2.3.4. Проектирование и строительство труб на мерзлых скальных и полускальных породах производится по общепринятым методическим документам для несжимаемых пород с положительной температурой. Строительный подъем в этих случаях не предусматривается. Исключение составляют сейсмические районы, а также горные области, где возможно развитие различных склоновых процессов – курумов, осыпей, обвалов, солифлюкции, гольцового льда, селей и т.д. В этих областях проектирование водопропускных труб следует производить по индивидуальным проектам.

2.4. Наледеобразование и его прогнозирование

2.4.1. Наледь – это продукт постоянного намораживания воды, излившейся на поверхность льда или грунта. Схема классификации наледей приведена на рис.1.

2.4.2. Изыскателям, проектировщикам и строителям автомобильных дорог чаще всего приходится сталкиваться с ключевыми, грунтовыми и речными наледями.

2.4.3. Ключевые наледи образуются за счет разгрузки на поверхность земли вод глубоких горизонтов по тектоническим разломам или водовыводящим сквозным таликам.

2.4.4. Грунтовые наледи образуются за счет питания водами первых от поверхности водоносных горизонтов. Обязательным условием образования грунтовых наледей является наличие водоупора в виде коренных пород или многолетнемерзлых грунтов.

2.4.5. Речные наледи образуются за счет выхода речных вод на поверхность ледяного покрова. Основными причинами выхода речных вод на поверхность льда являются: заторы, закупорка русла донным льдом или грунтом; промерзание русла реки; колебания расходов рек в зимний период, приливы и отливы; землетрясения и т.д.

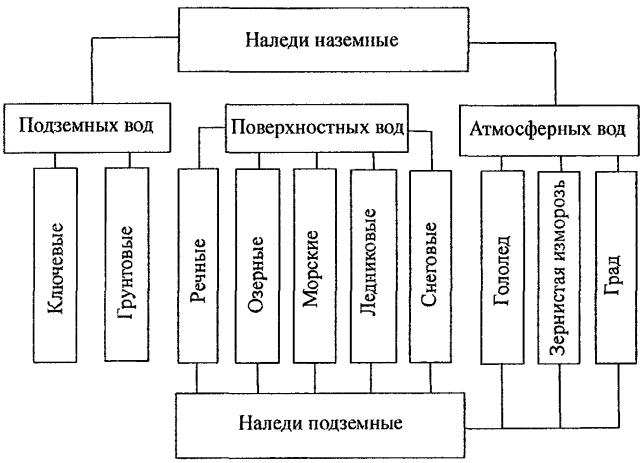


Рис. 1. Схема классификации наледей (по Алексееву, Савко, 1975)

2.4.6. При сооружении металлических труб большого диаметра в местах перехода автомобильной дороги через водотоки в наледных районах необходимо решить следующие задачи:

- наметить комплекс необходимых гидрологических и инженерно-геологических изысканий на наледных участках. По результатам изысканий выполнить прогноз наиболее вероятного появления наледи и определить ее генезис;
- определить основные количественные характеристики наледей (в зависимости от их генезиса) для расчета отверстий труб и назначения высоты земляного полотна;

- наметить мероприятия по регулированию наледного процесса с целью его ослабления или полной ликвидации. Провести расчеты противоналедных устройств и сооружений и выполнить их проектирование.

2.4.7. Сложным и ответственным моментом при проектировании и строительстве водопропускных труб является прогноз мест наиболее вероятного появления наледей.

Возникновение наледей следует ожидать:

- при сооружении выемок, карьеров, водоотводных канав, вскрывающих водоносные горизонты;
- в местах сооружения массивных фундаментов, стесняющих водоносные горизонты, а также при возведении насыпей из глинистых грунтов, являющихся преградой фильтрующим водотокам;
- на участках водотоков с перекатами, порогами, островами, завалами и др. преградами, а также на устьевых участках рек и их притоков;
- на участках сооружения автомобильных дорог в профилях косогоров, при неглубоком залегании грунтовых вод;
- на участках с нарушенными естественными условиями (удалены растительный и снежный покровы).

2.7.8. Прогнозировать наледи и их генезис при выборе мест прохода автомобильных дорог через водотоки в наледных районах необходимо руководствуясь литературными источниками (Таргулян, 1961; Алексеев, Савко,1975; Савко, 1973; Бахарев, 1966 и др.), а также методическими документами (Методические рекомендации по прогнозу наледей при выборе мест перехода через водотоки, М., Союздорнии, 1973; Рекомендации по изысканиям, проектированию и строительству малых искусственных сооружений на водотоках с процессами наледеобразования, ВНИИ транспорт. стр-ва, М., 1968 и др.).

3. ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТОВ ВОДОПРОПУСКНЫХ ТРУБ В ЗОНЕ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ И НАЛЕДЕОБРАЗОВАНИЯ

3.1. Нагрузки и воздействия

При расчетах проектировании комплекса «труба-насыпь» в окрестности водопропуска следует иметь в виду следующие нагрузки и воздействия, подлежащие расчетным оценкам в пределах срока эксплуатации:

- максимальную расчетную величину интенсивности водного стока, подлежащего пропуску через водопропускные сооружения;
- возможность образования наледи и её максимальную прогнозную толщину и режим роста или таяния;
- максимальную прогнозную оценку уровня воды с учетом мощности наледи;
- прогнозные внутригодовые колебания температуры воздуха и толщины снежного покрова в естественных условиях и на откосах насыпи;
- наличие и состояние вечной мерзлоты, включая льдистость и температуру грунтов до глубины 20 м;
- показатели криогенных свойств грунтов насыпи и основания (пучинистость, осадки оттаивания, температурное расширение и др.).

3.2. Особенности гидравлических расчетов

3.2.1.Согласно настоящим Методическим рекомендациям рассчитываются металлические гофрированные трубы с наиболее распространенным в отечественной практике типом гофра 130 х 32 мм и 152,4х50,8. С некоторым приближением могут выполняться также расчеты труб с другим типом гофров.

3.2.2. Гофрированные трубы отличаются от «гладких» в гидравлическом отношении существенно большими критическими уклонами, величина которых при безнапорном режиме достигает 0,02-0,03. Для обеспечения максимальной водопропускной

способности уклоны гофрированных труб должны быть не меньше указанных значений и в крайнем случае не меньше 0,01.

В каждом конкретном случае предварительно устанавливается критический уклон сооружения $i_к$. Учитывая критический уклон сооружения и уклон местности, назначают уклон трубы $i_т$ с соблюдением условия

$$i_т \geq i_к.$$

В случае несоблюдения этого условия пропускная способность трубы понижается, причем при $i_т \geq 0{,}01$ этим можно пренебречь, при $i_т < 0{,}01$ реальная пропускная способность сооружения должна устанавливаться в соответствии с «Руководством по гидравлическим расчетам малых искусственных сооружений», «Пособием по гидравлическим расчетам малых водопропускных сооружений», а с некоторым приближением – «Методическими рекомендациями по гидравлическому расчету «косогорных труб».

3.2.3. Пропускная способность водопропускных труб зависит от характера сопряжения их с подходными устройствами, режима протекания воды и от условий сопряжения выходного оголовка с нижним бьефом. Пропускная способность металлических гофрированных труб определяется исходя из условий входа равнинного типа, при которой перед сооружением образуется емкость, характеризующаяся подпертой глубиной. При этом поток поступает в трубу в спокойном состоянии.

Для труб, имеющих на входе быстротоки, проверяют возможность входа потока в трубу в бурном состоянии. Порядок расчета приводится в «Методических указаниях по гидравлическим расчетам косогорных труб», «Руководстве по гидравлическим расчетам малых искусственных сооружений» и книге «Косогорные водопропускные трубы».

Если в результате расчета окажется, что имеет место вход равнинного типа, то гидравлические расчеты производят согласно «Пособию по гидравлическим расчетам малых водопропускных сооружений», как для равнинных труб.

В противном случае трубы по условиям входа являются косогорными и их гидравлические расчеты производят в соответствии с требованиями «Руководства по гидравлическим расчетам малых искусственных сооружений» и «Пособия по гидравлическим расчетам малых водопропускных сооружений».

3.2.4. Необходимо выполнение гидравлических расчетов в двух вариантах: при наличии в трубе гладкого лотка и при его отсутствии для гофрированных труб без оголовков со срезом перпендикулярно оси трубы, с оголовком, срезанным параллельно откосу, и раструбным – с углом раструбности $\theta = 20^{\circ}$. Расчеты следует производить в соответствии с рекомендациями приложений 3 и 4.

3.3. Особенности прочностных расчетов комплекса «труба – насыпь» на температурные напряжения

3.3.1. В связи с избыточным охлаждением грунтов насыпи в окрестности водопропускной трубы, вызванным циркуляцией в ней холодного зимнего воздуха, следует проверять расчетом возможность их температурного растрескивания в мёрзлом состоянии. Основой такого расчета является прогноз температурного поля и поля температурных напряжений с помощью математического моделирования (приложение 5). Приближенная методика такого рода расчетов содержится в работе Гречищева, Чистотинова, Шура «Криогенные физико-геологические процессы и их прогноз» (Изд. «Наука», 1980 г.).

3.3.2. В случае подтверждения расчетом возможности температурного растрескивания грунтов насыпи над верхней образующей водопропускной трубы следует применить теплоизолирующий слой над трубой, толщину которого следует подобрать путем математического моделирования так, чтобы уменьшить температурные напряжения над трубой до допустимой величины.

3.4. Особенности расчетов фундаментов труб

3.4.1. Фундаменты водопропускных труб в зоне вечной мерзлоты и наледеобразования следует проектировать, соблюдая нормы и требования СНиП 2.02.04-88 «Основания и фундаменты на вечномёрзлых грунтах», Госстрой СССР, М., 1990 и СНиП 2.02.01-83 «Основания зданий и сооружений», Госстрой, М., 2001 г.

3.4.2. Следует выполнять расчёты по прогнозу температурного режима в зоне термомеханического влияния трубы при расчете осадки и пучения её фундамента.

3.4.3. Следует выполнять расчет осадок труб и назначение строительного подъёма (приложение 6), расчёт осадок труб на оттаивающих грунтах (приложение 7), расчёт поперечных деформаций трубы на стадии отсыпки и уплотнения боковых призм грунта (приложение 8).

3.5. Особенности расчетов водопропускной способности труб и противоналедных устройств в условиях наледеобразования

3.5.1. После того как выполнен прогноз наледеобразования при выборе места перехода автомобильной дороги через водотоки и определен генезис образующейся наледи (п.2.4.8), необходимо выполнить прогнозирование параметров наледи (объём, площадь, высота перед трубой и др.). Методы прогнозных расчетов параметров наледей различного генезиса изложены в работах Савко, 1973; Алексеева, Савко, 1975. Рассчитав по этим методикам параметры прогнозируемой наледи, с учетом гидрологических, геоморфологических и инженерно-геокриологических материалов, на основе гидрологических и гидравлических расчетов возможно определение оптимального диаметра водопропускных труб (п.3.2).

3.5.2. В случае невозможности по тем или иным техническим причинам осуществить водопропуск вод через трубу в наледных условиях (малая высота насыпи, сложные мерзлотные условия и т.д.) одним из вариантов уменьшения наледи или её полной

ликвидации может быть проектирование совместно с противоналедными сооружениями. Методы расчета устройств для безналедного пропуска водотоков, мерзлотных и наледных поясов приведены в работах Алексеева, Савко, 1975; Савко, 1973 и др., а также ряде Методических документов («Методические указания по проектированию противоналедных мероприятий и устройств», М., ЦНИИС, 1970; «Технический проект противоналедных мероприятий на периодических водотоках», Л., Ленгипротрансмост, 1970; «Методические рекомендации по проектированию и возведению противоналедных устройств на автомобильных дорогах Сибири», М., Союздорнии, 1971 и др).

4. КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЕ НАДЕЖНОСТЬ РАБОТЫ ТРУБЫ В УСЛОВИЯХ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ И НАЛЕДЕОБРАЗОВАНИЯ

4.1. Требования к грунтам засыпки

4.1.1. Для устройства грунтовой обоймы следует применять пески средней крупности, крупные, гравелистые, щебнисто-галечниковые и дресвяно-гравийные грунты, не содержащие обломков размером более 50 мм.

Грунты не должны содержать более 10% частиц размером менее 0,1 мм, в том числе больше 2 % глинистых размером менее 0,005 мм.

4.1.2. Устройство грунтовой обоймы вокруг труб допускается с применением мелких песков, не содержащих более 10% частиц размером меньше 0,1 мм, в том числе более 2% глинистых размером меньше 0,005 мм. Отсыпка грунтовой обоймы с использованием глинистых грунтов, пригодных для возведения насыпей (до 8 м), допускается в районах, где исключается возможность процессов пучинообразования.

В качестве заполнителя армогрунтовых мембран из объемных георешеток в грунтовых обоймах допускается использование полускальных и скальных пород.

4.1.3. Грунт засыпки следует отсыпать шириной не менее 4 м с каждой стороны трубы и высотой не менее 0,5 м над верхом конструкции.

Предусматривается тщательное уплотнение. Коэффициент уплотнения не ниже 0,95.

4.1.4. Водопропускные трубы на вечномерзлых и пучинистых грунтах следует проектировать, соблюдая нормы и требования действующих нормативных документов: СНиП 2.02.01-83*, СНиП 2.05.02–85, ВСН 84–89 с учетом свойств грунтов слоя сезонного промерзания (оттаивания) и вечномерзлых грунтов при оттаивании.

4.1.5. Трубы следует проектировать с учетом степени относительного сжатия вечномерзлого грунта основания при оттаивании (табл.3) и характеристик грунтов слоя сезонного промерзания (оттаивания).

4.1.6. Рекомендуется выполнять расчеты по прогнозу температурного режима в зоне теплового влияния трубы. Результаты расчетов используются при проектировании оснований труб и фундаментов оголовков (при расчете осадок и назначении строительного подъема).

4.1.7. На вечномерзлых грунтах трубы разрешается применять, как правило, при грунтах I и, в отдельных случаях, при низкотемпературных грунтах II категории просадочности при условии, что суммарная величина осадки грунтов основания в оттаявшем состоянии может быть компенсирована величиной строительного подъема.

4.1.8. При грунтах высокотемпературных II категории просадочности и высоко- и низкотемпературных грунтах III, IV и V категорий просадочности следует разрабатывать индивидуальные проекты труб с учетом величины расчетной осадки и обоснованием принятых решений технико-экономическими расчетами. Грунты, имеющие температуру на глубине нулевых амплитуд (глубина, на которой температура вечномерзлых грунтов в течение года остается постоянной) ниже температуры замерзания менее чем на 1°С, относятся к высокотемпературным, более, чем на 1°С – к низкотемпературным.

Таблица 1

Категория просадочности	Тип основания, относительная осадка грунта δ	Виды грунтов основания
I	Слабосжимаемое (прочное) $0 < \delta < 0,01$	Основания, сложенные скальными породами, крупнообломочными и песчаными грунтами, а также глинистыми грунтами твердой и полутвердой консистенции после оттаивания
II	Среднесжимаемое $0,01<\delta<0,1$	Основания, сложенные глинистыми грунтами тугопластичной и мягкопластичной консистенции, а также песчаными или крупнообломочными грунтами при наличии включений прослоев или линз льда
III	Сильносжимаемое (слабое) $0,1<\delta<0,4$	Основания, сложенные глинистыми грунтами текучепластичной и текучей консистенции, а также песчаными или крупнообломочными грунтами с включением прослоев или линз льда; мари с мощностью торфа до 1 м
IV	Просадочное $0,4 < \delta < 0,6$	Участки с наличием сильнольдистых пород; мари с мощностью торфа более 1 м
V	Чрезвычайно просадочное $\delta > 0,6$	Участки с крупными включениями подземного льда

4.2. Применение теплоизоляторов

Теплоизолирующие материалы (пенопласт, торф и др.) могут быть рекомендованы к использованию в конструкциях «насыпь – труба» в следующих случаях:

- для предохранения от оттаивания и сохранения грунтов основания в мерзлом состоянии под фундаментом трубы (I принцип строительства на вечной мерзлоте, см. п.2. 3.3).

В основном под фундамент укладывается теплоизолирующий слой. Толщина слоя и место его расположения выбираются согласно теплотехническому расчету;

- для предотвращения образования в осенне-зимнее время сквозных поперечных температурных трещин в теле насыпи над трубой, которые возникают за счет сильного охлаждения грунта вокруг трубы. Рекомендуется над трубой укладывать теплоизоляционный экран. Толщина теплоизолирующего слоя, его ширина и место укладки в насыпь выбираются на основании теплотехнического расчета.

4.3. Применение геосинтетики

4.3.1.На слабых после оттаивания грунтах целесообразно производить замену грунта в том числе с устройством подушки, армированной объемной георешеткой – мембраной в обойме из дорнита. Толщина мембраны принимается по расчету. Если требуется устройство подушки под трубу, толщину подушки под трубой следует принимать равной 0,3D, но не менее 0,7 м. При песчаных грунтах основания (кроме пылеватых) специальная подушка не устраивается.

4.3.2. Грунтовая обойма гофрированных водопропускных сооружений более 3 м, как правило, армируется композитными комбинациями в сочетании с геотекстильными материалами (табл. 1).

Устройство жесткого слоя в обоймах и мембран в основании и над щелыгой свода трубы производят с применением объемных георешеток с характеристиками согласно табл. 2.

4.3.3. В зоне оголовков труб укрепление откосов насыпей выполняется наброской с применением геосеток с засыпкой растительным грунтом и посевом трав, объемных георешеток с засыпкой щебнем, самонесущих блочных систем и других видов покрытия, определенных проектом.

Таблица 2

Технические характеристики рекомендуемого иглопробивного геотекстильного полотна ТУ 63032-1989

Наименование показателей	Единица измерения	Норма по типам		
		1	2	3
Ширина	см	-	250±4	170±4
Разрывная нагрузка	кН/м	-	7-12	6-10
Удлинение при разрыве не более:				
в поперечном направлении	%	-	70	80
в продольном направлении	%	-	130	110
Поверхностная плотность материала	г/м^3	-	600	600

4.3.4. Геометрические размеры армированной грунтовой обоймы рекомендуется назначать по верху обоймы не более 2D, а в уровне горизонтального диаметра 1,0 – 1,5 D в каждую сторону.

Рекомендуется симметрично относительно уровня (в зоне) горизонтального диаметра (вверх и вниз) формировать ярусами до 4 – 5 слоев усиленную обойму на основе георешеток переменной (в сторону уменьшения) длины.

Для многоочковых труб диаметром более 3 м расстояние в свету между звеньями назначается не менее 2 м. Грунтовая обойма между звеньями формируется с устройством распорки и упоров в местах возможной повышенной деформации контура сооружения из гофрированного металла, из объемной георешетки, а мембраны в основании и над щелыгой устраиваются непрерывными.

Таблица 3

Физико-механические параметры решеток «Прудон 494»

№ п/п	Наименование основных показателей	Нормативный документ	Нормативное значение	Фактическое значение	Примечание
1	Разрывная нагрузка полоски 50х100мм; Н по длине по ширине	ГОСТ 15902.3 ТУ 2246-002-07859300-97	 Не менее 1250 Не менее 1250	 1533 1424	Соответствует ТУ 2246-002-07859300-97
2	Удлинение на разрыв по длине по ширине	ГОСТ 15902.3 ТУ 2246-002-07859300-97	 Не более 30 Не более 30	 17 17	Соответствует ТУ 2246-002-07859300-97
3	Жесткость полоски 160х80; кН	ГОСТ 8977-74 ТУ 2246-002-07859300-97	Не менее 40000	100,0	Соответствует ТУ 2246-002-07859300-97
4	Прочность шва на отрыв; % от разрывной нагрузки материала	ТУ 2246-002-07859300-97	Не менее 50	64	Соответствует ТУ 2246-002-07859300-97

4.3.5. Конструкция основания металлических гофрированных труб должна отвечать принципиальным схемам, приведенным на рис. 2.

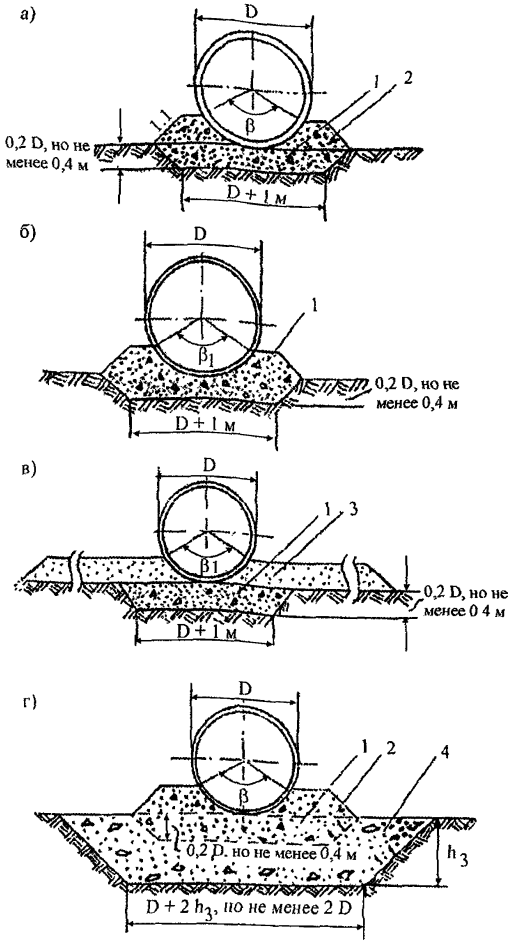


Рис. 2. Конструкция основания под трубами: а – с устройством верхней части подушки после укладки трубы; б – с предварительным устройством ложа; в – с отсыпкой нулевого слоя и устройством ложа; г – с заменой грунта; 1– первый этап отсыпки подушки; 2 – второй этап отсыпки подушки; 3 – нулевой слой; 4 – замена грунта основания скальной отсыпкой; β – 120° при опирании на плоское основание; β_1 – 90° при опирании на грунтовое ложе

Для устройства подушки под трубу следует применять пески средней крупности, крупные, гравелистые, щебенисто-галечниковые и дресвяно-гравийные грунты, не содержащие обломков размером более 50 мм. Перечисленные грунты не должны содержать более 10% частиц размером менее 0,1 мм, в том числе более 2% глинистых размером менее 0,005 мм.

4.3.6. Проектировать трубы следует, как правило, исходя из условия наименьшего нарушения естественного состояния мерзлых грунтов.

Во всех случаях, когда это возможно, металлические гофрированные трубы должны укладываться в тело насыпи без устройства котлованов в мерзлых грунтах.

Следует, как правило, избегать устройства приемных колодцев, глубоких бетонных, железобетонных и других экранов, различных врезок в мерзлые грунты.

Трубы на косогорах при наличии вечномерзлых грунтов следует проектировать по индивидуальному расчету возможной деградации мерзлоты.

4.3.7. При необходимости замены слабого грунта в основании и целесообразности устройства мембраны из объемной георешетки глубина заменяемого грунта определяется расчетом. Замену следует производить дренирующим грунтом. Если крупность частиц дренирующего грунта удовлетворяет требованиям, то труба укладывается непосредственно на грунт замены.

4.3.8. Очертания и объем грунтовой обоймы вокруг труб, расположенных на вечномерзлых и пучинистых грунтах, устраиваются по действующим нормам.

4.3.9. Оголовки труб независимо от размера отверстия, как правило, следует применять бесфундаментных типов с выступающим из тела насыпи торцом трубы, срезанным вертикально или параллельно откосу насыпи. При необходимости увеличения водопропускной способности сооружения рекомендуется использовать трубы большего отверстия или многоочковые трубы.

4.3.10. Противофильтрационные экраны при всех грунтах основания следует применять из глинощебеночной или цементно-грунтовой смеси глубиной, равной толщине подушки.

В качестве дополнительных мероприятий по повышению прочности и устойчивости основания трубы и прилегающих участков насыпи в районах с высокотемпературными вечномерзлыми грунтами рекомендуется устраивать:

- на откосах насыпи каменную наброску толщиной 1– 1,5 м на длине, равной высоте насыпи, но не менее четырех диаметров трубы в каждую сторону от оси трубы (для многоочковых труб – от оси крайнего очка) на высоту не менее 1 м над верхом трубы (либо до верха насыпи);
- теплоизолирующие прослойки из пенопласта под концевыми участками труб;
- комплексное применение каменной наброски.

4.3.11. Внутри трубы (по дуге до 120^0) устраивается бетонный или асфальтобетонный лоток. Это конструктивное решение является дополнением к комплексу защитных мероприятий для предотвращения истирания защитного покрытия и основного металла. Толщина их достигает 5 – 6 см над впадинами гофров или не менее 2 см над гребнями.

4.4. Конструктивные решения устройства водопропускных труб в условиях вечной мерзлоты и наледеобразования

4.4.1. Конструктивное решение для обеспечения надежности работы водопропускных труб на наледных участках назначается в каждом конкретном случае с учетом генезиса наледи, гидрогеологических, инженерно-геокриологических условий наледного участка, рельефа местности и др.

4.4.2. Надежность работы водопропускных сооружений в наледных условиях может быть повышена за счет ряда конструктивных решений. К ним относятся: применение труб с отверстиями, увеличенными в 1,5 –2 раза, многоярусных – со ступенчатым расположением очков; устройство фильтрующих участков насыпи и др.

4.4.3. Регулирование наледного процесса следует осуществлять, воздействуя на процессы промерзания (утепление русл, устройство теплоизоляционных прослоек в основании труб;

сосредоточение потоков в утепленных лотках, закладка обогревающих кабелей и т.д.). Наиболее эффективными способами ослабления процесса наледеобразования или его полной ликвидации являются: осушение местности (дренаж); углубление или спрямление русл водотоков; создание условий наледеобразования на безопасном от водопропускной трубы расстоянии путем устройства мерзлотных и наледных поясов.

4.4.4. Общие требования к конструкциям водопропускных труб в районах с суровыми климатическими условиями согласно книге «Водопропускные трубы под насыпями», а также по действующим нормативным документам, сводятся к следующему: отверстие и высота в свету труб на автомобильных дорогах общей сети должна быть не менее 1,5 м; гидравлические характеристики труб должны обеспечивать безнапорный режим пропуска водотока; аккумуляция воды перед сооружением не допускается. К применению труб в местах возможного наледеобразования предъявляются специальные требования.

4.4.5. Конструирование фундаментов труб в районах с глубоким сезонным промерзанием производится с предотвращением деформаций труб в связи с возможным пучением грунта. Для этой цели принимают меры, исключающие нормальные силы пучения по подошве фундамента (путем ее заложения ниже расчетной глубины промерзания) и уменьшение воздействия касательных сил по боковым граням.

Для труб расчетную глубину $H_м^н$ сезонного промерзания по данным наблюдениям за период не менее 10 лет за фактическим промерзанием грунтов под открытой, оголенной от снега поверхностью горизонтальной площадки при уровне грунтовых вод, расположенном ниже глубины сезонного промерзания, и при отсутствии этих данных определяют на основе теплотехнических расчетов. Глубину заложения фундаментов труб назначают не менее чем на 0,25 м ниже расчетной глубины промерзания грунтов, а при скальных, крупнообломочных гравийных и крупнопесчаных грунтах основания – не зависимо от глубины промерзания грунтов.

4.4.6. В качестве основания для водопропускных труб вечномерзлые грунты используются по двум принципам: I – с

обеспечением мерзлого состояния в течение всего периода эксплуатации; II – в оттаивающем или оттаявшем, т. е. без сохранения вечной мерзлоты. При этом для каждой конкретной трубы должен применятся только один из этих принципов. В пучинистых грунтах расчет фундаментов следует производить согласно указаниям СНиП 2.02.04-88. Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах. В непучинистых грунтах, если их нижняя граница залегает не менее чем на 1 м ниже расчетной глубины промерзания и в зоне промерзания отсутствуют напорные грунтовые воды, подошву фундамента допускается закладывать в пределах слоя сезонного промерзания-оттаивания.

Повышение устойчивости против воздействия касательных сил пучения грунта достигается устройством фундаментов (оголовков и концевых секций труб) с анкерными выступами или с наклонными гранями, а также применением для засыпки фундаментов дренирующего грунта.

4.4.7. Конструкцию трубы и форму поперечного сечения выбирают в зависимости от типа водотока, вероятности наледеобразования, инженерно-геологических условий, степени агрессивности воды и грунта, рельефа местности и других факторов. Следует применять металлические гофрированные трубы. При наличии в основании пучинистых грунтов несколько увеличивают толщину грунтовой подушки под трубой. Ее следует принимать такой, чтобы величина пучения не превышала допустимого значения.

4.4.8. Применение гофрированных труб на вечномерзлых грунтах регламентировано. Их разрешается применять только при первой (относительная осадка $\delta < 0,01$) и в отдельных случаях второй ($0,01 \leq \delta \leq 0,1$) категории просадочности, когда суммарная величина осадки грунтов основания в оттаявшем состоянии может быть компенсирована строительным подъемом. При сильносжимаемых ($0,1 \leq \delta \leq 0,4$) и просадочных ($\delta > 0,4$) грунтах рекомендуется разрабатывать индивидуальные проекты труб. Сооружать трубы следует с наименьшим нарушением естественного состояния мерзлых грунтов, избегая, как правило,

устройства приемных колодцев, глубоких бетонных, железобетонных и других экранов, различных врезок в мерзлые грунты.

4.4.9. Активизация наледных процессов в связи с постройкой водопропускных труб вызывается нарушениями водно-теплового режима поверхностных и грунтовых вод.

Для поверхностных вод к таким нарушениям относят удаление торфяно-мохового и растительного покрова в полосе отвода, уширение русл и их укрепление каменной отмосткой или бетоном и др. Их следствием является резкое увеличение теплопотерь водотоком и в связи с этим более быстрое, чем в бытовых условиях, перемерзание непосредственно у сооружения.

Для подрусловых потоков нарушения условий, способствующих образованию наледей, вызываются: экранирующим действием массивных фундаментов труб и увеличением промерзания грунтов вблизи фундаментов; увеличением промерзания грунтов при наличии каменного или бетонного мощения; уплотнением грунтов основания под действием веса насыпи. Следствием этих факторов является стеснение подруслового потока, возникновение напора подземных вод и их прорыв (по наиболее слабому месту) на поверхность с последующим промерзанием. Такое место может оказаться, например, у входного оголовка трубы при значительных отложениях снега, где глубина промерзания обычно меньше, чем в бытовых условиях.

В районах вечной мерзлоты водоупором во многих случаях служит поверхность мерзлого грунта. Ее сравнительно близкое залегание повышает вероятность проявления здесь наледей.

4.4.10. Для уменьшения объемов работ по текущему содержанию и повышения надежности сооружений следует применять технические решения, в числе которых конструктивное приспособление труб к пропуску воды при частичном затоплении отверстия льдом. К таким решениям относится применение труб: бетонных прямоугольных с отверстиями, увеличенными против расчетных; многоярусных; многоочковых со ступенчатым

расположением очков; в комплексе с фильтрующими участками насыпей.

4.4.11. При наледях, высота которых невелика (порядка 1 м), предложены Р.Е. Подвальным и построены в опытном порядке многоочковые трубы со ступенчатым расположением очков. В таких трубах часть очков (обычно одно) располагается в уровне меженных вод, а остальные — подняты на некоторую высоту, назначаемую в зависимости от уровней прогнозируемой наледи и меженных вод. При образовании наледи верхние очки остаются свободными, обеспечивая пропуск паводковых вод. Наиболее благоприятными условиями для постройки таких труб являются распластанные лога, где обычно даже средние наледи имеют высоту менее 1 м. Бесфундаментные конструкции труб в этих сооружениях не нарушают естественного состояния грунтов основания и режима подземных потоков, что особенно важно при строительстве на вечномерзлых грунтах.

4.4.12. При трубах с частичным затоплением отверстий наледным льдом необходимо учитывать влияние наледи на элементы трубы, а также на земляное полотно. При отложении наледи в непосредственной близости от земляного полотна рекомендуется отсыпать его из дренирующего грунта, а насыпи из дренирующего грунта проектировать с бермами с нагорной стороны или предусматривать специальное укрепление этих откосов.

4.4.13. В качестве противоналедного мероприятия следует применять предотвращение воздействия наледей на искусственные сооружения и земляное полотно, в том числе: перенос трассы дороги на участки, где вероятность появления наледей существенно понижается; осушение территории устройством вертикальных или горизонтальных дренажей, каптажа и исключение тем самым условий наледеобразования; осуществление мероприятий по безналедному пропуску водотока в морозный период; удержание наледей вдали от сооружений (мостов, труб, дорог).

4.4.14. Основным мероприятием в конструктивном обеспечении безнапорного режима протекания является концентрация водотока на подходах и в пределах трубы с целью создания ему оптимального теплового режима. В пределах

сооружения устраивают лоток. Вне сооружения рекомендуется спрямлять русло водотока и углублять его, а также устраивать железобетонные лотки открытого или закрытого типа. Уклон канав и лотков во избежание их заиливания обычно применяют не менее 0,01. Закрытые лотки устраивают укрепленными, применяя для укрепления дерево, мох или торф, а также вспененные пластмассы – пенопласты различной модификации. Вопрос о необходимой степени концентрации водотока, а следовательно, о размерах лотка и его утеплении решается на основании расчета в зависимости от климатических условий, характеристики водотока и конструкции водоотвода. При необходимости может быть предусмотрен искусственный подогрев воды.

4.4.15. В качестве постоянных противоналедных сооружений в комплексе с трубами применяются (отдельно или в сочетаниях) специальные валы и заборы, наледные и мерзлотные пояса, водонепроницаемые экраны. Эти сооружения способствуют активизации процесса наледеобразования и удержанию наледи вдали от трубы.

5. ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ И ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТ ПО УСТРОЙСТВУ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ТРУБ В ЗОНЕ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ

5.1. Средства механизации

При устройстве металлических труб должна быть создана специализированная бригада строителей, которая должна быть оснащена необходимыми средствами механизации, машинами и инструментами.

Примерный перечень и количество основных машин, механизмов и инструментов для оснащения организации, строящей металлические гофрированные трубы:

Экскаватор с ковшом емкостью 0,25 м³ 1
Бульдозер 1
Автокран грузоподъемностью 5 т 1
Автомобили-самосвалы ..... По объему работ
Автомобили бортовые ..... То же

Прицепы для транспортировки секций труб .... По объему работ
Грунтоуплотняющая машина для стесненных условий или каток на пневмошинах 1
Передвижная электростанция мощностью 9-12 кВт 1
Компрессор производительностью 0-9 м³/мин 1
Насос для водоотлива 1
Бетономешалка 1
Электротрамбовка 6
Плотномер-влагомер Н.П. Ковалева 2
Гайковерты электрические или пневматические 3
Комплект ручных инструментов для монтажа труб 2
Тяговые троса 3
Передвижная битумная установка 1
Окрасочный агрегат для нанесения грунтовки 1
Площадочный вибратор 2

5.2. Учет общего температурного режима и особенности конструктивных решений при организации работ по устройству металлических труб

5.2.1. Сооружение труб при отрицательной температуре воздуха, а также при положительной температуре воздуха и наличии вечномерзлых грунтов должно производиться в кратчайшие сроки без перерыва в выполнении следующих отдельных основных операций и всех работ в целом:

- рытье котлована;
- отсыпка подушки на полную ее высоту;
- профилирование ложа под трубу;
- установка смонтированной трубы;
- устройство грунтовой обоймы (призмы) до уровня горизонтального диаметра.

5.2.2. Работы по подготовке основания включают:

- вырезку котлована на глубину замены кондиционным грунтом;

- транспортировку и укладку кондиционного грунта и грунта подушки;
- уплотнение грунта естественного основания и подушки под трубу грунтоуплотняющими машинами (виброкатки ДУ-47Б или ДУ-85);
- устройство мембраны и подушки с применением экскаваторов (типа ЭО-3323А, ЭО-4225А или экскаватора планировщика EW-25VI.010);
- нарезку ложа под трубу приспособленным для этой цели автогрейдером ДЗ-122Б-7, оборудованным специальным профильным ножом, или бульдозером Б-170 с аналогичным оборудованием отвала.

5.2.3. Грунт подушки или грунт, укладываемый взамен слабого грунта основания, следует отсыпать в котлован и уплотнять слоями.

При уплотнении грунта пневмомашинными катками, например, ДУ-100 или ДУ-101, толщину слоя следует принимать 0,2 или 0,3 м.

После уплотнения подушки следует отсыпать нулевой слой грунта и уплотнить его, используя те же машины и ту же технологию, что и при устройстве подушки.

Если труба устанавливается непосредственно на подушку, то поверхности подушки придается требуемый строительный подъем.

Правильность строительного подъема контролируется нивелировкой не менее чем в трех точках: по оси трассы и концами трубы.

5.2.4. При устройстве основания, когда в нем необходима вырезка ложа под трубу, ее следует производить автогрейдером марки ДЗ-122Б-7, оборудованным профилированным ножом (по предложению ЦНИИС), или начерно бульдозером с последующей отделкой вручную по шаблону с радиусом криволинейной кромки, равным радиусу трубы по средней линии гофров. Отклонение профиля грунтового ложа от шаблона не должно превышать 2-3 см.

5.2.5. После установки трубы в проектное положение на профилированное ложе следует перед устройством грунтовой обоймы производить подсыпку грунта в зазоры между поверхностью нижней части трубы и грунтовым ложем и его

уплотнение бензиновыми или дизельными трамбовками (например, типа AVS или ADS 70/DS 68 германской фирмы «АММАН») с подштыковкой во впадинах гофров. Трамбовки при уплотнении грунта размещаются на расстоянии 50 мм от гребней гофров, ручные виброкатки или уплотнители следует размещать на расстоянии 300 м от гребней гофров. Приближение катка к трубе должно быть не менее 300 мм.

Нулевой слой грунтовой обоймы непосредственно возле трубы следует доуплотнять виброкатками ДУ-74 или ДУ-85 за один-два прохода машины вдоль стенок трубы. В случае использования для уплотнения грунта обоймы пневмокатков ДУ-100 или ДУ-101 доуплотнение нулевого слоя возле стенок трубы следует производить ручными трамбовками или виброплитами типа АТ-12, AV-900.

Если трубу устанавливают на плоское основание, то подсыпка грунта в нижние четверти трубы с уплотнением трамбовками или виброплитами с подштыковкой производится до охвата трубы грунтом не менее чем на 120°. Последующее уплотнение грунта возле трубы производят так же, как при спрофилированном ложе.

5.2.6. При устройстве основания в зимнее время для замены грунта основания и устройства подушки разрешается применять только талый (сухой, несмерзшийся) грунт и уплотнять его трамбующими машинами по мере отсыпки, не допуская смерзания в рыхлом состоянии.

5.2.7. Котлованы под противофильтрационные экраны следует отрывать параллельно с подготовкой котлована под подушку и после удаления воды заполнять (в зависимости от требований проекта) бетоном, глинощебеночной или цементно-грунтовой смесью с послойным уплотнением виброплитами.

5.2.8. Монтировать трубы с болтовыми стыками внахлестку на строительной площадке следует из секций, предварительно собираемых из отдельных элементов. Водопропускные сооружения арочного типа и трубы больших диаметров монтируют из отдельных элементов на стройплощадке. Рекомендуется в этом случае на полигонах проводить контрольную сборку и укрупнение элементов до габаритов, удобных к перевозке (2-4 листа).

Когда возможна доставка секций труб на объект автотранспортом или тракторами и установка их краном, особенно в районах с расчетной минимальной температурой наружного воздуха ниже минус 40°С, способ монтажа из секций и укрупненных элементов должен быть основным. При этом рекомендуется производить монтаж труб с «колес» сразу в проектное положение.

Длину секций следует назначать исходя из заданных проектных длин водопропускных труб и рекомендуется принимать не более 10 м. В промежуточных секциях число звеньев должно быть нечетным.

5.2.9. Сборку труб следует осуществлять согласно монтажной схеме, определяемой в проекте производства работ. Монтажная схема должна предусматривать: порядок установки гофрированных элементов при сборке и объединении секций, порядок перевозки секций, порядок установки болтов, схему специальных стяжек, оснастки и подмостей для крепления труб во время сборки.

5.2.10. В комплект инструментов для монтажа труб должны входить торцевые ключи, ломики, крюки с кольцами, электрические или пневматические гайковерты, молотки, 10 монтажных болтов длиной 75 мм того же диаметра, что и рабочие болты. Эти болты следует применять для временной стяжки гофрированных листов, и они не должны оставаться в конструкции.

5.2.11. Проект производства работ должен учитывать особенности установки металлоконструкций в проектное положение в зависимости от верхнего очертания подушки под трубу. При основании, спланированном без устройства ложа для труб диаметром до 3-х м, допускаются монтаж трубы рядом с проектной осью и последующая накатка ее в проектное положение. При спрофилированном основании ложа секции трубы следует устанавливать краном и объединять на месте.

5.2.12. Монтаж труб со скошенными краями труб должен начинаться со сборки фундаментной части низового оголовка с последующей укладкой металлических конструкций сооружения (секций, элементов) и завершением устройства оголовков.

5.2.13. Устройство грунтовой обоймы выполняется в едином технологическом процессе с засыпкой трубы до проектной отметки.

Труба должна быть засыпана не позже, чем через трое суток после окончания работ по нанесению дополнительного защитного покрытия.

5.2.14. Устройство грунтовых обойм и засыпку труб следует вести с опережением возведения земляного полотна. Необходимость оставления в насыпях прогалов для строительства труб должна быть обоснована проектом, при этом ширину прогала (в свету) понизу следует назначать из расчета обеспечения расстояния между основанием откоса насыпи и стенкой трубы на уровне горизонтального диаметра не менее 4 м.

5.2.15. Устройство грунтовой обоймы труб следует производить грунтами, перечисленными в пп. 2.5 и 2.6, с армированием геотекстилем и объемными георешетками, предусмотренными проектом.

Процесс устройства неармированной грунтовой обоймы у труб должен включать следующие виды работ:

- транспортировку грунта из карьера или резерва к трубе автосамосвалами или скреперами типа ДЗ-11П;
- разравнивание грунта бульдозером Б-170 слоями заданной толщины;
- послойное уплотнение грунта виброкатками типа ДУ-74, ДУ-85 или пневмокатками типа ДУ-100, ДУ-101, а в непосредственной близости от трубы виброплитами типа АТ-12, AV-900 или трамбовками типа AVS 70, ADS 70/DS 68 с подштыковкой грунта в гофрах трубы;
- контроль плотности засыпки.

Для уплотнения грунта в удалении более 1 м от стенки трубы в уровне ее горизонтального диаметра могут применяться все грунтоуплотняющие средства, использующиеся при уплотнении дорожных насыпей.

5.2.16. Засыпать трубы больших диаметров следует формируя грунтовую обойму армированными слоями (уклон не круче 1:5), толщина которых назначается по расчету и в зависимости от грунтоуплотняющих средств:

- 0,3-0,6 м – при применении виброкатков типа ДУ-74, ДУ-85;

- до 0,3 м – при использовании пневмокатков типа ДУ-100, ДУ-101 и ДУ-47Б.

Особое внимание следует уделять уплотнению грунта стенок трубы и в гофрах виброплитами или трамбовками, которые следует располагать на расстоянии 5 см от гребней гофров.

5.2.17. Отсыпку грунта следует производить с разворотом самосвала перед трубой и подачей его для разгрузки задним ходом вдоль оси насыпи или же с кольцевым движением самосвалов и скреперов с въездом со стороны откосов насыпи. Вторую схему целесообразно применять в случае засыпки труб в прогалах.

Для засыпки труб в прогалах можно использовать бульдозеры типа Б-170, перемещая ими грунт, специально доставленный для этой цели и уложенный с обеих сторон трубы на насыпи.

Отсыпку грунта слоями во всех случаях необходимо начинать от трубы по всей ее длине.

5.2.18. Засыпать трубы необходимо послойно, строго соблюдая последовательность:

- грунт нулевого слоя укладывают одновременно с обеих сторон трубы и разравнивают бульдозером;
- после уплотнения слоя грунта с одной стороны трубы производят отсыпку второго слоя, а с другой стороны – уплотнение грунта;
- в таком же порядке осуществляются отсыпка и уплотнение всех последующих слоев до верха трубы.

Уплотнение каждого слоя грунта, если оно производится при движении машин вдоль трубы, следует начинать с удаленных от нее участков и с каждым последующим проходом приближаться к стенкам трубы. Уплотнение грунта непосредственно у трубы допускается только тогда, когда с противоположной ее стороны уже отсыпан слой грунта этого же горизонта по всей длине трубы.

Последовательность отсыпки слоев, их толщина и допустимое приближение к трубе рабочих органов уплотняющих машин должны быть указаны в проекте производства работ.

5.2.19. Уплотнение грунта катками целесообразно производить вдоль трубы по кольцевой схеме. Приближение катков

к трубе допускается на расстояние не ближе 0,3 м. Грунт у стенок трубы при данной технологии необходимо уплотнять виброплитами или трамбовками.

5.2.20. Уплотнение грунта в пазухах многоочковых труб рекомендуется производить виброплитами типа АТ-12, AV-900 или трамбовками AVS 70, ADS 70/DS 68 с обязательным соблюдением последовательности отсыпки слоев. Толщина слоя в пазухе не должна превышать 0,15 м. Для засыпки пазух грунтом можно использовать универсальные экскаваторы-планировщики типа EW-25M1.010.

5.2.21. В зимних условиях трубы следует засыпать только талыми (сухими несмерзшимися) грунтами. Допустимое время рабочего цикла от момента разработки грунта до окончания его уплотнения не должно превышать времени, в течение которого грунт сохраняет способность к уплотнению.

5.2.22. Проезд над трубами строительных машин с нагрузкой на ось до 10 тс допускается при толщине слоя над верхом конструкции не менее 0,5 м (в плотном теле), с нагрузкой на ось 11-20 тс – при толщине слоя не менее 0,8 м и с нагрузкой на ось 21-50 тс – при толщине слоя не менее 1 м. Если проектом предусмотрена меньшая толщина засыпки, то для пропуска машин через сооружение в месте их проезда требуется досыпать грунт до указанной толщины.

5.2.23. Устройство грунтовых обойм и засыпка труб должны производиться под контролем прораба или строительного мастера подразделения, сооружающего трубы, и оформляться актом. При отсыпке и уплотнении грунта грунтовых обойм следует вести контроль за поперечными деформациями труб, сопоставляя результаты контроля с замерами, произведенными до начала засыпки трубы. К моменту уплотнения слоя грунта на уровне верха уменьшение горизонтального диаметра не должно превышать 3% его номинального диаметра.

5.3. Особенности контроля качества производства работ

5.3.1. Контроль за производством работ должен осуществляться на всех стадиях технологического процесса.

5.3.2. Контроль качества и приемка работ должны обеспечивать:

- высокое качество выполняемых работ и полное соответствие их утвержденному проекту и действующим нормативным документам;
- соответствие качества материалов и конструкций требованиям утвержденного проекта и государственных стандартов;
- своевременное осуществление промежуточной приемки выполненных работ и правильное оформление соответствующей производственно-технической документации.

До приемки скрытых работ и ответственных конструкций запрещается проводить последующие работы (например, установку трубы на непринятую грунтовую подушку или засыпку трубы с непринятым дополнительным защитным покрытием).

5.3.3. Контроль плотности грунта естественного основания, а также контроль плотности грунтовой подушки, укладываемой взамен слабого грунта основания, осуществляется по оси трассы через каждые 0,5 м высоты подушки. Количество проб должно быть не менее двух в каждой точке.

Плотность песчаных грунтов контролируется прибором Ковалева, а щебенисто-галечниковых и дресвяно-гравийных – методом лунок. По окончании подготовки основания трубы составляют акт по стандартной форме на скрытые работы.

Результаты контроля заносятся в акт на скрытые работы.

5.3.4. Перед началом работ по монтажу следует проверить наличие маркировки, отбраковать элементы, выправить погнутые места деревянным молотком и обеспечить комплектность элементов и крепежа.

При отбраковке элементов и крепежа следует проверять качество защитного покрытия, маркировку элементов, геометрические размеры элементов и крепежа.

На каждом гофрированном листе на внутренней его поверхности у второго ряда отверстий для продольного стыка на первом выпуклом гофре должны быть указаны марки стали,

элемента и клеймо ОТК завода и инспектора по качеству. Марка элемента условно обозначает диаметр трубы и толщину листа. На каждом пакете гофрированных элементов должна быть бирка с указанием марки элемента, марки стали, толщины элемента, диаметра трубы, завода-изготовителя и год выпуска.

Поверхность цинкового защитного покрытия труб не должна иметь видимых трещин, забоин, наплывов на стыкуемых поверхностях и мест, не покрытых цинком. Использование элементов с указанными дефектами не допускается. Дефекты защитного покрытия устраняются заводом-изготовителем.

Качество дополнительного защитного полимерного покрытия, которое наносится в заводских условиях, должно отвечать требованиям проекта.

5.3.5. Перед началом монтажа трубы должны быть выполнены контрольная сборка и все подготовительные работы.

Если на месте строительства трубы рядом с подготовленным основанием отсутствует ровная площадка, то для сборки трубы следует подготавливать подмости, располагая их вблизи проектной оси трубы. В ходе монтажа и после его завершения осуществляется геодезический контроль.

5.3.6. Приемка смонтированной трубы перед устройством грунтовой обоймы должна быть оформлена актом.

5.3.7. При выполнении работ по защите от коррозии металлоконструкций должны контролироваться:

- температура окружающего воздуха;
- относительная влажность воздуха;
- обезжиренность и чистота сжатого воздуха, применяемого в процессе производства работ;
- степень очистки поверхности перед нанесением лакокрасочных материалов;
- гарантийный срок их пригодности;
- время технологической выдержки наносимых слоев защитного покрытия и время выдержки полного покрытия.

Контроль высыхания лакокрасочных покрытий следует осуществлять по ГОСТ 19007-73*.

5.3.8. Контроль качества лакокрасочного покрытия должен производиться по внешнему виду, толщине и адгезии.

5.3.9. Контроль внешнего вида покрытия осуществляется согласно ГОСТ 9.407-84* «Покрытия лакокрасочные. Методы оценки внешнего вида».

Покрытие не должно иметь пропусков, трещин, сколов, пузырей, кратеров, морщин и других дефектов, влияющих на защитные свойства.

5.3.10. Контроль толщины покрытия осуществляется с помощью толщиномеров электромагнитного типа.

Толщина покрытия на элементе определяется как средняя арифметическая величина из количества замеров, принятого для данной конструкции. Количество точек определяется в разных местах в зависимости от длины элемента: при длине элемента до 5 м – 5 точек, при длине элемента свыше 5 м – 11 точек.

Определение толщины покрытия в каждой точке производится по 5 контрольным замерам толщины в радиусе 5 мм, при этом максимальное и минимальное значения не учитываются. Толщина покрытия в каждой точке определяется как средняя арифметическая величина из трех оставшихся показаний.

5.3.11. Контроль адгезии покрытия должен осуществляться по методу решетчатого надреза в соответствии с ГОСТ 15140-78*. Адгезия покрытия должна быть не более 2 баллов.

Испытание на адгезию следует производить методом параллельных надрезов по взаимно-перпендикулярным направлениям. Надрезов должно быть не менее шести длиной не менее 20 мм.

Надрезы делают на расстоянии 1 мм друг от друга на покрытиях толщиной до 60 мкм, на расстояниях 2 мм при толщине покрытия от 60 до 120 мкм и расстоянии 3 мм на покрытиях толщиной более 120 мкм.

При прорезании слоя до металла может наблюдаться незначительное отслаивание покрытия в виде мелких чешуек в местах пересечения линий решетки. Нарушение допускается не более чем на 5% решетки.

На участках проверки адгезии покрытие должно быть восстановлено по принятой схеме окрашивания.

5.3.12. Устройство грунтовой обоймы ведется под постоянным геодезическим контролем.

5.3.13. Контроль плотности грунта следует осуществлять на протяжении всего процесса устройства обоймы и засыпки трубы путем отбора проб. Плотность проверяется на горизонтах 0,25, 0,5 и 0,75 высоты с обеих сторон трубы на расстоянии 0,1 и 1 м от боковых стенок в средней по ее длине части и на одной трети ее длины от оголовков. Количество проб должно быть не менее двух в каждой точке.

Результаты контроля заносятся в акт на скрытые работы.

5.3.14. Оценку качества выполнения работ по устройству лотка следует производить внешним осмотром (проверкой отсутствия трещин, бугров, впадин, расслоений) и контролем геометрических размеров.

По окончании работ составляется акт приемки лотка в трубе.

5.3.15. Укрепление русл и откосов насыпи следует производить в соответствии с проектами и нормами по изготовлению и постройке железобетонных водопропускных труб.

После завершения этих работ следует производить приемку трубы в целом с оформлением акта.

5.3.16. При приемке построенного сооружения должна быть предъявлена следующая документация: чертежи трубы, на которые нанесены согласованные изменения; акты освидетельствования и акты промежуточной приемки ответственных конструкций и скрытых работ (устройство оснований, монтаж конструкций, устройство дополнительного защитного покрытия и лотков, грунтовая обсыпка труб); акт освидетельствования трубы в целом; паспорт (сертификат) на поставленные строительные стальные конструкции; паспорт (сертификат) на поставленные объемные решетки и геотекстиль для армогрунтовой обоймы; документы о согласовании допущенных при строительстве отступлений от проекта; сводная ведомость указанных документов.

6. ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Борьбу с наледями в процессе эксплуатации следует вести путем предотвращения заполнения трубы льдом или его удаления различными способами. Для предотвращения попадания льда внутрь трубы ее отверстие в осенне-зимний период следует перекрывать временными ограждениями, обычно в виде щитов из бывших в употреблении шпал, досок и т.п.

Лед перед сооружением удаляют взрывным способом с помощью строительных механизмов, бульдозеров и других машин или вручную. В последнем случае обычно ограничиваются устройством во льду канав на подходах к трубам и частичным удалением льда внутри труб. Такими мероприятиями в предвесенний период обеспечивают пропуск весенних паводков. Внутри труб лёд оттаивают паром, например, с помощью электроподогрева или других источников тепла. В некоторых случаях для этой цели трубы оборудуют системой паропроводных труб, которую в необходимый момент подключают к источнику пара.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев В.Р., Савко Н.Ф. Теория наледных процессов. – М.: Изд-во «Наука», 1975. – 202 с.

2. Альбом принципиальных схем конструктивно-технологических решений по применению объемных георешеток «Прудон-494» и примеры их реализации в транспортных сооружениях / ФГУП «Союздорнии», ОАО «494 УНР». – 1-е изд. – 2002. – 75 с.

3. Бахарев И.И. Фильтрующие насыпи на ледяных участках. – В кн.: Борьба с наледями на железных и автомобильных дорогах. – М.: Транспорт, 1966.

4. Водопропускные трубы под насыпями /Е.А. Артамонов, Г.Я. Волуенков, Р.С. Клейнер и др. – М.: Транспорт, 1982. – 232 с.

5. Водопропускные трубы под насыпями / Под ред. О.А.Янковского. – М. – Транспорт. – 1982. – 232 с.

6. Инструкция по расчету стока с малых бассейнов: ВСН 63-76. Минтрансстрой СССР, МПС СССР. – М., 1976. – 10 с.

7. Инструкция по изысканию, проектированию и строительству автомобильных дорог в районах вечной мерзлоты: ВСН 84-75 / Оргтрансстрой. – М., 1976. – 218 с.

8. Изыскания, проектирование и строительство автомобильных дорог в районах распространения вечной мерзлоты: ВСН 84-89. Минтрансстрой. – М., 1990.

9. Инструкция по проектированию и постройке металлических гофрированных водопропускных труб: ВСН 176-78. Минтрансстрой СССР. – М., 1979. – 130 с.

10. Герцог А.А. Гофрированные трубы на автомобильных дорогах. – Гушосдор. – М., 1939. – 112 с.

11. Гнедоский В.И. Трубы под железнодорожными насыпями. – М.: Трансжелдориздат, 1938. – 267 с.

12. Дубина М.М., Агейкин В.Н., Новоселов Е.Н. Компенсационные меры обеспечения устойчивости дорожной насыпи с мерзлым ядром при потеплении климата. // Консервация и трансформация вещества и энергии в криосфере Земли. –

г. Пущино / Объединенный научный совет по криологии Земли, Пущинский научный центр РАН. – 2001. - С.152-153.

13. Дубина М.М., Кашеваров А.А., Агейкин В.Н., Новоселов Е.Н. Особенности постановки задач прогноза температурного режима сооружений в условиях сурового климата. – В сб. Проблемы экологии и энергосбережения: Материалы междунар. науч.-практ. конференции. – Тюмень: ТюмГАСА, 1998(а). – С.113-119.

14. Дубина М.М., Кашеваров А.А., Новоселов Е.Н. Прогноз температурного режима насыпи с тоннелем. – 2000(б) – С. 41-46 (Сб. тр. НГАСУ; Т. 3, № 1(8).

15. Дубина М.М., Кашеваров А.А., Новоселов Е.Н., Агейкин В.Н. Влияние дрейфа климатической температуры воздуха на устойчивость насыпи с тоннелем // Ритмы природных процессов в криосфере Земли. Конференция. – г. Пущино: Объединенный научный совет по криологии Земли, Пущинский научный центр РАН. – 2000(а). – С.133-134.

16. Дубина М.М., Новоселов Е.Н., Черняков Ю.А. Термомеханическое поведение тела дорожной конструкции на мерзлых грунтах // Проблемы экологии Земли. Конференция // г. Пущино: Объединенный научный совет по криологии Земли, Пущинский научный центр РАН. – 1998(б). – С.161-163.

17. Дубина М.М., Кашеваров А.А., Новоселов Е.Н. Расчет температурного режима насыпи с тоннелем. – В сб. докладов 11-го Всерос. семинара: Проблемы оптимального проектирования сооружений. – Новосибирск: НГАСУ, 2000(в), т. 2. – С. 71-77.

18. Колоколов Н.М., Янковский О.А., Щербина К.Б. Применение гофрированного металла для строительства искусственных сооружений на железных и автомобильных дорогах. Техническая информация / Оргтрансстрой. – М.,1971. – 30 с.

19. Колоколов Н.М., Янковский О.А., Щербина К.Б., Черняковская С.Э. Металлические гофрированные трубы под насыпями. М.: Изд-во «Транспорт», 1973. – 120 с.

20. Металлические гофрированные трубы под насыпями / Н.М. Колоколов, О.А. Янковский, К.Б. Щербина, С.Э. Черняховская. – М.: Транспорт, 1973. – 117 с.

21. Методические рекомендации по применению металлических гофрированных водопропускных труб: Проект. / ОАО «ЦНИИС». – М., 2001. – 84 с.

22. Методические рекомендации по прогнозу наледей при выборе места перехода через водотоки / Союздорнии. – М., 1973. – 43 с.

23. Методические рекомендации по проектированию и возведению противоналедных устройств на автомобильных дорогах Сибири / Союздорнии. – М., 1971. – 41 с.

24. Методические рекомендации по применению металлических гофрированных водопропускных труб / ЦНИИС. – М., 2001. – 87 с.

25. Методические указания по гидравлическому расчету косогорных труб. – Изд. ЦНИИС. – М., 1967.

26. Методические указания по проектированию противоналедных мероприятий и устройств / ВНИИ трансп. стр-ва. – М., 1975. – 50 с.

27. Методические указания по проектированию противоналедных устройств. – ЦНИИС. – М., 1970.

28. Пособие по гидравлическим расчетам малых водопропускных сооружений. ЦНИИС. – М.: Транспорт, 1992.

29. Потапов А.С., Подвальский Р.Е., Казначеева Е.Ф., Клейнер Р.С. Водопропускные трубы в районах вечной мерзлоты // Трансп. стр-во. – 1978. – № 1. – С.10-12.

30. Рекомендации по изысканиям, проектированию и строительству малых искусственных сооружений на водотоках с процессами наледеобразования / ВНИИ транспорт. стр-ва. – М., 1968.

31. Руководство по гидравлическим расчетам малых искусственных сооружений и русл. – М.: Транспорт, 1974.

32. Руководство по расчету ливневого стока воды с малых бассейнов / ВНИИ трансп. стр-ва. – М., 1978. – 44 с.

33. Савко Н.Ф. Прогнозирование наледей и пути направленного регулирования наледного процесса. – В кн.: «II международная конференция по мерзлотоведению. Доклады и соображения» Вып. 5. – Якутск. кн. изд-во, 1973.

34. Сборные металлические гофрированные структуры. Проспект-каталог. – Геотерра / ViaConABcompany. – 15 с.

35. СНиП 11-18-76. Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах. Нормы проектирования. – М., Стройиздат, 1977. – 48 с.

36. СНиП 2.02.01-83* Основание зданий и сооружений / Госстрой России. – М.: ГУП ЦПП, 2002. – 48 с.

37. СНиП 2.02.04-88. Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах / ЦИТП Госстроя СССР. – М.: 1990. – 56 с.

38. СНиП 2.05.03-84*. Мосты и трубы. – Минстрой , М.: ГП ЦПП Минстроя России, 1996. – 214 с.

39. СНиП 2.05.02.-85 Строительные нормы и правила. Автомобильные дороги /Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. – 56 с.

40. Таргулян Ю.О. Искусственные сооружения на водоносах с наледями. – М.: Автотрансиздат, 1961.

41. Технические указания по проектированию, изготовлению и постройке металлических гофрированных водопропускных труб (для опытного применения): ВСН 176-71 / Оргтрансстрой. – М., 1978. – 30 с.

42. Технический проект противоналедных мероприятий на периодических водотоках / Ленгипротрансстрой. - Л., 1970.

43. Янковский О.А., Черкасов К.А. Сооружение металлических гофрированных труб (зарубежный опыт). – М., 1978. –30 с. - (Экспресс-информ. / Оргтрансстрой).

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

СВЕДЕНИЯ О ФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИКАХ И ПРОФИЛЯХ ГОФРИРОВАННЫХ ЛИСТОВ

Таблица П.1.1

Механические свойства и химический состав сталей

Марка стали	Предел текучести, Н/мм^2, не менее	Предел прочности, Н/мм^2	Удлинение, %, поперек, не менее	Покрытие цинком (в микронах)	Химический состав в %				
					C	Si	Mn	P	S
15 (Россия)	240	400	23	80	0,12-0,2	0,12-0,25	0,4-0,65	≤0,035	≤0,035
09Г2Д (Россия)	310	450	22	80	≤0,12	0,17-0,37	1,4-1,8	≤0,035	≤0,04
S235JRG2	235	340 - 470	24	85	0,12	0,03	0,8	0,03	0,025
SAE J 403	230	360	30	60-90	0,03-0,09	≤0,020	0,17-0,40	≤0,020	≤0,020
HSLA	300	380	25	90		≤0,030	0,30-0,40	≤0,020	≤0,020

Таблица П.1.2

Физические характеристики многолистовых секций

Поперечные размеры гофрированного профиля, мм	Толщина листа, мм	Площадь поперечного сечения, $мм^2/см$	Момент инерции, $мм^4/мм$	Статический момент инерции, $мм^3/мм$	Радиус инерции, мм
150 x 50	3,0	3,77	1176,6	44,4	17,7
	4,0	5,04	1581,9	58,6	17,7
	5,0	6,30	1995,2	72,6	17,8
	6,0	7,57	2,417,5	86,3	17,9
	7,0	8,85	2849,7	100,0	17,9
152 x 51	3,0	3,52	1057,25	39,42	17,33
	4,0	4,83	1457,56	53,30	17,37
	5,0	6,15	1867,16	66,98	17,42
	6,0	7,46	2278,31	80,22	17,48
	7,0	8,71	2675,11	92,56	17,52
380 x 40	3,5	4,78	11710,74	152,72	
	4,8	6,54	16038,98	207,54	
	5,5	7,63	18743,25	241,38	
	6,3	8,72	21445,89	274,87	
	7,1	9,81	24164,64	308,24	

Профили гофрированных листов

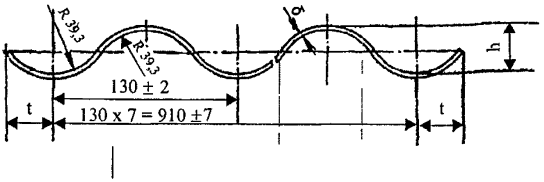


Рис. П.1.1. Профиль гофрированного листа: H=32,5±3 мм; δ=1,5; 2 и 2,5 мм; t = 32,5±7,5 мм

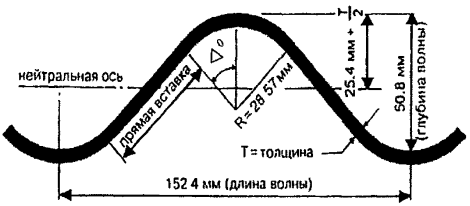


Рис. П.1.2. Профиль гофрированного листа: толщина листа 3,0-7 мм; углы изгиба гофра 44,53°-46,08°; прямая вставка 43,24-47,88 мм

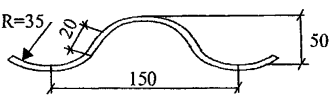


Рис. П.1.3. Профиль гофрированного листа: толщина листа 2,75-7,0 мм

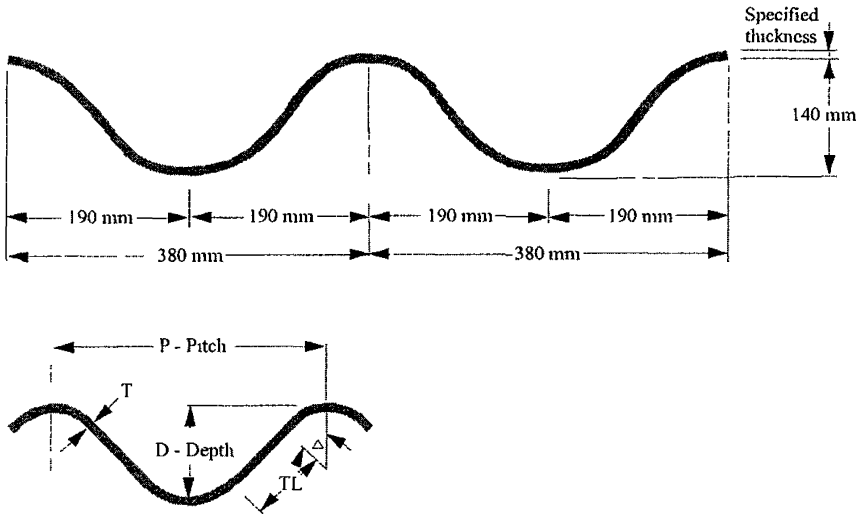


Рис. П.1.4. Профиль гофрированного листа: толщина листа 3,5-7,1 мм; углы изгиба гофра 49,75°-50,43°; прямая вставка 110,78-106,15 мм

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

КРЕПЕЖНЫЕ ИЗДЕЛИЯ ДЛЯ СБОРКИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ГОФРИРОВАННЫХ ТРУБ

Болты для продольных и поперечных стыков должны быть класса прочности 4.6 и класса 5.6 согласно требованиям СНиП II-23-81. Для труб, применяемых в районах с расчетной минимальной температурой наружного воздуха ниже минус 40°С, болты следует назначать класса прочности 8.8.

Размеры болтов принимаются по ГОСТ 7798-70*, размеры гаек – по ГОСТ 5915-70*.

Резьба болтов и гаек метрическая с крупным шагом согласно ГОСТ 24705-81.

Длина болтов должна быть не менее 35 мм и назначаться исходя из количества и толщины соединяемых гофрированных листов.

Длина участка без нарезки (у головки болта) должна быть меньше суммарной толщины двух стыкуемых элементов и шайб на 2-3 мм.

Для болтов стыковых соединений следует применять шайбы специальной формы – квадратные плосковыпуклые, квадратные плосковогнутые (рис. П.2.1) с цилиндрическими опорными поверхностями,

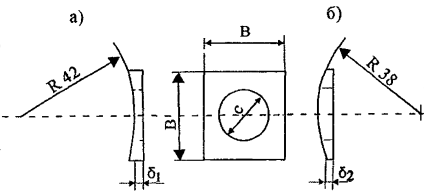


Рис. П.2.1. Шайбы для болтов (размеры в миллиметрах): а – плосковогнутые; б – плосковыпуклые; d – диаметр отверстия в шайбе (согласно ГОСТ 11371-68*); В – размер квадратной шайбы, принимаемый равным наружному диаметру стандартной круглой шайбы (согласно ГОСТ 11371-78*); δ_1 – не менее 3; δ_2 – не менее 2

радиуса кривизны, обеспечивающего плотное прилегание шайб к поверхностям впадин и гребней волн стыкуемых гофрированных листов.

При сферических опорных плоскостях болтов и гаек шайбы не применяются.

Болты, гайки и шайбы должны иметь антикоррозионное защитное покрытие (80 мкм) из цинка ЦЗ по ГОСТ 3640-75.

Болты и гайки зарубежных фирм, допускаемые к применению

Для сборки многолистовых гофрированных секций используются гальванизированные болты диаметром 19 мм, изготовленные из стали, подверженной специальной температурной обработке в соответствии со спецификацией А 449 (Американские Стандарты по Испытанию Материалов, рис. П.2.2). Нижняя поверхность головки болта равномерно закруглена и не требует специальной подгонки. Все гайки устанавливаются либо изнутри, либо снаружи конструкции, за исключением случаев, когда сборочными чертежами предписано иначе.

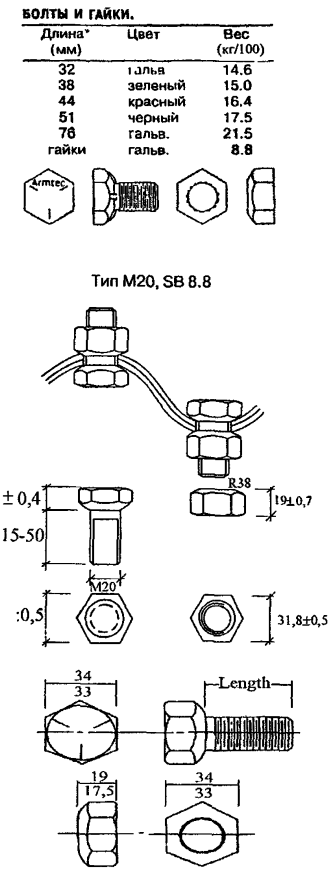


Рис.П.2.2. Болты и гайки зарубежных фирм

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ГИДРАВЛИЧЕСКИМ РАСЧЕТАМ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ГОФРИРОВАННЫХ ВОДОПРОПУСКНЫХ ТРУБ БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА

П.3.1. Общие положения

Металлические гофрированные трубы – гибкие бесфундаментные конструкции, работающие во взаимодействии с грунтом по системе «грунт-труба». В нашей стране приняты в настоящее время следующие типовые размеры гофров: 130 х 32 мм, 150 х 50 мм, а в зарубежной практике применяются следующие размеры: 67,77 х 12,7; 100 х 22; 152,4 х 50,8; 200 х 55 и 400 х 150 мм (длина и высота гофра).

Гофрированные трубы отличаются от технически гладких существенно большей шероховатостью, что связано с наличием на внутренней поверхности гофров. Среднее значение коэффициента шероховатости n = 0,025–0,03, а при наличии гофров больших размеров (более 152,4 х 50,8 мм) или наносов в лотковой части трубы коэффициент шероховатости может достигать 0,04.

Наличие повышенной шероховатости приводит к существенно большим критическим уклонам гофрированных труб по сравнению с технически гладкими, значение которых в гофрированных трубах достигает 0,02–0,03. Поэтому для предотвращения снижения водопропускной способности уклоны гофрированных труб должны быть более 0,02–0,03 и, в крайнем случае, не меньше 0,01, то есть необходимо назначать уклон трубы равным или более критического уклона ($i_т > i_к$). При уклоне трубы менее 0,01 необходимо учитывать снижение пропускной способности водопропускного сооружения.

П.3.2. Режимы протекания

Важнейшими факторами, определяющими пропускную способность водопропускных труб, являются режимы протекания воды в них и характер сопряжения их с подходными устройствами.

В районах вечной мерзлоты и наледеобразования не допускаются полунапорный и напорный режимы работы водопропускных труб. Единственным допустимым режимом является безнапорный, когда входное сечение не затоплено и на всем протяжении трубы поток имеет свободную поверхность.

Безнапорный режим протекания сохраняется вплоть до затопления входного сечения трубы. Затопление входного отверстия трубы происходит при значениях параметра расхода $П_Q$, приведенных в таблице П.3.1. Значение $П_Q$ определяют по номограммам. Приближенно можно принимать, что $H/h_т = 1,1$ для всех типов оголовков (H – глубина потока перед трубой, $h_т$ – высота трубы).

Таблица П.3.1

Форма поперечного сечения трубы	Формула параметра расхода $П_Q$	Заполнение входного сечения $\frac{h_{вх}}{h_T}$	Значение параметра расхода труб при типах входных оголовков	
			Без оголовков	Раструбный $\alpha_р=20°$
Круглая	$\frac{Q}{D^2\sqrt{gD}}$	0,75 1,0	0,275	0,305 0,495
Овоидальная	$\frac{Q}{D_э^2\sqrt{gD_a}}$	0,75 1,0	———	0,350 0,485

$$D_э = 1,13\sqrt{\omega_{coop}},$$

где $D_э$ – эквивалентный диаметр (эквивалентное отверстие), представляющий собой диаметр круга, равного по площади поперечному сечению сооружения ω_{coop}.

Для многоочковых труб эквивалентный диаметр определяется по суммарной площади очков.

При безнапорном режиме некоторое увеличение расхода, поступающего к трубе, незначительно увеличивает глубину потока перед трубой. Это преимущество безнапорных труб является очень существенным при их эксплуатации.

Для металлических гофрированных труб большого диаметра принимается безнапорный режим протекания, то есть, когда входное и сжатое сечение не затоплены, на всем протяжении трубы поток имеет свободную поверхность и пропускная способность зависит только от условий входного участка трубы.

Безнапорный режим протекания в трубах сохраняется до полного затопления входного сечения, что характеризуется условием

$$\frac{h_{вх}}{D} < 1 \ ,$$

где $h_{вх}$ – глубина на входе в трубу;

D – диаметр входного сечения, считая по впадинам гофра (наименьший диаметр).

Когда сжатое сечение затоплено, пропускная способность трубы снижается. Затопление сжатого сечения может быть вызвано влиянием сопротивления по длине трубы при относительно большой ее длине и малом уклоне, повышенной шероховатостью или затоплением нижнего бьефа.

Гофрированные металлические водопропускные трубы следует проектировать на пропуск расчетного расхода только при безнапорном режиме.

При безнапорном режиме перед трубой и в пределах входной части трубы наблюдается кривая спада от подпертой глубины до сжатого сечения. Сжатое сечение в зависимости от типа водного оголовка, поперечного сечения и уклона находится на расстоянии (1,0–2,0)Н от входа в трубу, а глубина в сжатом сечении колеблется в пределах (0,4–0,7)Н.

П.3.3. Определение пропускной способности труб

«Длинные» и «короткие» трубы. Учет влияния нижнего бьефа

П.3.3.1. В зависимости от влияния длины трубы на пропускную способность различают «короткие» и «длинные» трубы (рис. П.3.1). Трубы, на пропускную способность которых при безнапорном режиме оказывает влияние их длина, называют «длинными» в гидравлическом отношении. У «коротких» это влияние отсутствует, сжатое сечение не затоплено, поток сохраняет бурное состояние на протяжение всей трубы и пропускная способность зависит только от условия входного участка трубы. Общая длина «коротких» труб не оказывает влияния на пропускную способность трубы. В «длинных» трубах при наличии высокой шероховатости (гофров) сопротивление по длине влияет на пропускную способность.

В «длинной» трубе энергии потока недостаточно для протекания в бурном состоянии, он переходит в спокойное состояние, и пропускная способность трубы уменьшается. Этот переход осуществляется гидравлическим прыжком, глубины потока в трубе при этом резко возрастают, сжатое сечение затапливается и может произойти смена безнапорного режима на полунапорный, частично напорный или напорный режимы, что очень опасно для нормальной работы трубы.

П.3.3.2. «Короткими» считаются трубы, для которых соблюдается условие

$$i_т > i_к.$$

П.3.3.3. Критический уклон наиболее распространенных отверстий труб вычисляют по формуле

$$i_к \approx i_{к(граф)} \sqrt{\frac{D_{граф}}{D}} \; (n_{гофр}/0{,}025)^2 \quad ,$$

где $i_{к\,(граф)}$ и $D_{граф}$ соответственно критический уклон и диаметр трубы ($D_{граф}$ = 1,5 или 2,0 м), [28] или см. уравнение критического состояния.

$n_{гофр}$ – фактический коэффициент шероховатости гофрированной трубы.

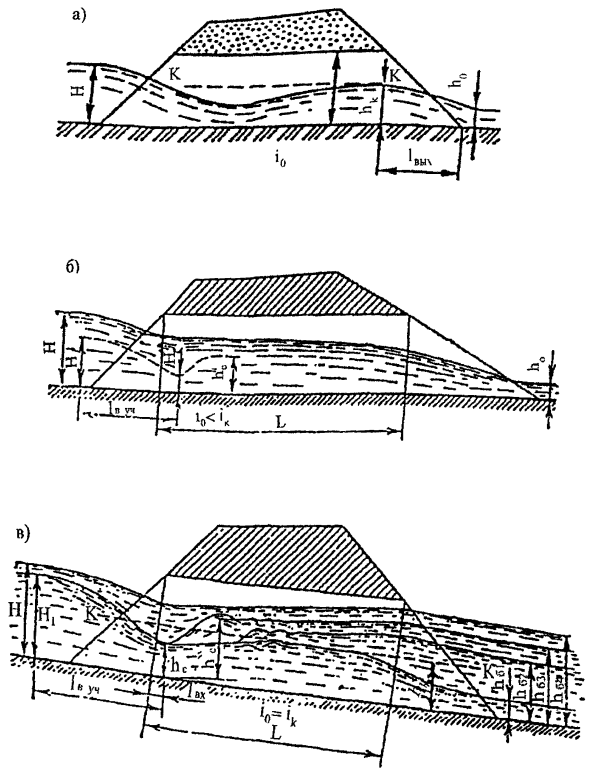


Рис. П.3.1. Схема протекания воды в равнинной трубе при безнапорном режиме: а – «короткая»; б – «длинная»; в – «незатопленная» ($h_{в2}$, $h_{в3}$) и «затоплены» с нижнего бьефа ($h_{в4}$).

При $i_т < i_к$ с некоторым приближением «короткими» можно считать трубы при соблюдении критерия относительной длины

$$\frac{l_T}{D} \le 20,$$

где $l_т$ – длина трубы;

D – диаметр (отверстие) трубы.

В случае, когда форма поперечного сечения трубы отличается от круглого, в формуле $\frac{l_T}{D} \le 20$ вместо диаметра D принимаем эквивалентный диаметр $D_{экв} = 1{,}13\sqrt{\omega_{соор}}$.

П.3.3.4. Приводимые ниже в настоящей главе зависимости для определения пропускной способности труб при безнапорном режиме относятся к «коротким» трубам.

П.3.3.5. Подпертую глубину перед безнапорными трубами определяют по тем же зависимостям, что и для равнинных технически гладких труб (табл. П.3.2).

П.3.3.6. Глубины на входе и подпертые глубины перед «длинными» трубами определяют по формулам, полученным из аналогичных зависимостей для гладких труб, приведенных в «Руководстве по гидравлическим расчетам малых искусственных сооружений», с введением в них корректировки для учета повышенной шероховатости гофрированных труб

$$\frac{h_{вх(дл)}}{D} = \frac{h_{вх}}{D} + 0{,}007\left(\frac{l_T}{D} - 20\right)\left(\frac{h_{вх}}{D}\right)^2 \frac{n_{гофр}}{n};$$

$$\frac{H_{дл}}{D} = \frac{H}{D} + 0{,}005\left(\frac{l_T}{D} - 20\right)\left(\frac{H}{D}\right)^2 \frac{n_{гофр}}{n},$$

где $\frac{h_{вх}}{D}$ и $\frac{H}{D}$ – соответственно относительная глубина на входе и относительная подпертая глубина для «коротких» труб;

n = 0,015 и $n_{гофр}$ – коэффициенты шероховатости соответственно для гладких и гофрированных труб.

Коэффициент шероховатости $n_{гофр}$ для труб с принятым в нашей стране гофром при отсутствии в трубе покрытия (гладкого

лотка) составляет около 0,03; при наличии лотка, покрывающего 1/4 - 1/3 внутренней поверхности трубы, - 0,025.

В общем случае при гладком лотке, покрывающем любую часть поперечного сечения трубы, коэффициент шероховатости

$$n_{гофр} = \sqrt{\frac{\chi \cdot n^2 + \chi_{гофр} \cdot n^2}{\chi + \chi_{гофр}}},$$

где χ и $\chi_{гофр}$ – части поперечного сечения трубы, покрытые соответственно гладким лотком и гофрированной поверхностью;

n и $n_{гофр}$ – коэффициенты шероховатости соответственно для гладкого лотка (n = 0,015) и гофрированной поверхности ($n_{гофр}$ = 0,03).

При влиянии глубины воды в нижнем бьефе трубы делят на «затопленные» с нижнего бьефа и «незатопленные» (рис. П.3.1).

Затопленными с нижнего бьефа считают трубы, работающие в условиях, при которых уровень нижнего бьефа влияет на пропускную способность трубы (вследствие затопления сжатого сечения), в противном случае трубы считаются «незатопленными» с нижнего бьефа.

П.3.3.7. При значительной бытовой глубине водотока происходит затопление труб со стороны нижнего бьефа, что также снижает их пропускную способность.

С некоторым приближением можно считать, что критерии затопления труб со стороны нижнего бьефа, полученные для гладких труб, сохраняются и для гофрированных, т.е. незатопленными будут трубы при соблюдении условий

$$h_{нб} > 1{,}25\, h_к \quad \text{и} \quad h_{нб} > 1{,}1\, h_т,$$

где $h_{нб}$ – глубина в нижнем бьефе над нижней точкой дна трубы в выходном сечении;

$h_к$ – критическая глубина в трубе;

$h_т$ – высота трубы.

Критическую глубину в круглых трубах определяют по графику.

Более точно учет затопления производится согласно «Руководству по гидравлическим расчетам малых искусственных сооружений».

П.3.3.8. Подпертую глубину перед безнапорными трубами определяют по формуле

$$H=\left(\frac{Q}{m\varepsilon_K\sqrt{2g}}\right)^{2/3},$$

где m – коэффициент расхода, определяемый по табл. П.3.2 в зависимости от типа входного оголовка;

ε_K – средняя ширина потока при критической глубине, определяемая по табл.П.3.3.

Таблица П.3.2

Тип оголовка	Коэффициент расхода, m
Без оголовка (вертикальный срез)	0,33
Срезанный параллельно откосу	0,33
«Капюшон»	0,33
Раструбный $\theta=20^0$	0,365

Таблица П.3.3.

$П_Q = \frac{Q}{D^2\sqrt{QD}}$	$\frac{в_К}{D}$	$В_К$ при диаметрах труб D, м	
		3,0	5,0
0,02	0,49	1,47	2,45
0,03	0,52	1,56	2,6
0,04	0,57	1,71	2,85
0,05	0,59	1,77	2,95
0,06	0,62	1,86	3,1
0,07	0,63	1,89	3,15
0,08	0,64	1,92	3,2
0,09	0,66	1,98	3,3
0,1	0,67	2,01	3,35
0,12	0,69	2,07	3,45
0,14	0,72	2,16	3,6
0,16	0,74	2,2	3,68
0,18	0,76	2,26	3,78
0,2	0,77	2,31	3,85
0,25	0,79	2,37	3,95
0,3	0,81	2,43	4,05
0,35	0,82	2,46	4,1
0,4	0,83	2,49	4,15
0,45	0,84	2,5	4,18
0,5	0,84	2,52	4,2
0,55	0,84	2,52	4,2
0,6	0,84	2,52	4,2
0,65	0,84	2,52	4,2
0,7	0,83	2,49	4,15

П.3.3.9. В том случае, если ширина разлива при подпертом расчетном уровне высоких вод менее шести отверстий трубы, наблюдается несовершенное сжатие потока. При несовершенном сжатии потока на входе в трубу (ширина по подпертому уровню высоких вод ПУВВ перед входом в трубу менее шести ее отверстий) коэффициент расхода определяют по формуле

$$m = m_{табл} + \frac{(0{,}385 - m_{табл})\omega_n}{3\Omega - 2\omega_n},$$

где $m_{табл}$ – значение коэффициента расхода по табл. П.3.2;

Ω – площадь поперечного сечения потока в подводящем русле;

ω_n – площадь поперечного сечения трубы до отметки подпертого уровня.

Гидравлический расчет гофрированных металлических труб, работающих в равнинных условиях, производится в соответствии с указаниями, изложенными в «Пособии по гидравлическим расчетам малых водопропускных сооружений», со следующими коррективами:

- уклоны гофрированных труб должны быть равны или больше критических, но не менее i = 0,01;

- коэффициенты расхода при безнапорном режиме следует применять для безоголовочного типа входного оголовка (с вертикальным срезом и срезом параллельно откосу) m = 0,33, а для раструбных оголовков с углом раструбности 20^0 – m = 0,36.

Возвышение высшей точки внутренней поверхности трубы в любом поперечном сечении над поверхностью воды в трубе при пропуске расчетного расхода должно быть в свету: в круглых и сводчатых трубах высотой до 3,0 м – не менее j высоты трубы, свыше 3,0 м – не менее 0,75 м.

Безнапорный режим протекания сохраняется вплоть до затопления входного сечения трубы ($\frac{H}{h_T} = 1{,}0$),

где H – глубина потока перед трубой;

$h_т$ – высота трубы.

«Короткие» незатопленные трубы

При безнапорном режиме труба гидравлически работает как водослив с широким порогом.

Расход воды, пропускаемой безнапорной «короткой» неподтопленной трубой (см. рис. П.3.1),

$$Q = m\, в_К \sqrt{2g}\, H^{3/2},$$

где m – коэффициент расхода;

$в_К$ – средняя ширина потока в сечении с критической глубиной $h_К$.

$$в_К = \frac{w_K}{h_K},$$

где $W_К$ – площадь поперечного сечения потока при глубине $h_К$;

$h_К$ – критическая глубина потока в трубе.

При заданном типе входного оголовка расчетные расходы круглых, эллиптических и овоидальных труб определяют по параметру расхода.

Значения параметра расхода труб при безоголовочных типах входного оголовка следует принимать:

- с вертикальным срезом – 0,415;
- с срезом параллельно откосу – 0,46;
- для раструбного оголовка с углом раструбности 20^0 – 0,495.

«Длинные» трубы

Пропускную способность «длинной» трубы определяют по формуле:

$$Q = m\, \sigma_п\, в_К \sqrt{2g}\, H_0^{3/2},$$

где $\sigma_п$ – коэффициент подтопления, который определяется методом последовательного приближения;

m – коэффициент расхода, числовое значение которого зависит от геметрии водослива;

$в_К$ – средняя ширина потока в сечении с критической глубиной

$$h_К . в_К = \frac{w_к}{h_к},$$

где $W_к$ – площадь поперечного сечения потока при глубине $h_к$;

$h_к$ – критическая глубина потока в трубе;

g – ускорение силы тяжести;

H_0 – полный гидродинамический напор.

Напор перед круглыми «длинными» трубами $H_{дл}$ при уклонах, близких к нулю

$$\frac{H_{дл}}{h_т} = \frac{H}{h_т} + 0{,}005\left(\frac{l_т}{h_т} - 20\right)\left(\frac{H_т}{h_т}\right)^2,$$

где H – напор аналогичной «короткой» трубе;

p – высота трубы;

$l_т$ – длина трубы.

Как известно, дорожные водопропускные трубы пропускают не постоянные расходы, а паводок, гидрограф которого на подъеме характеризуется постоянным ростом расхода до $Q_р$. По значению $Q_р$ определяются глубины и скорость на выходе гофрированных труб при безнапорном режиме протекания.

Глубины на входе из гофрированных труб с коэффициентом шероховатости $h_{гофр} = (0{,}025–0{,}03)$ определяются по формуле параметра расхода

$$П_Q = \frac{Q}{D^2\sqrt{gD}} \le 0{,}8.$$

При параметрах расхода $П_Q \le 0{,}8$ глубины на входе из гофрированных труб можно также определять по формулам для круглых труб.

Скорости потока на выходе из труб $\upsilon_{вых}$ определяют из выражения

$$\upsilon_{вых} = \frac{Q}{\omega_{вых}},$$

где ω – площадь живого сечения потока на выходе из трубы.

Глубины на выходе из раструбных оголовков труб определяют из зависимости

$$\frac{h_{вых(ог)}}{h_{вых}} = \left(\frac{b}{b_P}\right)^{4/3},$$

где b – отверстие трубы;

b_P – ширина оголовка в конце его.

Пропускную способность гофрированных многоочковых труб при условии их раздвижки на величину не менее 0,25D определяют как сумму отдельно работающих одноочковых труб.

Расчет многоочковых труб аналогичен расчету одноочковых, при этом расход каждой трубы принимают $Q_n = \frac{Q}{n_T}$,

где n_T – количество труб;

Q – расход в сооружении.

Более точно длинные трубы, а также трубы, подтопленные с нижнего бьефа, рассчитывают по рекомендациям Розанова Н.П. в книге «Гидравлические расчеты водопропускных труб».

Подтопленную трубу рассчитывают от нижнего бьефа к верхнему с определением глубин на выходе, в сжатом сечении, на выходе и с построением кривой свободной поверхности в трубе. После этого подбором определяется искомое значение Н.

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

АЛГОРИТМЫ ВЫБОРА РАЦИОНАЛЬНОГО ТИПА ВОДОПРОПУСКНОГО ТРАКТА ТРУБ

П.4.1. В основе алгоритма лежит методика расчета водопропускного тракта, предполагающая, что продольный профиль всего водопропускного тракта и его отдельных элементов задан.

П.4.2. Основные элементы алгоритма:

1) расчет размеров подходных быстротоков и гидравлических характеристик потока в них, в том числе с учетом переломов (изменения уклонов поверхности дна) и аэрации потока;

2) расчет сопряжений быстротока с трубой (сужений);

3) расчет глубин и скоростей на всей длине трубы, включая входной и выходной участки, с учетом условий сопряжения с быстротоком и аэрации;

4) расчет глубин и скоростей потока на укреплении без устройства гасителей;

5) расчет глубин размыва за укреплением нижнего бьефа с учетом гидрографа паводка, каменной наброски и возможности образования промоины (канавы) в выходном логе;

6) определение размеров укреплений нижнего бьефа;

7) выбор вариантов конструкций водопропускного тракта, удовлетворяющих всем требуемым ограничениям (по допускаемым скоростям, зазорам в трубе, глубинам воронок размыва в выходном логе и т. п.).

Определение наилучшего из допускаемых вариантов должно осуществляться на основе технико-экономического сравнения. Возможно также изменение (перепроектирование) продольного профиля водопропускного тракта с последующим повторением расчетов.

I. $в_б = в_с$.

Расчет водопропускного тракта ведется для автомобильных дорог на расчетный расход $Q_р$. При наличии снегового и ливневого

стока $Q_р$ и Q_{max} выбирают как максимальные из соответствующих расходов. Аккумуляция при расчете косогорных труб не учитывается.

П.4.3. Последовательность расчёта

1) Назначают тип трубы с учетом величины расхода, характера водотока, шероховатости; а также начальное отверстие трубы (обычно d=1,5 м или при других формах поперечного сечения в=1,5 м).

2) Рассчитывают быстроток. Длину быстротока принимают от выхода из нагорной канавы до начала сужения при установлении в нем равномерного движения.

Начинают с быстротока шириной по дну $b_б$ =d или в и трапецеидальной формы с наиболее слабым типом укреплений. Последовательно увеличивают ширину $b_б$ с шагом 0,25 м до выполнения двух условий:

а) $h_к < h_{нг}$ где $h_к$ – критическая глубина на входе в быстроток; $h_{нг}$ – глубина воды в нагорной канаве в месте ее сопряжения с быстротоком (приближённо ее можно принимать равной глубине канавы);

б) $υ_{б(max)} < υ_{доп}$, где $υ_{б(max)}$ – максимальная скорость воды в быстротоке; $υ_{доп}$ – допускаемая скорость для материала и конструкции быстротока;

в) по глубине воды в конце быстротока определяют параметр кинетичности.

Затем определяют стоимость быстротока и переходят к расчету быстротока с более мощным типом укрепления, и на основе технико-экономического сравнения вариантов выбирают более экономичный.

3) Расчет сужения начинают с максимального угла сужения θ= 20°. Задаваясь характером сопряжения сужающейся части быстротока с трубой и степенью сужения $ε = b_б/b$, определяют глубины на входе в трубу. Если при пропуске расчетного расхода $Q_р$ зазор между верхом трубы средней по сечению отметкой свободной поверхности на начальном участке трубы меньше допускаемого СНиП 2.05.03-84*, либо если высота максимального всплеска на стенке сужения $h_{гс}$ больше высоты трубы ($h_{гс} > h_т$), либо

если глубина в гребне на оси трубы больше высоты трубы $h_{гр}>h_{т}$, то уменьшают угол сужения на 5° и повторяют расчет сужения.

При этом необходимо учитывать, что при уменьшении угла сужения увеличивается длина участка сужения и, в то же время, уменьшается длина быстротока, поэтому на входе в сужение при изменении θ будут меняться скорости и глубины потока, устанавливаемые при расчете быстротока.

Если при каком-либо угле θ ≥ 8-10° указанные выше ограничения выполнены, то расчет сужения заканчивают. Если и при этом не выполняются ограничения на величину зазора в трубе, то назначают следующее отверстие трубы и переходят к п. 2 алгоритма.

4) Если по каким-либо причинам подходной быстроток и сужение отсутствуют, то расчет отверстия трубы производится как для равнинных условий. При этом для расчетного расхода $Q_р$ допускается только безнапорный и только при выполнении требования о величине зазора в трубе согласно СНиП 2.05.03-84*.

5) Рассчитывают среднюю часть трубы исходя из глубин и скоростей на входном участке трубы по уравнению неравномерного движения (Чарномский В.И.). Аналогично расчету быстротоков строят кривую свободной поверхности и проверяют условие, чтобы при расчетном расходе $Q_р$ оставался регламентируемый СНиП 2.05.03-84* зазор между поверхностью воды и верхом трубы. При невыполнении этого условия переходят к следующему отверстию трубы и, если оно больше ширины быстротока $b_б$, возвращаются к п. 2 алгоритма, принимая $b_б$, равной новому отверстию трубы, а если меньше – то к п. 3 алгоритма. Для приближенных расчетов допускается вместо построения кривой свободной поверхности рассчитывать нормальную глубину в трубе (для труб с переломами – нормальную глубину для участка с максимальным уклоном).

6) Рассчитывают глубины и скорости на выходе из трубы.

7) Назначают начальный тип укрепления выходного русла (каменная наброска, плиты, монолитный бетон, сборные блоки и т. п.). Если $\upsilon_{б(max)}>\upsilon_{доп}$, то меняют тип укрепления на более мощный, и

так до тех пор, пока не будет удовлетворено условие $\upsilon_{б(max)} \leq \upsilon_{доп}$ либо не будут исчерпаны все возможные типы укреплений.

8) Назначают начальный тип выходного русла из числа приведенных в «Пособии по гидравлическим расчетам малых водопропускных сооружений».

9) Рассчитывают глубины размыва в выходном русле заданного типа. Если максимальная глубина размыва (с учетом образования канала) больше 2,5 м, то переходят на следующий, более мощный тип выходного русла (в порядке возрастания номеров и индексов), и расчет повторяют. Если никакой из типов выходных русл не обеспечивает глубины размыва меньше допустимой, то увеличивают отверстие трубы и переходят к п. 2.

10) Рассчитывают скорости и глубины потока на укреплении.

11) Рассчитывают ширину укрепления и глубину заделки его концевой части с учетом растекания потока на укреплении и глубины воронки размыва.

12) Если в результате расчетов осуществлен перебор всех допустимых отверстий труб и при этом не найден вариант, удовлетворяющий всем необходимым ограничениям, то водопропускной тракт необходимо перепроектировать. При этом необходимо:

а) изменить уклоны отдельных частей водопропускного тракта;

б) изменить ширину быстротока;

в) изменить угол сужения θ или степень сжатия ε .

После введения соответствующих коррективов для п. 12, а-в повторяют расчеты, начиная с п. 1 алгоритма. Если расчеты по перепроектированному варианту опять не удовлетворяют ограничениям, снова производят перепроектировку и т. д.

ПРИЛОЖЕНИЕ 5

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАСЧЕТУ ТЕРМОНАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ НАСЫПИ НАД ВОДОПРОПУСКОМ И ДАВЛЕНИЯ ПРОМЕРЗАЮЩИХ И ОТТАИВАЮЩИХ ГРУНТОВ НАСЫПИ НА ВОДОПРОПУСКНЫЕ ТРУБЫ

Методы расчета температурных полей в окрестности пропускных труб разработаны в последние годы М.М. Дубиной с сотрудниками (1998 (а,б); 2000 (а,б,в); 2001). В этих работах рассмотрено формирование термического поведения протяженной насыпи с пересекающим её тоннелем в условиях возможного сезонного или многолетнего формирования мерзлого состояния её грунта. Пересекающий насыпь подкрепленный тоннель имеет произвольную форму поперечного сечения. Насыпь может быть слоистой или произвольно неоднородной по свойствам в своём объёме, что позволяет учитывать различные варианты её функционального назначения, в том числе в качестве дорожной конструкции, дамбы или плотины.

Геометрическая сложность рассматриваемого объекта предопределяет необходимость решения трехмерной задачи теории теплопроводности, которая решается численно методом конечных разностей. Расчетная область ограничена зоной вырождения трехмерной задачи в двухмерную. Решение в выделенной области нестационарной задачи теплопроводности находится при задании нестационарных граничных условий. На дневной поверхности они согласованы с климатической температурой атмосферного воздуха, а внутри коммуникационного тоннеля температура может быть либо согласованной с атмосферной через условия вентиляции, либо быть заданной функцией времени. Температурное состояние грунта определяется на заданный срок эксплуатации или до получения регулярного температурного режима в расчетной области.

Рассмотрена задача прогноза температурного режима влагонасыщенных грунтов и сопряженных с ними инженерных сооружений дорожного комплекса. Процесс фазового перехода

происходит в широком спектре отрицательных температур. При этом доля воды, перешедшей в лед, зависит от температуры и степени минерализации поровой влаги. Предполагается, что распределение влажности и концентрации солей в области моделирования заданы и постоянны во времени. Вводя понятие эффективной теплоемкости, М.М. Дубина с сотрудниками получает для всей области одно квазилинейное уравнение теплопроводности, описывающее процесс теплообмена в талых и мерзлых грунтах. Теплофизические параметры зависят от типа грунта, льдистости и влажности, а концентрация солей в поровой влаге определяет значение температуры начала фазового перехода. Для замыкания задачи необходимо задать начальное распределение температуры и граничные условия на внешней границе области. Влияние снежного покрова и процесса испарения влаги с поверхности земли учитывается модификацией граничных условий третьего рода в соответствующих точках. Задача решается по консервативной неявной конечно-разностной схеме с использованием устойчивого итерационного алгоритма переменных направлений. При расчетах внимание также уделяется анализу фазовых переходов внутри насыпей в течение годового периода, что позволяет выделить участки неблагоприятного воздействия сезонных колебаний температуры. Проведенные расчеты двухмерных задач теплообмена показали, что предложенный подход позволяет достаточно точно описывать картину процессов в промерзающих - протаивающих грунтах и прогнозировать температурный режим для различных инженерных сооружений с учетом трехмерности и сложной геометрии области моделирования.

Авторами разработан следующий физический алгоритм математической постановки выделенного класса задач. Рассмотрена задача теплообмена в грунтах и элементах строительных конструкций при наличии фазового перехода для поровой влаги. Распределение влажности (v) и концентрации солей (s) в области моделирования (Ω) считаются заданными и постоянны во времени. Процесс фазового перехода происходит в широком спектре отрицательных температур, при этом доля (w – льдистость) воды,

перешедшей в лед, зависит от температуры и степени минерализации поровой влаги.

$$w = 1 - \frac{1}{(1 + A(T_\Phi(s) - T))}, \quad T \le T_\Phi(s);\ w = 0,\ T > T_\Phi .$$

Вводя понятие эффективной теплоемкости (c)

$$c(T) = \rho_{\Gamma} c_{\Gamma} + (c_{\text{В}}(1-w) + c_{\Lambda} w)\rho_{\text{В}} v - v\rho_{\text{В}} L\frac{dw}{dT},$$

авторы получают для температуры (T) одно уравнение теплопроводности, описывающее процесс теплообмена в талых (w=0) и мерзлых (w>0) грунтах

$$\frac{\partial E}{\partial t} \equiv \frac{\partial}{\partial t}\int_{T_\Phi}^{T} c(\tau)\partial\tau = div(k(T)\nabla T),\ (x,y,z) \in \Omega .$$

Коэффициент теплопроводности зависит от типа грунта, льдистости и влажности и в самом простом, аддитивном варианте теплопроводности композиционных материалов, записывается следующим образом:

$$k = k_{\Gamma} + (k_{\text{В}}(1-w) + k_{\Lambda} w)v ,$$

а концентрация солей в поровой влаге определяет значение температуры начала фазового перехода

$$T_\Phi = -\gamma s,\ s \ge 0.$$

Здесь k_{Γ}, c_{Γ} ; $k_{\text{В}}$,$c_{\text{В}}$ и k_{Λ} ,c_{Λ} – коэффициенты теплопроводности и теплоемкости соответственно для грунта, воды и льда; ρ_{Γ} , $\rho_{\text{в}}$ – плотности грунта и воды; L – скрытая теплота плавления. Рассмотрены и более сложные варианты записи коэффициента теплопроводности по теории композитных материалов.

Для замыкания задачи задается начальное распределение температуры

$$T\,|_{t=0} = T_0(x,y,z)$$

и граничные условия на внешней границе области, которые в общем случае могут быть записаны в виде

$$\beta_1 k \frac{\partial T}{\partial n} + \beta_2 T|_{x \in \Gamma} = \Phi(x,t), \; x \in \Gamma = \partial\Omega.$$

Влияние снежного покрова и процесса испарения влаги с поверхности земли учитывается модификацией граничных условий третьего рода в соответствующих точках.

Для решения квазилинейного уравнения теплопроводности авторами разработан численный алгоритм метода конечных разностей с двухуровневой системой итераций, позволяющей получить решение с задаваемой точностью при минимальном времени счета.

В качестве одного из вариантов расчета авторы рассмотрели область моделирования, соответствующую водопропускному каналу большого диаметра, пересекающему дорожную насыпь, вытянутую вдоль своей оси. Внутри области перпендикулярно оси насыпи проходит труба диаметра D = 2,4 м, внутренность которой связана с атмосферой. Над трубой расположена слоистая насыпь из пористых материалов с различными теплофизическими характеристиками для каждого из слоев. Задача является трехмерной, и область моделирования не допускает схематизации ее к плоской в каком-либо из сечений.

Вычислительным экспериментом установлено, что сезонное изменение температуры сказывается на формировании осадок конструкции насыпи с тоннелем, величина которых может существенно отличаться в зависимости от условий теплообмена на границах расчетной области. Показано, что с помощью специальных приемов, изменяющих условия теплообмена на дневной поверхности и внутри тоннеля, можно добиться практической стабилизации деформированного состояния конструкции насыпи в годовых циклах колебаний температуры атмосферного воздуха и тем самым улучшить ее эксплуатационные характеристики.

В заключение следует отметить, что методы расчета термонапряженно-деформационного поля в окрестности

водопропускных труб пока не разработаны. Поэтому процессы, перечисленные в п.2.2, могут быть пока оценены лишь экспертно. Это, в частности, нашло отражение в работе (Метод. рекомендации по применению металлических гофрированных водопропускных труб, 2001), в которой для условий с вечной мерзлотой предложена толщина стенки труб 2,75 мм при диаметре труб до 3 м, что является чисто экспертной оценкой.

В первом приближении следует произвести также очень грубые числовые оценки возможности температурного растрескивания грунтов насыпи при их зимнем охлаждении со стороны водопропускной трубы и максимального давления оттаявшего грунта на трубу.

Первая оценка сводится к неравенству

$$|\theta_{min}(z)| > |\theta_{lim}(z)|,$$

где $\theta_{min}(z)$ – определяемая расчетом минимальная за зиму температура в различных слоях насыпи над верхней образующей водопропускной трубы по вертикальной координате z;

$\theta_{lim}(z)$ – определяемая экспериментально или расчетом предельная температура начала растрескивания грунтов в тех же точках z синхронна с температурой θmin.

Вторая оценка сводится к определению давления оттаявших грунтов на стенки трубы как гидростатического давления от полного веса грунта, т.е

$$p(z) \approx \rho \cdot g \cdot z,$$

где z – вертикальная координата от верха насыпи;

ρ – плотность грунта;

g = 9,8 Н/кг;

p – давление оттаявших грунтов на стенки трубы.

Аналогичная приближенная оценка давления пучения со стороны замерзающих грунтов насыпи на водопропускную трубу возможна в настоящее время лишь экспертным путем.

ПРИЛОЖЕНИЕ 6

РАСЧЕТ ОСАДОК ТРУБ И НАЗНАЧЕНИЕ СТРОИТЕЛЬНОГО ПОДЪЕМА

В случае наличия подруслового талика глубиной более 6 м расчет осадок труб для точек под осью насыпи следует производить по графику (рис. П.6.1), определяя расчетную осадку Sp по формуле

$$Sp = \frac{100}{E} S_T,$$

где S_T – осадка основания при модуле деформации грунта E=100 кгс/см² (см. рис. П.6.1).

Исходными параметрами для расчета осадок должны быть: модуль деформации, объемная масса грунта и мощность геологических слоев в основании, высота насыпи.

Осадка труб на многослойном основании рассчитывается путем суммирования осадок в пределах каждого слоя.

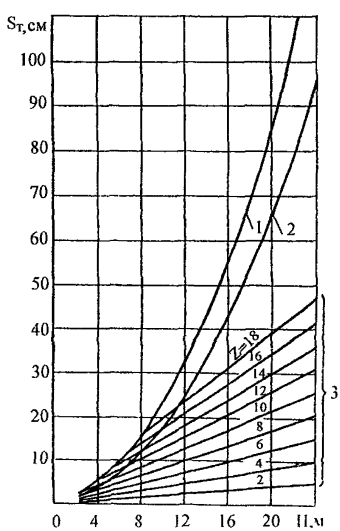


Рис. П.6.1. Расчетный график для определения осадки трубы:
S_T – осадка основания при модуле деформации грунта 10 МПа;
H – высота насыпи;
Z – расстояние от нижней границы слоя до верха основания;
1,2 – при однородном основании и γ= 1-1,7т/м³;
3 – при неоднородном основании

Расчетную осадку Sp под осью насыпи следует сравнить с предельно допустимой осадкой Sд, определяемой по формуле

$$Sд = 0{,}5Sp + 0{,}75iL,$$

где iL – разница отметок лотка трубы на входе и выходе (i – уклон, L – длина трубы).

Примечание. Формула применима для уклонов труб до 0,05.

В случае, если расчетная осадка превышает величину Sд, необходимо принять меры по изменению проектного решения, в первую очередь рассматривая варианты увеличения уклона лотка трубы или толщины подушки, либо переходить к другой конструкции водопропускного сооружения.

Строительный подъем назначают, определяя ординату под осью насыпи по формуле

$$\Delta = Sp + 0{,}25iL,$$

которая не должна превышать величины 0,5 (Sp+ iL).

РАСЧЕТ ОСАДОК ТРУБ НА ОТТАИВАЮЩИХ ГРУНТАХ

Осадку труб $S_р$ на оттаивающих грунтах рассчитывают по формуле

$$S_р = S_п + S_{доп},$$

где $S_п$ – осадка предварительно оттаявшего слоя грунта толщиной $h_{от}$ (рис. П.7.1);

$S_{доп}$ – дополнительная осадка слоя грунта, оттаивающего в процессе эксплуатации трубы, для слоя $h_{доп} = H_0 - h_{от}$ (H_0 – полная глубина оттаивания, м).

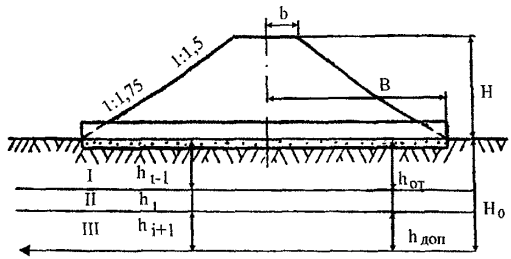


Рис.П.7.1. Схема к расчету осадок труб на оттаивающих грунтах

Глубину оттаивания определяют теплотехническим расчетом, а также по данным натурных наблюдений за аналогичными сооружениями.

Примечание. При наличии на глубине меньшей, чем глубина оттаивания, скальных или других несжимаемых грунтов (E>100 МПа) осадку рассчитывают для толщи основания, ограниченной их верхней поверхностью. Допускается при этом принимать $H_0=4,0+1,8H$ при объемной массе грунта основания γ_0 =1,0 т/м³ и H_0=3,0+1,4H при γ_0= 1,7 т/м³.

Осадку $S_{доп}$ слоя грунта, оттаивающего в процессе эксплуатации сооружения, для слоя $h_{доп}=H_0 - h_{от}$ определяют по формуле

$$Sдоп = 0,75k\gamma H\sum_{i=1}^{n} a_i h_i(1-Л_{ci}) + \sum_{i=1}^{n}[(A_i + a_i p_{\delta i})(1-Л_{ci}) + k_{л}Л_{ci}]h_i,$$

где k – безразмерный коэффициент, равный 0,75 $(1+\frac{b}{B})$;

a_i – коэффициент сжимаемости i-го слоя оттаивающего грунта;

γ – плотность грунта насыпи;

h_i – толщина i-го слоя оттаивающего грунта;

$Л_{ci}$ – разность между суммарной льдистостью i-го слоя грунта и суммарной влажностью образца грунта, взятого из этого слоя;

n – число слоев, на которые разделяется при расчете толща оттаявшего (оттаивающего) грунта;

A_i – коэффициент оттаивания i-го слоя грунта, характеризующий относительную осадку грунта при его оттаивании без нагрузки;

$p_{\delta i}$ – давление в середине i-го слоя грунта от собственного веса грунтов основания, равное $0,5\gamma_0 (Z_i + Z_{i-1})$, где γ_0 – плотность грунта основания, Z_{i-1}, Z_i – расстояние от подошвы насыпи соответственно до кровли и подошвы i-го слоя;

$k_{л}$ – коэффициент, учитывающий неполное смыкание макропор при оттаивании мерзлого грунта, принимаемый в зависимости от средней толщины ледяных включений $\Delta_л$: при $\Delta_л \le 1$см $k_л$=0,7; при $\Delta_л \ge 3$см $k_л$=0,9; при промежуточных значениях $\Delta_л$ коэффициент $k_л$ определяется интерполяцией.

Осадку $S_п$ слоя грунта, предварительно оттаявшего на глубину $h_{от}$, рассчитывают по вышеприведенной формуле при значениях A_i = 0; $Л_{ci}$=0 и значениях a_i, определяемых с учетом ожидаемой степени уплотнения оттаявшего грунта.

При этом формула имеет вид

$$S_П = 0,75k\gamma H\sum_{i=1}^{n} a_i h_i + \sum_{i=1}^{n} a_i p_{\delta i} h_i.$$

Расчет осадок производят для средней части трубы (высота насыпи H) и ее концевых участков (H=0).

ПРИЛОЖЕНИЕ 8

ОГРАНИЧЕНИЕ ПОПЕРЕЧНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ТРУБЫ НА СТАДИИ ОТСЫПКИ И УПЛОТНЕНИЯ БОКОВЫХ ПРИЗМ ГРУНТА

Расчетную нагрузку на трубу от строительных машин и уплотняемого грунта боковых призм следует условно принимать действующей в горизонтальной диаметральной плоскости нормально к поверхности трубы с обеих сторон, равномерно распределенной по длине образующей трубы с интенсивностью

$$e = 25 \cdot 10^3 \sqrt{D}\ , \text{Н/м},$$

где D – диаметр, м.

Интенсивность действующего горизонтального давления e не должна превышать предельно допускаемое на трубу давление $e_{тр}$

$$e \leq e_{тр}. \qquad (П.8.1)$$

Интенсивность предельно допускаемого (из условия трехпроцентной деформации номинального диаметра) давления $e_{тр}$ следует определять по формуле

$$e_{тр} = \frac{8M_{пл}}{D},$$

где $M_{пл}$ – изгибающий момент в стенке трубы на единицу ее длины, соответствующий образованию пластического шарнира и равный

$$M_{пл} = W_{пл} \cdot \sigma_т,$$

где $W_{пл}$ – пластический момент сопротивления продольного сечения стенки на единицу длины трубы, см^3/см;

$\sigma_т$ – предел текучести стали, кгс/см^2.

Если не удовлетворяется условие (П.8.1), следует предусматривать установку внутри трубы временных инвентарных креплений, рассчитывая их на действие перемещающейся вдоль трубы горизонтальной нагрузки $e_к$ интенсивностью

$$e_к = e - e_{тр}\ ,$$

действующей так же, как и нагрузка e, но на ограниченной длине 0,5 м по поверхности трубы симметрично относительно горизонтального диаметра.

ОГЛАВЛЕНИЕ

стр.
ВВЕДЕНИЕ 3
1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ 4
1.1.Условия применения металлических труб большого диаметра 4
1.2. Номенклатура металлических труб 7
1.3. Требования к конструктивным решениям водопропускных сооружений на основе металлических гофрированных структур 8
2. ОСОБЕННОСТИ ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЙ И ПРОЦЕССОВ, ТРЕБУЮЩИХ УЧЕТА ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ВОДОПРОПУСКНЫХ СООРУЖЕНИЙ В ЗОНЕ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ И НАЛЕДЕОБРАЗОВАНИЯ 9
2.1. Особенности стока в I дорожно-климатической зоне 9
2.2. Особенности термомеханического взаимодействия водопропускных труб и грунтов насыпи 10
2.3. Особенности расчета фундаментов труб в зоне вечной мерзлоты 11
2.4. Наледеобразование и его прогнозирование 12
3. ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТОВ ВОДОПРОПУСКНЫХ ТРУБ В ЗОНЕ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ И НАЛЕДЕОБРАЗОВАНИЯ 15
3.1. Нагрузки и воздействия 15
3.2. Особенности гидравлических расчетов 15
3.3. Особенности прочностных расчетов комплекса «труба – насыпь» на температурные напряжения 17
3.4. Особенности расчетов фундаментов труб 18
3.5. Особенности расчетов водопропускной способности труб и противоналедных устройств в условиях наледеобразования 18

4. КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЕ НАДЕЖНОСТЬ РАБОТЫ ТРУБЫ В УСЛОВИЯХ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ И НАЛЕДЕОБРАЗОВАНИЯ 19
4.1. Требования к грунтам засыпки 19
4.2. Применение теплоизоляторов 21
4.3. Применение геосинтетики 22
4.4. Конструктивные решения устройства водопропускных труб в условиях вечной мерзлоты и наледеобразования 27
5. ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ И ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТ ПО УСТРОЙСТВУ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ТРУБ В ЗОНЕ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ 32
5.1. Средства механизации 32
5.2. Учет общего температурного режима и особенности конструктивных решений при организации работ по устройству металлических труб 33
5.3. Особенности контроля качества производства работ 39
6. ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ 44
ЛИТЕРАТУРА 45
Приложение 1. Сведения о физических характеристиках и профилях гофрированных листов 49
Приложение 2. Крепежные изделия для сборки металлических гофрированных труб 53
Приложение 3. Методические рекомендации по гидравлическим расчетам металлических гофрированных водопропускных труб большого диаметра 55
Приложение 4. Алгоритмы выбора рационального типа водопропускного тракта труб 68

Приложение 5.
Рекомендации по расчету термонапряженного состояния насыпи над водопропуском и давления промерзающих и оттаивающих грунтов насыпи на водопропускные трубы 72
Приложение 6.
Расчет осадок труб и назначение строительного подъема 77
Приложение 7.
Расчет осадок труб на оттаивающих грунтах 79
Приложение 8.
Ограничение поперечных деформаций трубы на стадии отсыпки и уплотнения боковых призм грунта 81

Подписано в печать 31.10.2003 г. Формат бумаги 60x84 1/16.
Уч.-изд.л. 4.7. Печ.л. 5,25. Тираж 350. Изд. № 716. Ризография № 328.

Адрес ФГУП "ИНФОРМАВТОДОР":
129085, Москва, Звездный бульвар, д. 21, стр. 1
Тел. (095) 747-9100, 747-9105, тел./факс: 747-9113
e-mail: gost.e-ecolog.ru
Сайт: gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru