ОДМ 218. 2.090-2017

ОТРАСЛЕВОЙ ДОРОЖНЫЙ МЕТОДИЧЕСКИЙ ДОКУМЕНТ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ДОРОЖНОЕ АГЕНТСТВО
РОСАВТОДОР

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРИМЕНЕНИЮ ТРУБЧАТЫХ СВАРНЫХ ШПУНТОВ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ДОРОЖНОЕ АГЕНТСТВО
(РОСАВТОДОР)

МОСКВА 2017

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН ООО «Центр-Дорсервис»

2 ВНЕСЁН Управлением научно-технических исследований и информационного обеспечения и Управлением проектирования и строительства автомобильных дорог

3 ИЗДАН на основании распоряжения Федерального дорожного агентства от 25.09.2017 № 2678-р

4 ИМЕЕТ РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫЙ ХАРАКТЕР

5 ВВЕДЁН ВПЕРВЫЕ

Содержание

1 Область применения 1

2 Нормативные ссылки 1

3 Термины и определения 4

4 Основные обозначения и сокращения 6

5 Общие положения 8

6 Конструкции заводского изготовления. Технические требования 9

7 Конструктивно-технологические решения. 14

8 Долговечность и антикоррозийная защита 22

9 Расчёты конструкций из ШТС 24

10 Возведение конструкций из ШТС. Строительные технологии, механизмы, техническое оборудование 32

11 Эксплуатация и содержание ШТС в составе дорожных сооружений 44

Приложение А Сортамент и геометрические характеристики труб в составе трубошпунтовых стенок 49

Приложение Б Рекомендуемый сортамент замковых соединений 51

Приложение В Инженерный метод расчёта конструкций из ШТС 55

Приложение Г Указания к расчёту дорожных инженерных сооружений из ШТС методом конечных элементов (МКЭ) с использованием упругопластической модели грунта 89

Библиография 93

1 Область применения

Отраслевой дорожный методический документ «Методические рекомендации по применению трубчатых сварных шпунтов при строительстве автомобильных дорог» (далее – методический документ) является актом рекомендательного характера.

Методический документ адресован специализированным организациям, участвующим в дорожной деятельности на территории Российской Федерации.

Методический документ применяется при проектировании, экспертизе проектов, строительстве, реконструкции и содержании инженерных сооружений из трубчатого сварного шпунта (ШТС) в составе автомобильных дорог, относящихся к классам сооружений КС-2, КС-1 нормального и пониженного уровней ответственности в соответствии с ГОСТ 27751: мостовых устоев, дорожных подпорных стенок, ограждающих и засыпных сооружений.

2 Нормативные ссылки

В настоящем методическом документе использованы нормативные ссылки на следующие документы:

Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29 декабря 2004 г.

Федеральный закон «О техническом регулировании» № 184-ФЗ.

ГОСТ 9.402-2004 Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия лакокрасочные. Подготовка металлических поверхностей к окрашиванию.

ГОСТ 12.3.009-76 Система стандартов безопасности труда. Работы погрузочно-разгрузочные. Общие требования безопасности.

ГОСТ 5264-80* Ручная дуговая сварка. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры.

ГОСТ 5686-2012 Грунты. Методы полевых испытаний сваями.

ГОСТ 6713-91 Прокат низколегированный конструкционный для мостостроения. Технические условия.

ГОСТ 8696-74 Трубы стальные электросварные со спиральным швом общего назначения. Технические условия.

ГОСТ 8732-78* Трубы стальные бесшовные горячедеформированные. Сортамент.

ГОСТ 10704-91 Трубы стальные электросварные прямошовные. Сортамент.

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

ГОСТ 12248-2010 Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости.

ГОСТ 14098-2014 Соединения сварные арматуры и закладных изделий железобетонных конструкций. Типы, конструкции и размеры

ГОСТ 14771-76 Дуговая сварка в защитном газе. Соединения сварные. Основные типы. Конструктивные элементы и размеры.

ГОСТ 15150-69 Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды.

ГОСТ 19281-2014 Прокат из стали повышенной прочности. Общие технические условия.

ГОСТ 20295-85 Трубы стальные сварные для магистральных газонефтепроводов. Технические условия.

ГОСТ 20522-2012 Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний.

ГОСТ 25100-2011 Грунты. Классификация.

ГОСТ 27751-2014 Надёжность строительных конструкций и оснований. Основные положения.

ГОСТ 32960-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Нормативные нагрузки. Расчётные схемы нагружения.

ГОСТ 33178-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Классификация мостов.

ГОСТ 33384-2015 Дороги автомобильные общего пользования. Проектирование мостовых сооружений. Общие требования.

ГОСТ 33390-2015 Дороги автомобильные общего пользования. Мосты. Нагрузки и воздействия

ГОСТ 33391-2015 Дороги автомобильные общего пользования. Мостовые сооружения. Габариты приближения конструкций

ГОСТ Р 52664-2010 Шпунт трубчатый сварной. Технические условия.

ГОСТ Р 55374-2012 Прокат из стали конструкционной легированной для мостостроения. Общие технические условия

СП 14.13330.2014 Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81* (с изменением 1).

СП 16.13330.2011 Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81* (с изменением 1).

СП 22.13330.2011 Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83* (с изменением 1).

СП 24.13330.2011 Свайные фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85 (с изменением 1).

СП 28.13330.2012 Защита строительных конструкций от коррозии. Актуализированная редакция СНиП 2.03.11-85 (с изменением 1, 2).

СП 34.13330.2012 Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 2.05.02-85*.

СП 35.13330.2011 Мосты и трубы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84* (с изменением 1).

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

СП 46.13330.2012 Мосты и трубы. Актуализированная редакция СНиП 3.06.04-91 (с изменением 1).

СП 48.13330.2011 Организация строительства. Актуализированная редакция СНиП 12-01-2004 (с изменением 1).

СП 63.13330.2012 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003. (с изменением 1, 2)

СП 70.13330.2012 Несущие и ограждающие конструкции. Актуализированная редакция СНиП 3.03.01-87 (с изменением 1).

СНиП 3.01.04-87 Приемка в эксплуатацию законченных строительством объектов. Основные положения.

СНиП 12-03-2001 Безопасность труда в строительстве. Часть 1. Общие требования.

СНиП 12-04-2002 Безопасность труда в строительстве. Часть 2. Строительное производство.

3 Термины и определения

В настоящих Методических рекомендациях применены следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 **активное и пассивное давление грунта на стенку:** Виды давления грунта засыпки на стенку (в том числе подпорную стенку шпунтового типа), формирующиеся при перемещении стенки в сторону от засыпки (а. д.) и в сторону засыпки (п. д.). А. и п. д. соответствуют состоянию предельного равновесия грунтовой среды в соответствии законом Кулона и уравнением Мора-Кулона.

3.2 **грунтовое ядро:** Грунт, сохраняющийся или оставляемый во внутренней полости трубы трубчатой шпунтовой сваи во время или после её погружения.

3.3 **дисперсные грунты:** Класс грунтов с физическими (водно-коллоидными), физико-механическими и механическими (структурными) связями: пески, крупнообломочные, глинистые (супеси, суглинки, глины) грунты.

3.4 **дорожная деятельность:** Деятельность по проектированию, строительству, реконструкции, капитальному ремонту, ремонту и содержанию автомобильных дорог.

3.5 **закон Кулона:** Соотношение между касательным τ и нормальным σ напряжениями, действующими на площадках возможного начала скольжения. З. К. записывается в виде: $\tau=\sigma\ tg\varphi+c$, где $tg\varphi$ – коэффициент трения, φ – угол внутреннего трения, c – удельное сцепление.

3.6 **континуальный конечный элемент:** Термин из теории метода конечных элементов, фрагмент плоской или пространственной расчётной области в совокупности с заданными функциями, описывающими перемещения точек внутри и на внешних границах.

3.7 **напряжённое состояние в точке:** Совокупность нормальных и касательных напряжений, действующих по всем возможным площадкам, пересекающимся в этой точке.

3.8 **подпорная стенка шпунтового типа:** Разновидность стальных или железобетонных изгибаемых подпорных стенок, состоящих из воспринимающей горизонтальное давление грунта надземной части и заделанной в основание подземной (заглублённой) части.

3.9 **сварной трубчатый шпунт:** Шпунтовая стена, состоящая из стальных трубчатых сварных шпунтовых свай. Трубчатая сварная шпунтовая свая состоит из стальной трубы и приваренных к ней замковых соединений.

3.10 **слабые глинистые грунты:** Грунты с сопротивляемостью сдвигу менее 0,075 МПа или модулем деформации менее 5 МПа. К слабым грунтам относятся текучепластичные глины и суглинки, пластичные супеси с показателем текучести более 0,5.

3.11 **структурно-неустойчивые грунты:** Грунты, при приложении к которым даже незначительных по величине нагрузок происходит нарушение структурных связей с резким ухудшением механических свойств. К структурно-неустойчивым грунтам относятся илы, торфы, заторфованные грунты, техногенные отложения.

3.12 **уравнение Мора-Кулона:** Соотношение компонентов напряжений, описывающее придельное напряжённое состояние в точке (элементарном объёме) грунтовой среды.

3.13 **устои с совмещёнными функциями:** Устои мостовых сооружений, совмещающие функции восприятия горизонтального давления грунта засыпки и опирания пролётного строения.

3.14 **устои с раздельными функциями:** Устои мостовых сооружений, состоящие из подпорной стенки, воспринимающей горизонтальное давление грунта, и опоры, на которую опирается пролётное строение.

Термины **надёжность строительного объекта (безотказность), предельное состояние, срок службы строительного объекта** применяются в соответствии с определениями, принятыми в ГОСТ 27751, термин **долговечность** – в соответствии с определением, принятым в ГОСТ 33178.

4 Основные обозначения и сокращения

Обозначения в разделе 8 «Долговечность и антикоррозийная защита»

$\delta_{пр}$ – проектная толщина стенок стальных труб (мм);

$\delta_{расч}$ – расчётная толщина стенок стальных труб (мм);

$\delta_{кор}$ – уменьшение толщины стенок стальных труб в результате коррозии (мм).

Обозначения в разделе 9 «Расчёт конструкций из ШТС»

A, I, W – расчётные геометрические характеристики сечения, приведенные к 1-му погонному метру трубошпунта: площадь, момент инерции, момент сопротивления крайнего волокна ($см^2$/м, $см^4$/м, $см^3$/м);

A_D, I_D, W_D – геометрические характеристики сечений полых труб с учётом коррозионного износа ($см^2$, $см^4$, $см^3$);

D – внешний диаметр трубы (мм);

a – расстояние в свету между трубами (мм);

A_{red}, I_{red} – приведенные к стали площадь и момент инерции сечений труб, заполненных железобетоном ($см^2$, $см^4$);

E_s – модуль упругости стали и арматуры (МПа);

E_b – модуль упругости бетона заполнения внутренней полости труб (МПа);

n_{sb} – отношение модулей упругости стали и бетона;

A_{tot} – площадь сечения рабочей арматуры железобетона заполнения внутренней полости труб (см^2);

γ – удельный вес грунта (кН/м^3);

φ – угол внутреннего трения грунта (градус);

c – удельное сцепление грунта (кПа);

p_v – вертикальное давление грунта за задней гранью подпорной стенки (кПа);

p_{zg} – природное давление грунта основания со стороны передней грани подпорной стенки (кПа);

p_a – активное давление грунта на заднюю грань подпорной стенки (кПа);

p_n – пассивное давление грунта на переднюю грань подпорной стенки (кПа);

p_z – контактные давления шпунтовой стенки (сваи) и грунтового основания (кПа);

y_z – совместные перемещения шпунтовой стенки (сваи) и грунтового основания (м);

C_z – коэффициент постели, выражающий отношение контактных давлений и совместных перемещений шпунтовой стенки (сваи) и грунтового основания (кН/м^3);

K – коэффициент пропорциональности с размерностью кН/м^4, принимаемый в зависимости от вида грунта;

z_O – координата длины стенки, отсчитываемая от поверхности основания (м);

P – расчётная вертикальная нагрузка на 1 погонный метр трубошпунтовой подпорной стенки (кН/м);

N – расчётная вертикальная нагрузка на трубу в составе трубошпунтовой подпорной стенки (кН).

Основные сокращения

ИГЭ – инженерно-геологический элемент грунтового основания;

КЭ – конечный элемент;

МКЭ – метод конечных элементов;

ПОС – проект организации строительства;

ППР – проект производства работ;

ПС – предельное состояние;

СТО – стандарт организации;

ТУ – технические условия;

ШТС – шпунт трубчатый сварной.

5 Общие положения

5.1 Стальные трубчатые сварные шпунты (ШТС) состоят из стальной трубы и приваренных к ней замковых соединений. Внутренняя полость трубы заполняется песчано-цементной смесью, монолитным железобетоном или на части длины трубы в пределах основания сохраняется грунтовое ядро.

В Российской Федерации освоено производство ШТС в соответствии с национальный стандартом ГОСТ Р 52664. Сортамент конструкций ШТС включает набор вариантов профилей, обеспечивающий эффективное использование их несущей способности и геометрической формы применительно к условиям различных проектов.

Конструкции ШТС обеспечивают экономичность и технологичность инженерных решений в связи с высокой эффективностью использования стали, высоким уровнем заводской готовности и антикоррозийной защиты, прочностью и простотой выполнения стыковых соединений, пригодностью к скоростному строительству и производству работ в стеснённых условиях.

5.2 Настоящие Методические рекомендации предназначены для использования при применении ШТС в качестве элементов капитальных инженерных сооружений в составе автомобильных дорог, относящихся к классам сооружений КС-2, КС-1 в соответствии с ГОСТ 27751, 1-й и 2-й геотехнической категории сложности проектирования в соответствии с СП 22.13330, на территориях (площадках проектирования) с сейсмичностью до 9 баллов в соответствии с СП 14.13330.

Надёжность, безотказность, безопасная эксплуатация, долговечность дорожных инженерных сооружений с конструкциями из ШТС обеспечиваются следующими средствами:

– разработкой и математическим описанием расчётных схем, отражающих условия восприятия действующих нагрузок и силовых воздействий;

– видами и критериями предупреждаемых расчётами предельных состояний, отражающими формы разрушения и деформирования;

– применением коэффициентов надёжности, условий работы, сочетаний нагрузок в соответствии с действующими ГОСТами и сводами правил;

– соблюдением норм проектирования и конструктивных требований в соответствии с действующими ГОСТами и сводами правил;

– требованиями к прочности грунтов оснований, в которых допускается устройство фундаментных конструкций ШТС;

– техническими требованиями к конструкциям заводского изготовления, описаниями рекомендуемых конструктивно-технологических решений, антикоррозийной защиты, строительных технологий, системы наблюдений и содержания эксплуатируемых объектов.

6 Конструкции заводского изготовления. Технические требования

6.1 Профили ШТС изготавливаются из стальных бесшовных горячекатаных труб по ГОСТ 8732 и электросварных прямошовных труб по ГОСТ 10704, ГОСТ 10706, ГОСТ 20295, к которым сварными соединениями крепят шпунтовые замки. Сортамент труб диаметром 530–1420 мм принимается в соответствии с ГОСТ 52664.

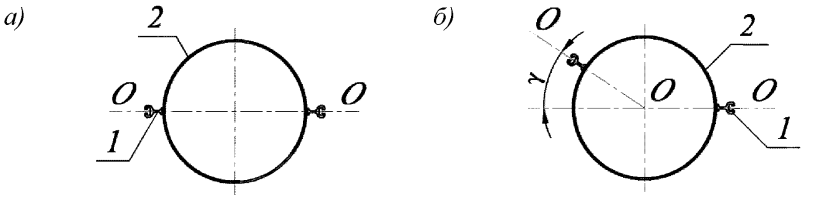
Применение электросварных спиральношовных труб в соответствии с ГОСТ 8696 и ГОСТ 20295 допускается в сортаменте в соответствии с ГОСТ 52664 для строительства дорожных подпорных стенок и подпорных стенок в составе устоев с раздельными функциями.

Маркировка шпунта состоит из следующих позиций: ШТС, D – диаметр в мм, δ – толщина стенки в мм, марка замка, ГОСТ или Технические условия на изготовление трубошпунта. Например: ШТС–820×10–3СГ1** ТУ 5264–017–13512256–2016.

Диаметры, толщины стенок и геометрические характеристики сечений труб представлены в таблице А1 приложения А.

Замковые соединения могут располагаться в соответствии со схемами на рисунке 1 в диаметральной плоскости или в радиальных плоскостях под требуемым углом.

Замковые соединения могут привариваться к трубам на части их длины.



а – положение замков при диаметральном расположении; *б* – положение замков в радиальных плоскостях;

1 – замок; 2 – труба; О-О – ось шпунтового ряда; γ– угол поворота шпунтового ряда

Рисунок 1 – Положение замков на обычном и угловом шпунтовых профилях

6.2 Для изготовления труб в составе ШТС мостовых и дорожных сооружений допускается применение сталей марок, предусмотренных в ГОСТ 52664.

Для элементов замковых соединений следует применять стали марок предусмотренных в СП35.13330.

Тип исполнения стальных конструкций (обычное, северное А, северное Б) следует назначать в зависимости от минимальной расчётной температуры согласно п. 8.1 (таблица 8.1) СП 35.13330.

Прокат из стали всех марок, применяемых для изготовления конструкций ШТС, должен поставляться с гарантией свариваемости.

Качество применяемых конструкций ШТС должно удостоверяться сертификатом (паспортом) предприятия-изготовителя.

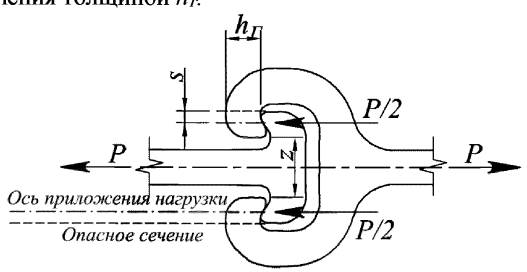
6.3 Рекомендуемый сортамент замковых соединений для изготовления ШТС представлен в таблице Б1 приложения Б.

Допускается применение замковых соединений, не приведённых в приложении Б, при условии обеспечения несущей способности на разрыв не менее 1500 кН/м.

6.4 Величину разрывного усилия в замковых соединениях ШТС следует определять по результатам заводских испытаний. В замковых соединениях, соответствующих схеме на рисунке 2, допускается определять величину расчётного разрывного усилия $P_{разр}$ (кН) на участке длиной L = 1 м = 1000 мм по формуле, полученной из условия отгиба головок,

$$P_{разр} = \frac{0,001 R_y L h_г^2}{3s} \quad (1)$$

где R_y, МПа – расчётное сопротивление стали замкового соединения, $h_г$ – минимальная толщина концов головок профилей, образующих замковое соединение ($h_г$=12; 10; 8 мм), s, мм – расстояние от линии действия силы, $P = ½ P_{разр}$ до сечения толщиной $h_г$.



z – раскрытие зева замка

Рисунок 2 – Схема к расчёту разрывного усилия замкового соединения

Сечения сварных швов, соединяющих трубы и замковые соединения, определяются по условию равенства их сопротивления срезу величине разрывного усилия в замке.

6.5 Отклонение размеров и формы шпунтовых профилей от номинальных значений не должны превышать предельных значений, указанных в ГОСТ Р 52664.

6.6 Допускается использовать трубы и прокат для замков с поперечными стыками. Число поперечных стыков в трубе шпунтовой сваи не должно превышать:

- одного при длине профиля менее 12 м,
- двух при длине профиля от 12 до 24 м,
- четырёх при длине от 24 до 42 м,
- пяти при длине от 42 до 48 м.

Минимальное расстояние от торца трубы до ближайшего к нему стыка 1 м. Расстояние между стыками должно быть не менее 3 м.

При наличии поперечного шва продольные швы стыкуемых частей прямошовных труб должны быть смещены один относительно другого в соответствии с ГОСТ 10706.

6.7 Для сооружения дорожных подпорных стен и подпорных стенок в составе устоев с раздельными функциями допускается использовать трубы по ГОСТ 10704, ГОСТ 10706, ГОСТ 8732, ГОСТ 20295, бывшие в употреблении и прошедшие входной контроль в соответствии с требованиями ГОСТ Р 52664 (п. п. 5.7, 6.3, 7.1).

6.8 Сварочные материалы, требования к качеству сварных соединений, методы и объём контроля сварных соединений при изготовлении шпунтовых замков и ШТС назначаются в соответствии с [1].

6.9 Антикоррозионное покрытие конструкций ШТС выполняется в соответствии с указаниями раздела 8 настоящих Методических рекомендаций.

6.10 В рабочей документации (чертежи КМ) на конструкции ШТС должны содержаться следующие данные:

- полные длины, толщины стенок и участки труб по длине, на которых крепятся (привариваются) замковые соединения;
- конструкции замковых соединений, их длина и положение по высоте трубы и в радиальных плоскостях (рисунок 1);
- марки сталей труб и замковых соединений;
- категория и тип сварных швов по классификации [1];

– места расположения поперечных швов и указания по взаимному смещению продольных швов прямошовных труб в соответствии с ГОСТ 10706;

– описание антикоррозионного покрытия;

– схема и конструкция строповочных приспособлений.

6.11 Каждая партия шпунтовых свай, поступающая на строительную площадку, должна сопровождаться документацией (паспортом) согласно требованиям ГОСТ 52664 и иметь сертификаты соответствия согласно требованиям Федерального закона «О техническом регулировании» (№ 184-ФЗ, глава 4).

Партией считают профили, отгружаемые на неделимую единицу транспортных средств (баржу, сцеп платформ, тягач с прицепом и т.д.).

Документ о качестве ШТС должен содержать:

– наименование предприятия-изготовителя и его товарный знак;

– наименование предприятия-потребителя;

– номер заказа или контракта;

– дату выписки документа о качестве;

– обозначение стандарта или ТУ, в соответствии с которым выполнено изделие;

– условное обозначение шпунта;

– информацию о химическом составе и механических свойствах стали (по данным предприятия-поставщика или по результатам испытаний образцов стали);

– длину и массу одного шпунтового профиля;

– общее число и массу поставленных шпунтовых профилей;

– тип антикоррозионного покрытия и его характеристики;

– штамп службы технического контроля.

К документу о качестве прилагают:

– ведомость документов о качестве материалов, примененных для изготовления шпунта;

– опись дипломов (удостоверений) о квалификации газорезчиков и сварщиков, изготовивших шпунт;

– ведомость результатов контроля качества сварных соединений.

7 Конструктивно-технологические решения.

Указания по проектированию

7.1 В настоящих Методических рекомендациях рекомендуются устои мостовых сооружений и дорожные подпорные стенки однорядных систем со следующими высотами и схемами на рисунке 3:

– устои мостовых сооружений с высотой подходной насыпи до 8 м с совмещёнными и раздельными функциями опирания крайнего пролётного строения и удержания в вертикальном положении передней грани засыпки (подходной насыпи);

– подпорные стенки высотой до 8 м, ограничивающие горизонтальное заложение откоса конуса мостового сооружения;

– дорожные подпорные стенки высотой до 8 м, ограничивающие заложение откоса насыпи земляного полотна;

– подпорные стенки высотой до 8 м рамповых участков тоннелей;

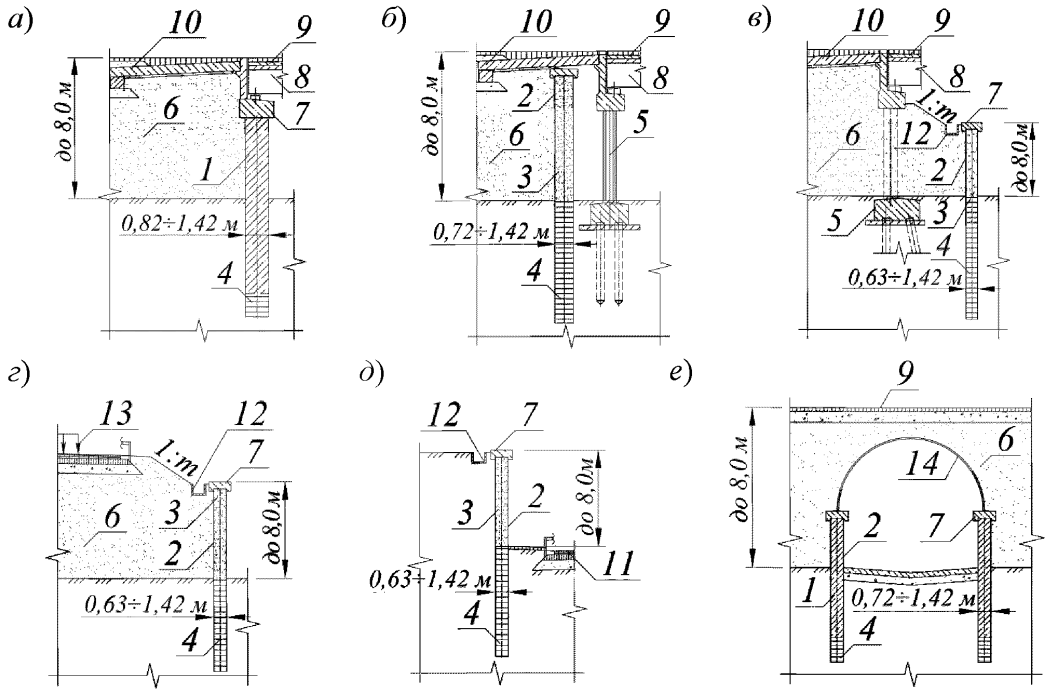
– засыпные сводчатые водопропускные сооружения с опорами из ШТС, устраиваемые в насыпях высотой до 8 м.

Указанные выше высоты сооружений из ШТС могут быть увеличены с 8 до 10 м в случае устройства на части высоты подпорной стенки армогрунтовой системы в соответствии с п. 7.2.

Высота подпорной стенки, удерживающей вертикальную грань дорожной выемки, может доводиться до 12 м при условии, что борт выемки сложен связными грунтами, и грунт за счёт сцепления удерживает вертикальную свободную от активного давления грань на высоту (h_c) не менее половины общей высоты стенки:

$$h_c = \frac{2c_I}{\gamma_I \cdot tg(45° - \frac{\varphi_I}{2})}, \quad (2)$$

где γ_I – расчётный удельный вес, φ_I – расчётный угол внутреннего трения, c_I – расчётное удельное сцепление грунта борта выемки.

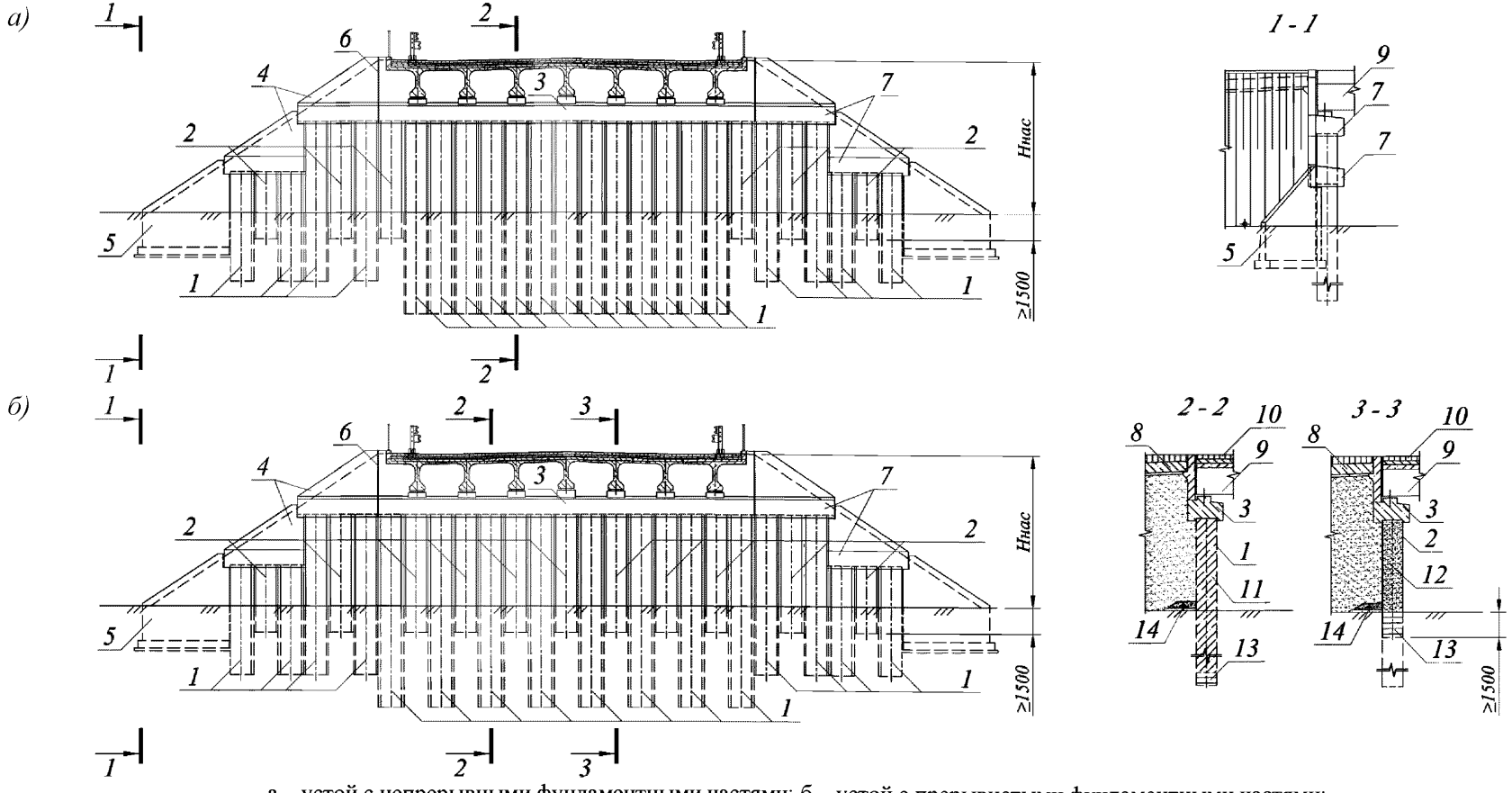


а, б – мостовые устои с совмещёнными и раздельными функциями; в – подпорная стенка, ограничивающая заложение конуса моста; г – дорожная подпорная стенка; д – подпорная стенка рампового участка тоннеля; е – водопропускное сооружение из гофрированной стали;

1 – трубошпунт, заполненный железобетоном; 2 – трубошпунтовая подпорная стенка; 3 – заполнение песчано-цементной смесью; 4 – грунтовое ядро; 5 – опора (устой) моста; 6 – земляное полотно дороги, засыпка за устоем; 7 – оголовок устоя, железобетонная насадка; 8, 9 – пролётное строение и дорожная одежда; 10 – переходная плита; 11 – проезжая часть; 12 – водоотводной лоток; 13 – временная нагрузка; 14 – конструкции из гофрированного металла

Рисунок 3 – Схемы дорожных инженерных сооружений из ШТС

На рисунке 4 приведены варианты компоновки конструкций мостовых устоев из ШТС: с устройством непрерывных и прерывистых (включающих незаглубленные элементы) фундаментных частей, назначаемых по расчёту в соответствии с действующими нагрузками и в зависимости от высоты сооружения.



а – устой с непрерывными фундаментными частями; б – устой с прерывистыми фундаментными частями;
1 – несущие (заглубленные) ШТС; 2 – незаглубленные элементы ШТС; 3 – оголовок устоя; 4 – железобетонная стенка; 5 – открылок;
6 – деформационный шов; 7 – железобетонная насадка; 8 – переходная плита; 9 – пролётное строение; 10 – дорожная одежда; 11 – заполнение железобетоном; 12 – заполнение песчано-цементной смесью; 13 – грунтовое ядро; 14 – дренаж

Рисунок 4 – Примеры (общие виды) устоев мостовых сооружений с применением ШТС

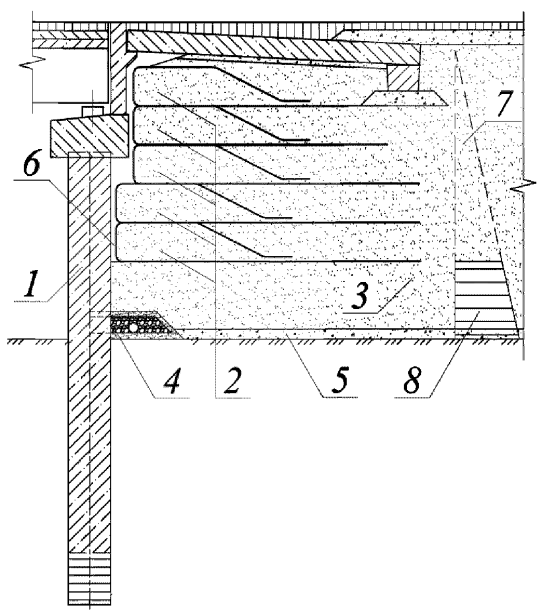
Незаглубленные элементы ШТС должны быть погружены в основание на расчётную глубину промерзания, но не менее 1,5 м.

Допускается устройство подпорных стенок с использованием ШТС с трубами разных диаметров.

7.2 При необходимости (или целесообразности) уменьшения горизонтального давления грунта на заднюю грань подпорной стенки из ШТС рекомендуется устройство армогрунтовой системы, состоящей из заполненных песком объёмных оболочек из геотекстиля (рисунок 5).

Использование армогрунтовых систем в соответствии с рисунком 5 рекомендуется в качестве сейсмоизолирующих элементов.

Примечание – В настоящих Методических рекомендациях не рассматриваются вопросы проектирования опоры мостового сооружения в составе устоя с раздельными функциями и армирования грунта насыпей за подпорными стенками.



1 – конструкции ШТС; 2 – объёмные оболочки из геотекстиля; 3 – засыпка из дренирующего грунта; 4 – дренаж; 5 – основание из щебня h=0,2 м; 6 – зазор шириной 100–150 мм; 7 – «снятая» часть эпюры горизонтального давления; 8 –эпюра горизонтального давления

Рисунок 5 – Способ уменьшения горизонтального давления грунта на конструкции ШТС при помощи армогрунтовой системы

7.3 Внутренние полости труб в составе ШТС должны быть заполнены. Заполнение внутренней полости может быть образовано грунтовым ядром, оставляемым в нижней части трубы после погружения до проектной отметки, песчано-цементной смесью (в соотношении 5:1), монолитным бетоном или железобетоном.

Арматурные каркасы при заполнении внутренней полости железобетоном должны иметь кольца жёсткости в соответствии с требованиями СП 24.13330 и фиксаторы, обеспечивающие проектное положение каркаса в трубе.

Конструкция и высота каждого вида заполнения, в том числе высота грунтового ядра, назначается по расчёту и должна быть описана в проекте с указанием отметок верхних и нижних границ слоёв. Не допускается оставление пустот и заполнение внутренней полости насыпным грунтом (в том числе песком) вместо песчано-цементной смеси.

7.4 При переломах осей подпорных стенок (в плане) вертикальная ось угловой трубы (с замковыми соединениями на радиальных плоскостях, см. рисунок 1) должна располагаться на пересечении плоскостей симметрии участков подпорной стенки.

7.5 В соответствии с п. 5.74 СП 35.13330 отсыпку насыпей за устоями мостовых сооружений на длину поверху не менее высоты насыпи плюс 2 м и понизу на уровне поверхности основания – не менее 2 м следует предусматривать из песчаного или другого дренирующего грунта с коэффициентом фильтрации (после уплотнения) не менее 2-х метров в сутки с обеспечением коэффициента уплотнения 0,98.

Для отсыпки насыпей за трубошпунтовыми дорожными подпорными стенками следует использовать грунты с допустимой влажностью в соответствии с таблицей В.12 приложения В СП 34.13330. Грунт не должен содержать органических водорастворимых включений.

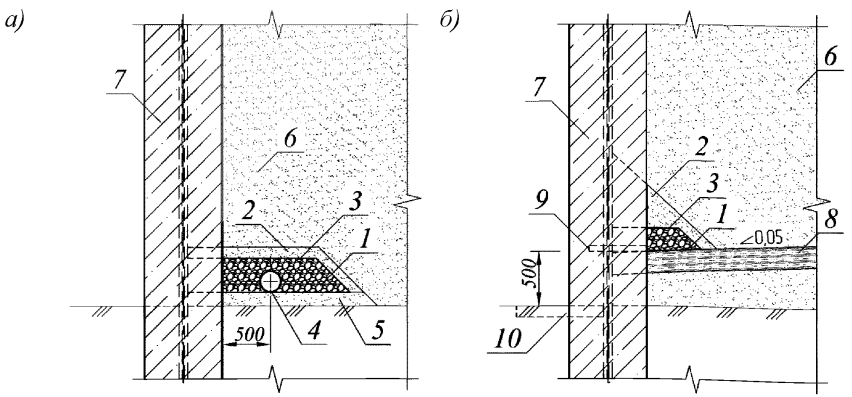
Для засыпки пазух за дорожными подпорными стенками следует использовать песчаные грунты с коэффициентом фильтрации не менее 0,5 метра в сутки с обеспечением коэффициента уплотнения 0,95.

7.6 Подпорные стенки, сооружаемые с применением конструкций ШТС должны иметь застенный трубчатый или кучевой дренаж, предназначенный для отвода воды с целью исключения гидростатического давления на стенку, уменьшения влажности грунтов засыпки и предупреждения развития коррозии.

Трубчатый дренаж (рисунок 6, *а*) устраивается в виде перфорированной трубы (коллектора) диаметром 200÷300 мм (в зависимости от ожидаемого расхода воды), проложенной в крупнозернистой засыпке. Длина трубчатого дренажа не должна превышать 50 м. Коллектор должен располагаться на хорошо уплотнённом основании из песка с продольным уклоном от 0,002 до 0,003.

Кучевой дренаж (рисунок 6, *б*) устраивается в виде призмы из слоёв щебенистого, галечникового, дресвяного грунта различной крупности, укладываемой с продольным уклоном не менее 0,04. В основании дренажа должна быть устроена подготовка из слоя жирной глины. Для предотвращения заиливания крупнозернистую засыпку следует отделять геотекстилем.

Вода отводится через отверстия в пластинчатых элементах замковых соединений трубошпунта при помощи трубок диаметром 40 мм. Отверстия устраиваются с шагом 2÷3 м на расстоянии по высоте не менее 0,5 м от дна кювета или от планировочной поверхности.

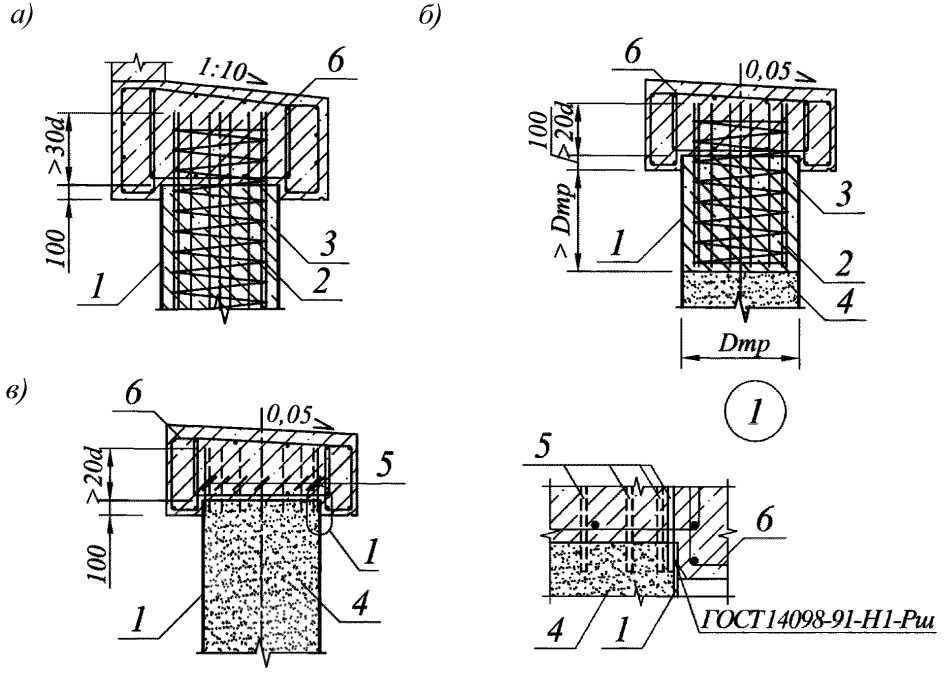


1 – разнофракционный щебень; 2 – гравелистый песок; 3 – геотекстиль; 4 – коллектор (перфорированная труба диаметром 200÷300 мм); 5 – основание из дренирующего грунта; 6 – насыпь (засыпка за устоем); 7 – подпорная стенка (устой моста); 8 – жирная глина; 9 – дренажное отверстие; 10 – железобетонный лоток

Рисунок 6 – Поперечные сечения трубчатого (*а*) и кучевого (*б*) дренажа

7.7 Верхние концы ШТС в составе подпорных стенок объединяются монолитными железобетонными насадками с поперечными сечениями и

схемами армирования в соответствии с рисунком 7. Деформационные швы в монолитных железобетонных насадках следует устраивать над замковыми соединениями не реже, чем через 20 м.



1 – трубошпунт; 2 – арматурный каркас; 3 – бетон; 4 – заполнение песчано-цементной смесью; 5 – арматурные стержни; 6 – армирование оголовка; d – диаметр арматуры

Рисунок 7 – Примеры оголовка устоя моста с совмещёнными функциями (*а*), железобетонной насадки подпорной стенки (*б, в*)

7.8 Относительное смещение по высоте поперечных сварных швов соседних труб должно быть не менее 2-х метров, а положение поперечных швов на одном уровне допускается не чаще, чем в каждой третьей трубе (шпунтовой свае) ряда.

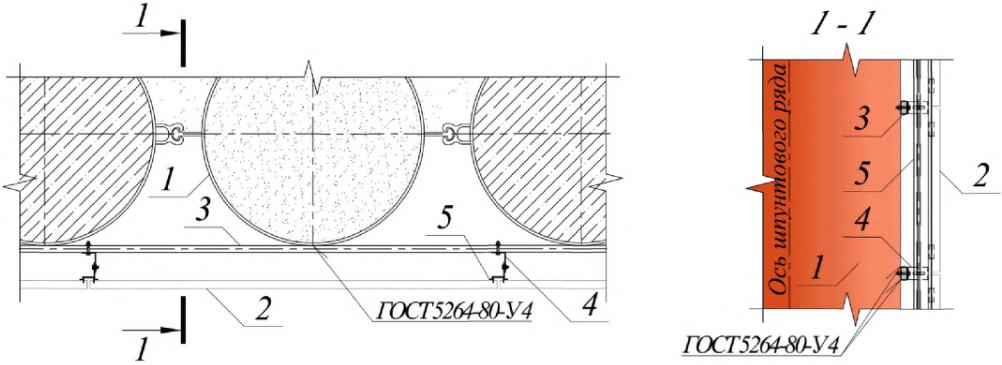
7.9 При наличии подпора воды более 0,5 м следует предусматривать герметизацию замковых соединений путём инъектирования битумных или полиуретановых герметиков.

Допускаются другие способы герметизации замковых соединений, в том числе сваривание замковых соединений.

Герметизацию замковых соединений рекомендуется производить с тыловой стороны шпунтового ряда, начиная с уровня на 0,25 м ниже планировочной отметки земли, до уровня на 0,25 м выше уровня расчётного подпора воды.

При обеспеченности отвода воды герметизация замковых соединений не производится.

7.10 Для улучшения архитектурного вида сооружений из трубошпунта рекомендуется применение облицовок из керамогранита, железобетона или композитных алюминиевых панелей. Пример крепления облицовки к конструкциям ШТС приведён на рисунке 8.

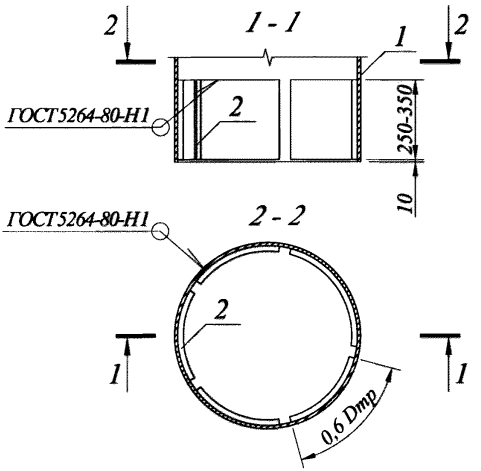


1 – трубошпунт; 2 – облицовка из композитных алюминиевых панелей; 3 – профилированная труба; 4 – кронштейн несущей системы; 5 – направляющая несущей системы

Рисунок 8 – Пример выполнения облицовки из композитных алюминиевых панелей

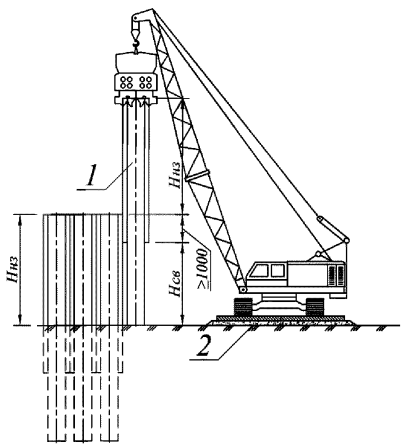
7.11 При погружении ШТС в труднопроходимые грунты нижние концы труб усиливаются внутренними кольцами из дугообразных элементов трубы того же диаметра в соответствии с рисунком 9.

7.12 При проектировании конструкций ШТС необходимо обеспечить надёжное соединение частей замкового соединения соседних шпунтовых свай. Свободная от замковых соединений нижняя часть труб (если она предусмотрена проектом) должна быть короче надземной части ШТС не менее чем на 1,0 м (рисунок 10).



1 – трубошпунт; 2 – усиливающая накладка

Рисунок 9 – Усиление нижнего конца ШТС



1 – трубошпунт; 2 – планировочная поверхность земли; $H_{нз}$ – высота надземной части сваи; $H_{св}$ – высота свободной от замков части погружаемой сваи

Рисунок 10 – Погружение шпунтовой сваи

8 Долговечность и антикоррозийная защита

8.1 При проектировании дорожных инженерных сооружений из ШТС следует руководствоваться требованиями прочности (безотказности) и безопасной эксплуатации (долговечности) в соответствии с ГОСТ 33178.

8.2 Выполнение требований безотказности и долговечности обеспечивается сочетанием следующих мероприятий:

– увеличением толщины стенки (уменьшением расчётной толщины стенки по сравнению с проектной) элементов ШТС с учётом коррозионного износа;

– применением защитных антикоррозионных лакокрасочных покрытий;

– применением электрохимической (катодной) защиты.

8.3 Проектная толщина стенок $\delta_{пр}$ (мм) стальных труб принимается с учётом коррозионного износа за период эксплуатации после истечения срока службы антикоррозионного покрытия:

$$\delta_{пр} = \delta_{расч} + \delta_{кор}, \quad (3)$$

где $\delta_{расч}$ – расчётная толщина стенок, $\delta_{кор}$ – уменьшение толщины стальных труб в результате коррозии.

При заполненной внутренней полости труб бетоном, железобетоном, песчано-цементной смесью, грунтовой пробкой допускается считать коррозию односторонней – только с внешней стороны.

Уменьшение толщины стальных труб в результате коррозии $\delta_{кор}$ за период времени после истечения срока службы антикоррозионного покрытия допускается принимать равным 1 мм.

8.4 Антикоррозионное покрытие внешних поверхностей труб и замковых соединений должно наноситься на подготовленные поверхности с использованием лакокрасочных материалов, обеспечивающих срок службы не менее 15 лет.

Лакокрасочная система и требования к подготовке окрашиваемой поверхности в соответствии с ГОСТ 9.402 должны быть описаны в рабочей документации.

Антикоррозионное покрытие должно быть выполнено без пропусков, трещин сколов, пузырей, морщин и других дефектов, оказывающих влияние на защитные свойства.

В случае повреждения антикоррозионного покрытия, выполненного в заводских условиях, допускается его восстановление на объекте при обеспечении подготовки окрашиваемой поверхности в соответствии с требованиями завода-изготовителя и использования лакокрасочных материалов, обеспечивающих требуемый срок службы.

8.5 Электрохимическая защита может предусматриваться в конструкциях из трубошпунта совместно с лакокрасочными покрытиями. Проектирование и выполнение электрохимической защиты поручается специализированным предприятиям.

9 Расчёты конструкций из ШТС

9.1 Расчёты при проектировании конструкций из ШТС в составе инженерных сооружений на автомобильных дорогах выполняются по методам, описание которых содержится в приложениях В и Г:

– по инженерному методу с расчётной схемой, сочетающей теории предельного напряжённого состояния грунта и метода местных упругих деформаций с треугольной формой распределения коэффициента постели;

– по методу конечных элементов с использованием упруго-пластической модели грунта.

Расчёт по инженерному методу следует применять в качестве основного при проектировании всех дорожных инженерных сооружений с использованием ШТС. Метод расчёта с применением МКЭ и упругопластической модели грунта рекомендуется применять дополнительно к расчётам по инженерному методу при проектировании мостовых устоев с совмещёнными функциями, в других случаях в качестве контрольных расчётов.

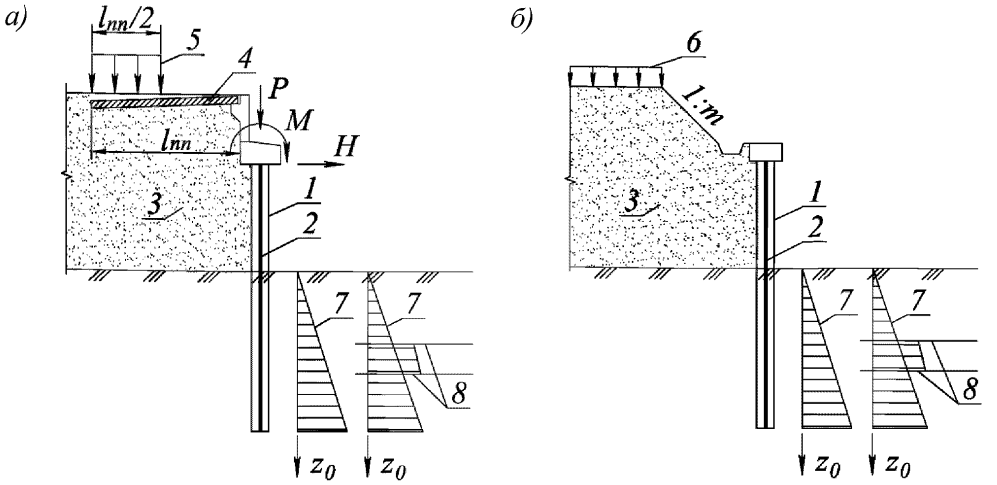
9.2 В расчётных схемах методов, указанных в п. 9.1, применяются нормы и теоретические положения, принятые в стандартах ГОСТ 25100, ГОСТ 12248, ГОСТ 20522 и сводах правил СП 22.13330, СП 24.13330, СП 35.13330:

– уравнение закона Кулона и условие прочности грунтов Мора-Кулона,

– расчётная модель метода местных упругих деформаций с треугольной формой распределения коэффициента постели.

При расчётах активного и пассивного давления грунта трение на контактных поверхностях вертикальных граней трубошпунтовой подпорной стенки и грунта засыпки и основания не учитывается. Касательные напряжения на указанных поверхностях принимаются равными нулю.

9.3 Расчёты по методам, указанным в п. 9.1, выполняются в соответствии с условиями плоской задачи (плоской деформации). Расчётная область (рисунок 11), представляет собой фрагмент проектируемого сооружения шириной 1 м, ограниченный боковыми вертикальными гранями.



а – расчётная схема устоя мостового сооружения; *б* – расчётная схема дорожной подпорной стенки;

1 – устой (подпорная стенка); *2* – плоский стержень; *3* – засыпка за устоем, земляное полотно дороги; *4* – переходная плита; *5* – временная вертикальная нагрузка на переходной плите; *6* – временная дорожная вертикальная нагрузка; *7* – распределение коэффициента постели в однородном и слоистом основаниях, $C_z=Kz_O$; *8* – границы геологических слоёв

Рисунок 11 – Расчётные схемы дорожных инженерных сооружений из ШТС

На расчётных схемах трубошпунтовые подпорные стенки 1 заменяются плоскими стержнями конечной жёсткости 2. Геометрические характеристики

площади сечения (A, см^2/м), момента инерции (I, см^4/м), момента сопротивления (W, см^3/м) в пересчёте на 1 погонный метр трубошпунтовой стенки определяются в зависимости от геометрических характеристик сечений труб.

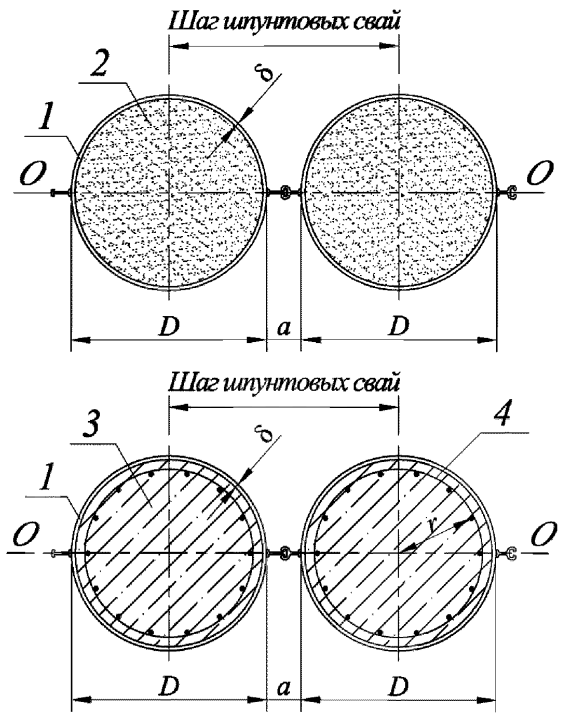
При заполнении труб песчано-цементной смесью или грунтовым ядром

$$A = \frac{1000}{D+a} A_D \; ; \qquad I = \frac{1000}{D+a} I_D \; ; \qquad W = \frac{1000}{D+a} W_D \; , \tag{4}$$

где A_D, I_D, W_D – геометрические характеристики сечений полых труб с толщиной стенок $\delta_{расч}$ с учётом коррозионного износа (п. 8.3), D и a– размеры (мм) на рисунке 12, *а*.

а)

б)



а – конструкция ШТС с трубой, заполненной песчано-цементной смесью или грунтовым ядром; б – конструкция ШТС с трубой, заполненной железобетоном

D – диаметр шпунтовых свай; а – расстояние между трубами в свету;
δ – толщина стенки трубы; О-О – ось шпунтового ряда;

1 – конструкция ШТС; 2 – песчано-цементная смесь (грунтовое ядро); 3 – монолитный железобетон, 4 – арматурный каркас

Рисунок 12 – Схемы сечений трубошпунтовых стенок

При заполнении труб монолитным бетоном или железобетоном

$$A = \frac{1000}{D+a}\mathrm{A}_{red}, \qquad I = \frac{1000}{D+a} I_{red} \tag{5}$$

где A_{red}, I_{red} – приведенные к стали площадь и момент инерции сечений труб, определяемые по следующим формулам

$$A_{red} = \frac{\pi D^2}{4n_{sb}} + \frac{n_{sb}-1}{n_{sb}} A_D + A_{tot}, \quad I_{red} = \frac{\pi D^4}{64n_{sb}} + \frac{n_{sb}-1}{n_{sb}} I_D + \frac{1}{2} A_{tot} r^2, \tag{6}$$

$n_{sb}=E_s/E_b$ – отношение модулей упругости стали и бетона, A_{tot} – площадь сечения рабочей арматуры железобетона заполнения, r – радиус арматурного каркаса (рисунок 12, *б*).

9.4 Условие прочности в соответствии с уравнением Мора-Кулона устанавливает следующие соотношения напряжений в точке (элементарном объёме) грунта

$$\frac{\sigma_1-\sigma_2}{2} - \frac{\sigma_1+\sigma_2}{2} sin\varphi - c \cdot cos\varphi = 0, \tag{7}$$

где σ_1, σ_2 – главные напряжения в точках (элементарных объёмах) грунта насыпи (засыпки за подпорной стенкой) и основания, φ, c – характеристики сопротивления грунта сдвигу: угол внутреннего трения и удельное сцепление.

Примечание – В уравнении (7) главные напряжения, $\sigma_{1,2}$ являются сжимающими и учитываются со знаком «+».

9.5 Активное p_a и пассивное p_n давление грунта на вертикальные грани шпунтовой подпорной стенки определяются на основании уравнения (7) в зависимости от вертикального давления p_v грунта за задней гранью подпорной стенки и природного давления p_{zg} грунта основания со стороны передней грани подпорной стенки.

При определении активного давления σ_2 заменяется на p_a, σ_1 – на p_v:

$$p_a = p_v \frac{(1-sin\,\varphi)}{(1+sin\,\varphi)} - 2c\frac{cos\,\varphi}{(1+\sin\varphi)} = p_v tg^2\left(45° - \frac{\varphi}{2}\right) - 2c \cdot tg(45° - \frac{\varphi}{2}), \tag{8}$$

При определении пассивного давления со стороны передней грани подпорной стенки из ШТС в основании σ_1 заменяется на p_n, σ_2 – на природное давление p_{zg}:

$$p_n = p_{zg}\frac{(1+sin\,\varphi)}{(1-sin\,\varphi)} + 2c\frac{cos\,\varphi}{(1-\sin\varphi)} = p_{zg}tg^2\left(45° + \frac{\varphi}{2}\right) + 2c \cdot tg(45° + \frac{\varphi}{2}). \quad (9)$$

Формулы, описывающие вертикальное давление p_v и природное давление p_{zg}, содержатся в приложении В.

9.6 Расчётная модель метода местных упругих деформаций основана на решении контактной задачи со следующими допущениями:

– плоский стержень, заменяющий на расчётной схеме трубошпунтовую подпорную стенку, изгибается (деформируется) совместно с грунтом основания;

– силовое взаимодействие плоского стержня (трубошпунтовой подпорной стенки) и грунта основания описывается функцией коэффициента постели C_z в соответствии с уравнением

$$C_z = Kz_O, \quad (10)$$

где K – коэффициент пропорциональности с размерностью кН/м^4, принимаемый в зависимости от вида грунта в соответствии с указаниями в приложения В, z_O – координата длины стенки, отсчитываемая от поверхности основания (планировочной поверхности).

Коэффициент постели выражает отношение контактных давлений p_z и совместных горизонтальных перемещений y_z сваи и грунтового основания:

$$C_z = \frac{p_z}{y_z}. \quad (11)$$

Коэффициент пропорциональности K может менять свои значения на границах геологических слоёв в основании.

9.7 Основания дорожных инженерных сооружений с применением ШТС, удерживающих вертикальные грани насыпей, выемок, засыпок за устоями мостовых сооружений, должны удовлетворять следующим требованиям:

– не допускается наличие в основаниях следующих инженерно-геологических элементов: структурно неустойчивых грунтов; текучих

глинистых грунтов; прослоек толщиной более 1,5 м, состоящих из слабых глинистых грунтов, пылеватых песков с коэффициентом пористости более 0,80;

– слои оснований в нижней части ШТС на высоту 5 м (считая от нижнего конца труб) и подстилающие слои на разведанную глубину должны быть сложены скальными, полускальными или дисперсными грунтами с минимальными расчётными значениями прочностных характеристик (φ, c) в соответствии с диаграммами на рисунке 13.

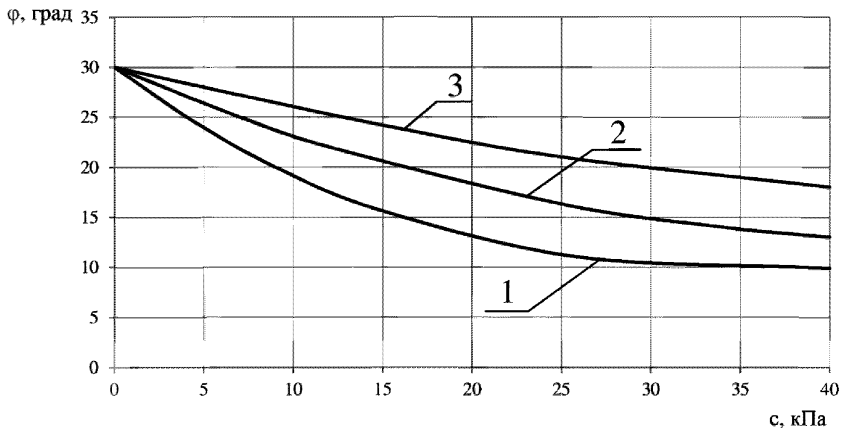


Рисунок 13 – Диаграммы минимальных расчётных значений углов внутреннего трения φ и удельного сцепления c грунтов нижних и подстилающих слоёв оснований подпорных стенок с применением ШТС высотой до 6 м (кривая *1*), от 6 до 8 м (кривая 2), более 8 м (кривая 3)

9.8 Расчёт несущей способности по грунту подпорных стенок из ШТС, воспринимающих вертикальные нагрузки, выполняется в соответствии с указаниями СП 24.13330. При этом следует руководствоваться следующими положениями, отражающими особенности конструкций из ШТС и условий их погружения.

9.8.1 Несущая способность висячих трубошпунтовых свай, погружаемых с открытым нижним концом, определяется в соответствии с СП 24.13330, п. 7.2.10а с использованием расчётного сопротивления грунта под нижними концами труб по п. 7.2.7.

Площадь опирания на грунт трубошпунтовых свай, усиленных стальными кольцами с внутренней стороны, принимается равной площади сечения трубы и стальных колец с учётом потерь от коррозии (сечение «нетто»). При этом трение по боковой поверхности с внутренней стороны стенок трубы учитывается только в пределах высоты колец.

Площадь опирания на грунт нижнего конца висячей трубошпунтовой сваи, погружаемой с открытым нижним концом, заполненной бетоном или железобетоном на полную высоту, принимается равной полной площади сечения трубы, ограниченной его внешним периметром (сечение «брутто»).

При определении несущей способности грунта на вертикальных поверхностях трубошпунтовой сваи, погружаемой с открытым нижним концом, допускается включать в периметр сечения боковые поверхности пластин заглублённой части замковых соединений.

9.8.2 Несущая способность трубошпунтовых свай, погружаемых с закрытым нижним концом, определяется в соответствии с п. 7.2.2 СП 24.13330 с коэффициентом условий работы, учитывающим расположение труб в плоскости шпунтовой стенки на расстоянии $D+a < 3D$,

$$\gamma_d = 0{,}7 + 0{,}3 \times \frac{D+a}{3D} = 0{,}8 + 0{,}1\frac{a}{D} \leq 1{,}0\,, \qquad (12)$$

где D и a – обозначают то же, что в п. 9.3.

9.8.3 Определение несущей способности трубошпунтовых свай, опирающихся на скальный или слабодеформируемый грунт, по п. 7.2.1 СП 24.13330 (по аналогии со сваями-стойками) допускается при условии заполнения внутренней полости бетоном или железобетоном на полную высоту.

9.8.4 При расчёте несущей способности грунта основания в соответствии с п. 7.1.11 СП 24.13330 расчётная нагрузка N в соотношении (7.2) определяется в зависимости от вертикальной нагрузки P на 1 погонный метр трубошпунтовой подпорной стенки по формуле

$$N = \frac{P(D+a)}{1000}. \quad (13)$$

Коэффициент $\gamma_{c.g}$, принимаемый для фундаментов опор мостов и гидротехнических сооружений в размере 1,4–1,75 (1,25–1,6), выбирается в зависимости от числа труб (трубошпунтовых свай) в составе подпорной стенки, воспринимающих вертикальную нагрузку.

9.9 Расчёты по предельным состояниям (ПС) конструкций из ШТС в составе устоев мостовых сооружений и дорожных подпорных стенок включают следующие проверки.

По ПС первой группы:

– расчёт поперечных сечений на изгиб или внецентренное сжатие (если шпунтовая стенка воспринимает кроме горизонтального давления продольную силу);

– расчёт сечений трубы на поперечную силу путём сравнения расчётных и предельных касательных напряжений;

– расчёт прочности при сложном напряженном состоянии точек в сечениях трубы, в которых одновременно действуют нормальные и касательные напряжения;

– расчёт прочности круглых сечений железобетонного заполнения на изгиб, внецентренное сжатие и поперечную силу;

– проверка трубошпунтовой сваи по несущей способности грунта основания;

– проверка конструкций деформационных швов и опорных частей на способность восприятия горизонтальных перемещений устоев в сопряжениях со шкафными стенками и узлах опирания пролётных строений мостовых сооружений.

По ПС второй группы:

– проверка горизонтального перемещения верхнего конца ШТС, которое должно быть не более 1/75 от высоты надземной части подпорной стенки;

Расчёты выполняются в соответствии с указаниями сводов правил СП 16.13330, СП 24.13330, СП 35.13330, СП 63.13330. Рекомендации по выполнению проверок содержатся в приложении В.

9.10 Расчёт конструкций ШТС по особым ПС с учётом сейсмических нагрузок выполняется в соответствии с указаниями СП 14.13330.

Дорожные инженерные сооружения с применением ШТС являются объектами, в которых не допускаются повреждения или неупругие деформации, связанные с сейсмическими явлениями.

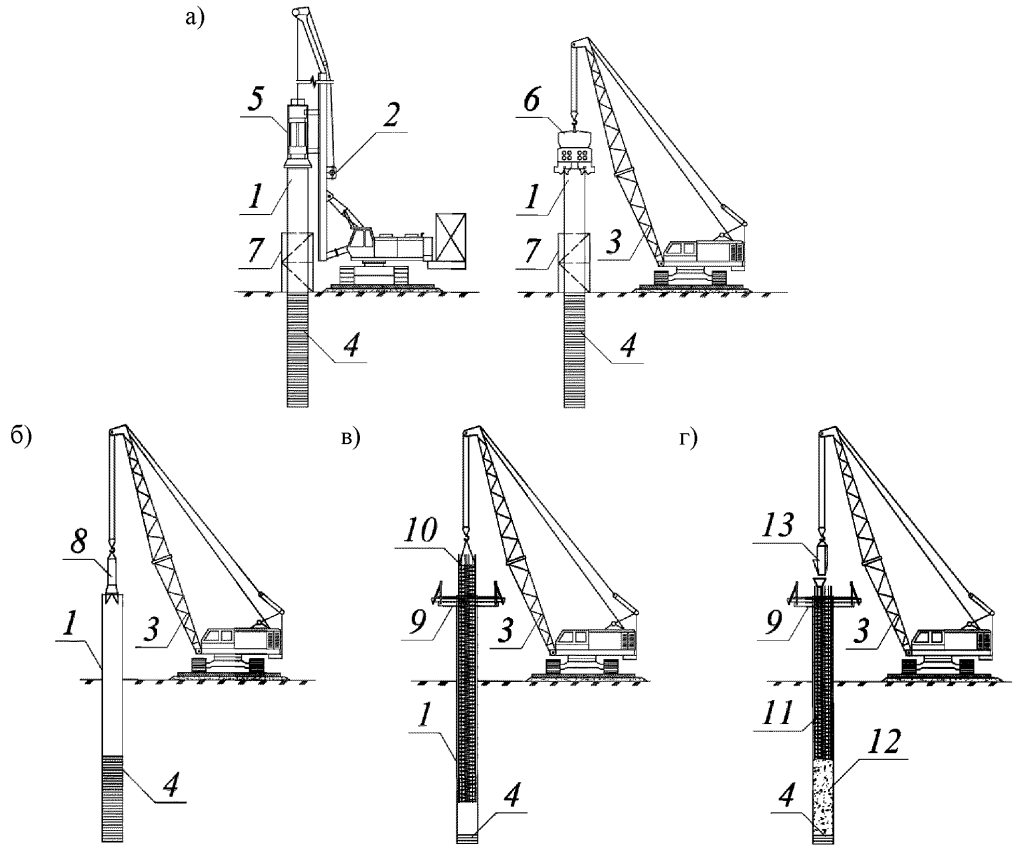
10 Возведение конструкций из ШТС. Строительные технологии, механизмы, техническое оборудование

10.1 Строительство дорожных инженерных сооружений с применением ШТС должно выполняться в соответствии с требованиями СП 45.13330, СП 46.13330, СП 48.13330, настоящих Методических рекомендаций, рабочей документации, ПОС, ППР.

10.2 Возведение конструкций из ШТС состоит из следующих видов работ:

- подготовительные работы;
- погружение трубошпунта;
- извлечение грунта из внутренних полостей труб;
- заполнение внутренних полостей труб;
- герметизация замковых соединений, восстановление повреждений антикоррозионного покрытия ШТС;
- водоотвод и дренаж за задней гранью шпунтовой стенки;
- устройство засыпки за устоем (насыпи за подпорной стенкой), засыпка грунтом пазух;
- устройство шапочного бруса, оголовков устоев и других элементов обстройки, предусмотренных проектом.

Работы по возведению конструкций ШТС выполняются по схемам на рисунке 14.



а – погружение ШТС гидромолотом (вибропогружателем); *б* – извлечение грунта из внутренней полости; *в* – установка арматурного каркаса; *г* – укладка бетонной смеси;

1 – ШТС; 2 – копровая установка; 3 – кран на гусеничном ходу; 4 – грунтовое ядро; 5 – гидромолот; 6 – вибропогружатель; 7 – направляющий каркас; 8 – грейфер; 9 – подвесные рабочие подмости; 10 – арматурный каркас; 11 – бетонолитная труба; 12 – уложенная бетонная смесь; 13 – бадья

Рисунок 14 – Технологическая схема устройства ШТС с заполнением трубы монолитным железобетоном

10.3 Подготовительные работы выполняются в следующем составе:

– проверка наличия комплекта проектно-сметной документации на объекте, ознакомление инженерно-технического персонала с рабочей документацией и ППР;

– разбивка и закрепление главных осей сооружения, вынос в зону работ высотного репера, создание строительной сети, закрепление в натуре строительной площадки;

– устройство строительной площадки: планировка территории, подготовка внутренних проездов, служебно-бытовых помещений, площадок складирования, линий электроснабжения, наружного освещения; устройство подъездных дорог в соответствии с ППР;

– приёмка (входной контроль) и складирование ШТС и других элементов на приобъектном складе;

– подготовка и опробование механизмов и машин (грузоподъёмных средств, молотов, вибропогружателей) и вспомогательных устройств (шаблонов, направляющих, кондукторов);

– подготовка грунтового основания (снятие и складирование растительного слоя), обследование грунтового массива на наличие камней, валунов (в том числе геофизическими методами) в створе погружения ШТС.

При производстве работ в зимнее время рекомендуется устройство траншеи с удалением грунтов, препятствующих погружению или на глубину промерзания.

С целью отработки технологии производства работ, уточнения конструкций строповочных приспособлений, шаблонов, кондукторов, режима работы основного и вспомогательного оборудования рекомендуется выполнять пробное погружение по программе, разрабатываемой в составе ППР.

10.4 Транспортирование и хранение конструкций ШТС осуществляется с учётом воздействия климатических факторов в соответствии с требованиями ГОСТ 15150.

Конструкции ШТС могут перевозиться транспортом всех видов в соответствии с действующими (для каждого вида транспорта) правилами перевозок.

Допускается хранение ШТС на открытом воздухе. ШТС следует хранить в штабелях высотой не более чем в три ряда по высоте при диаметре 630 мм и один или два ряда при диаметре труб 720 и более.

При хранении, погрузке, транспортировке и разгрузке ШТС должны применяться прокладки и строповочные приспособления, обеспечивающие

сохранность их формы, исключающие повреждение замков и антикоррозионного покрытия.

При хранении ШТС должна быть обеспечена хорошая видимость маркировки конструкций.

10.5 При приёмке (входном контроле) ШТС следует учитывать требования, изложенные в п. п. 6.11 и 8.4 настоящих Методических рекомендаций.

Геометрические размеры замков ШТС проверяются на стенде с применением шаблонов длиной не менее 2 м (протяжка замков). Выявленные дефекты замков ШТС (изгибы, вмятины) надлежит исправлять механической правкой. Для одной шпунтины допускается замена одного дефектного участка замка длиной не более 0,5 м.

Каждая ШТС должна быть оборудована строповочными приспособлениями (петлями или отверстиями) для выполнения погрузочно-разгрузочных работ, подъёма и подачи к месту погружения.

Перед погружением необходимо доставить необходимое количество ШТС с приобъектного склада в зону ведения работ.

На каждой шпунтине должен быть нанесён несмываемой краской порядковый номер и указана длина, а также глубина погружения в грунт и шкала делений с шагом 0,5 м.

Для снижения трения в замках рекомендуется предварительно обработать их бентонитовым раствором или другой смазкой. Передние по ходу погружения обоймы шпунтовых замков рекомендуется закрывать снизу стальной заглушкой.

В замковые соединения перед погружением сваи наносятся герметики (Akila Sealing Sistem и др.) в случаях, если это предусмотрено соответствующими технологиями.

10.6 При возведении сооружений из ШТС погружение шпунтовых свай осуществляется забивкой, вибропогружением или вдавливанием. Допускается

также комбинированная схема погружения (вибропогружение с добивкой молотом).

При выборе оборудования для погружения ШТС необходимо отдавать предпочтение способам погружения и механизмам, оказывающим наименьшее динамическое воздействие (вдавливание, безрезонансные вибропогружатели, молоты с изменяемой энергией удара).

Динамические воздействия от погружения шпунтовых свай следует оценивать на основе результатов расчётов и проверки их пробными забивками ШТС, число которых устанавливается проектом.

Выбор оборудования для погружения шпунтовых свай выполняется в соответствии с требованиями приложений Д, Е СП 45.13330. При выборе оборудования для погружения расчёт несущей способности шпунтовых свай (N и F_d) необходимо выполнять с коэффициентами условий работы γ_c, $\gamma_{R,R}$, $\gamma_{R,f}$ равными 1,0. Трение по боковой поверхности внутренней полости трубы ШТС необходимо учитывать по всей высоте грунтовой пробки. Для облегчения погружения ШТС рекомендуется удаление грунтовой пробки.

При забивке шпунтовой сваи в замок ранее забитой сваи сопротивление погружению рекомендуется дополнительно увеличивать на величину трения в замке в размере 25 кН на 1 м длины замка.

Для конструкций из ШТС, воспринимающих значительные вертикальные нагрузки, значение контрольного отказа при забивке следует определять с помощью компьютерных программ, в которых методы расчёта забивки свай основаны на волновой теории удара.

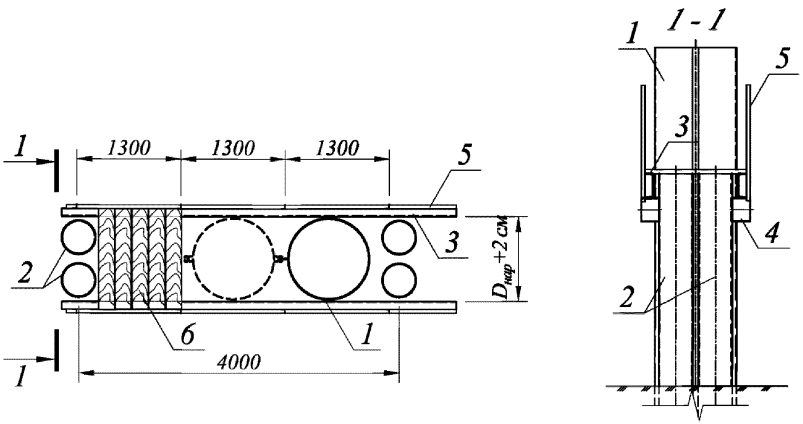
Максимальные динамические напряжения сжатия $\sigma_Д$ в стальной шпунтовой свае при забивке молотом не должны превышать значений

$$\sigma_Д \le R_y \gamma_c, \qquad (14)$$

где R_y – расчётное сопротивление стали сжатию по пределу текучести, γ_c=0,7 – коэффициент условий работы шпунта при забивке.

Минимальный отказ рекомендуется принимать $e_{мин}$=0,5 см, но не менее значения, установленного заводом-изготовителем и приведенного в паспорте молота.

10.7 Погружение ШТС рекомендуется выполнять с применением направляющего каркаса. Направляющий каркас представляет собой устройство из двух параллельных балок из деревянных брусьев или стальных профилей, расположенных на расстоянии, равном диаметру труб плюс 1 – 3 см. Пример направляющего каркаса приведён на рисунке 15.



1 – трубошпунт; 2 – маячные сваи; 3 – удерживающий профиль направляющего каркаса; 4 – опорный столик; 5 – перильное ограждение; 6 – деревянный настил

Рисунок 15 – Направляющий каркас

Направляющий каркас может быть одно-, двух- или многоуровневым в зависимости от длины шпунта. Если длина ШТС при забивке превышает в два раза расстояние от поверхности земли до направляющих, их устраивают в два ряда и более. Расстояние между ярусами принимают не менее 3 м.

Многоуровневые каркасы необходимо объединять системой связей в неизменяемую пространственную конструкцию.

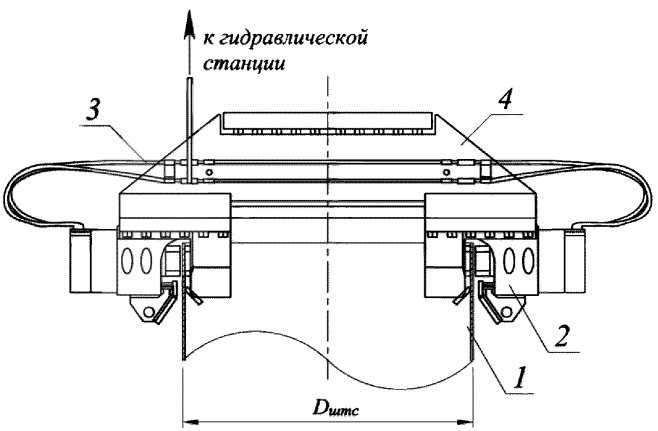
Для обеспечения сохранности антикоррозийного покрытия каждую трубошпунтовую сваю рекомендуется оснащать переставными обрезиненными роликами или устанавливать на направляющем каркасе деревянные прокладки.

10.8 ШТС, как правило, погружают захватками. Длина захватки зависит от производительности оборудования и обычно составляет от 10 до 30 м.

При погружении первой ШТС необходимо особое внимание уделять соблюдению вертикальности. Правильность погружения шпунтовой сваи контролируют в двух плоскостях и повторяют не реже, чем через каждую вторую шпунтину, геодезическими приборами или уровнями длиной 2 м.

Погружающий механизм необходимо устанавливать с предотвращением веерности шпунтового ряда.

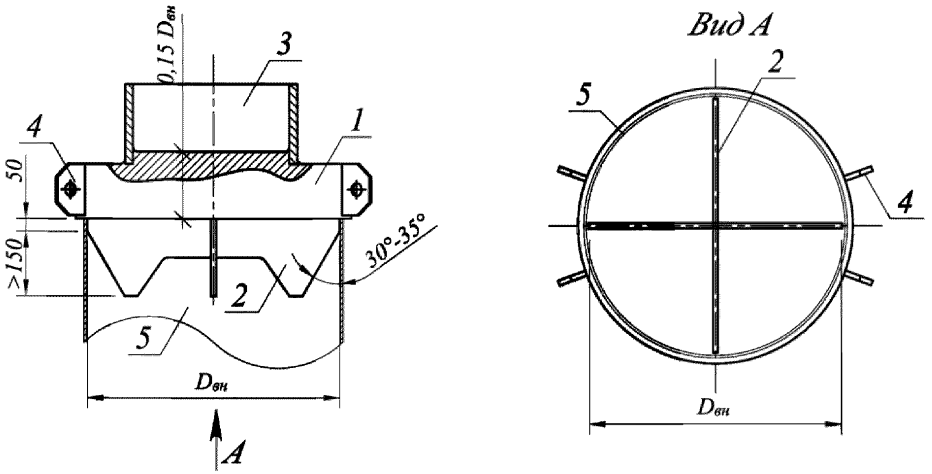
При погружении ШТС вибропогружателем необходимо обеспечить жёсткую и постоянную связь шпунтины и вибромашины. Для погружения ШТС предпочтение следует отдавать вибропогружателям с гидравлическими наголовниками. Пример гидравлического наголовника приведён на рисунке 16.



1 – трубошпунт; 2 – гидрозажимы; 3 – подводящие трубки; 4 – жёсткий корпус

Рисунок 16 – Гидравлический наголовник для вибропогружателя

10.9 Забивку ШТС молотами следует производить с применением специальных наголовников (рисунок 17) в виде распределительной плиты, снабжённой в верхней части кольцевой обоймой, для размещения в ней амортизатора, а в нижней части – системой выпусков для фиксации головы шпунтины в определённом положении относительно оси молота.



1 – распределительная плита; 2 – фиксирующие уступы; 3 – обойма для размещения амортизатора; 4 – косынки для крепления наголовника к молоту; 5 – трубошпунт

Рисунок 17 – Пример наголовника для ШТС

Плановые размеры плиты наголовника и её нижняя поверхность должны обеспечивать плотный контакт с торцевой поверхностью трубы шпунта по всей её площади. Толщина плиты наголовника должна быть не менее 0,15D, где D – внутренний диаметр трубы. Высота упорной части уступов, фиксирующих положение шпунтины относительно оси наголовника, должна быть не менее 50 мм, их количество не менее 4 шт. Фиксирующие выступы должны снабжаться ловильными выступами высотой не менее 150 мм.

Амортизаторы могут быть выполнены из дерева, пластмассы или резины. Материал и размеры амортизаторов зависят от типа, массы ударной части и рекомендаций завода-изготовителя молота. Подбор амортизаторов рекомендуется выполнять в соответствии с [2] и руководствами по эксплуатации применяемых молотов.

10.10 При погружении ШТС в труднопроходимые грунты допускается применение лидерного бурения с последующей добивкой молотом до расчётного отказа или погружения вибропогружателем до требуемой скорости на последнем залоге. Диаметр лидирующей скважины должен быть не более 0,9 от внешнего диаметра трубы ($D_{штс}$)

При погружении ШТС в составе дорожных инженерных сооружений применение подмыва не допускается.

10.11 Допускается наращивание шпунтовых свай по длине в ходе погружения при условии сохранения прямолинейности шпунтовой сваи, обеспечения равной прочности поперечного стыка и основного металла сваи с обязательным контролем качества сварного шва. Сварку выполнять по ГОСТ 5264 и ГОСТ 14771. Поперечные стыки рекомендуется усиливать стальными накладками (в количестве не менее 4 штук) из трубы такого же диаметра. Усилия на участках расположения поперечных стыков не должны превышать 50% предельно допустимых. Стыки должны располагаться в соответствии с требованием п.7.8 настоящих рекомендаций.

10.12 При производстве работ по погружению ШТС следует вести техническую документацию в соответствии с нормами СП 45.13330, СП 46.13330, СП 48.13330.

10.13 Минимальная отрицательная температура, при которой допускается погружение ШТС, устанавливается проектной организацией в зависимости от марки стали, способа погружения и свойств грунта.

10.14 Извлечение грунта из внутренней полости может вестись механическими и гидромеханическими способами.

В качестве механических способов извлечения грунта из внутренней полости рекомендуется применять грейферы, шнековое бурение. Нельзя допускать образования грунтовых пробок, трудно поддающихся разработке, поэтому погружение ведётся ступенями, величина которых зависит от диаметра сваи и грунтовых условий.

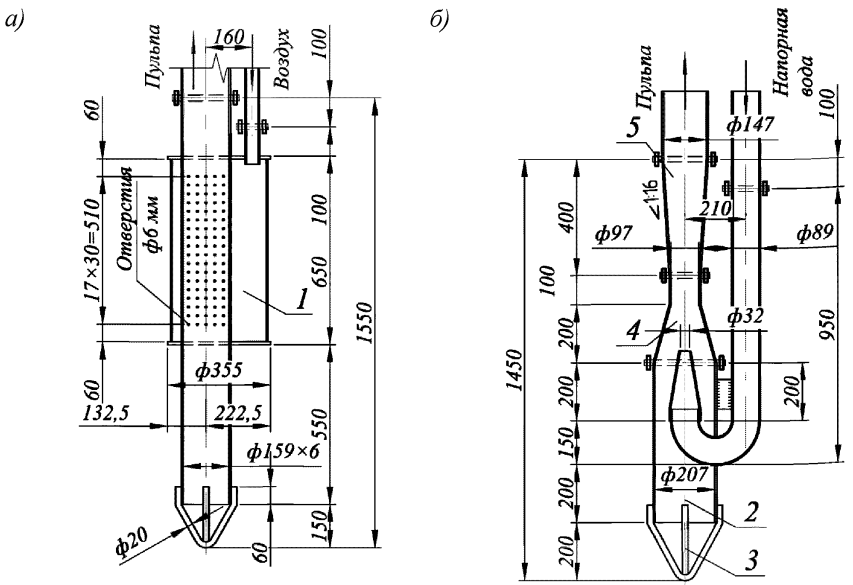
При извлечении грунта грейфером наибольший размер грейфера (в раскрытом состоянии) должен быть на 0,3 м меньше диаметра полости трубошпунтовой сваи.

Гидромеханические способы заключаются в периодическом гидравлическом рыхлении грунта подмывными трубками и удалении его при помощи эрлифтов (рисунок 18, а), гидроэлеваторов (рисунок 18, б) или

гидрожелонок (рисунок 19). Эти способы рекомендуется применять при наличии доступных источников водоснабжения и возможности отведения воды для всех категорий грунта, за исключением скальных и твёрдых глинистых, которые не поддаются гидравлическому рыхлению.

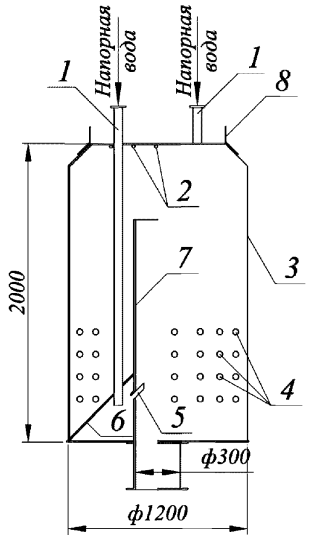
Для удаления песчаных и других слабосвязных грунтов применяют эрлифты с диаметрами всасывающих труб 150-200 мм, а для удаления гравелисто-галечниковых грунтов – 200-250 мм. При этом необходимо, чтобы высота нагнетания пульпы составляла не более 50 % глубины погружения эрлифта. Преимущество гидроэлеватора заключается в возможности работы без поддержания в шпунтовой свае повышенного уровня воды.

Для извлечения грунта с большим содержанием крупного гравия и мелких валунов применяются гидрожелонки (рисунок 19).



1 – форсунка; 2 – приёмная камера; 3 – решётка; 4 – конфузор; 5 – диффузор

Рисунок 18 – Конструктивные схемы эрлифта (а) и гидроэлеватора (б)



1 – трубка для подачи напорной воды;
2 – решётка; 3 – барабан; 4 – отверстия в барабане для выхода воды; 5 – кольцевая щель; 6 – направляющий каркас;
7 – всасывающая труба; 8 – монтажная петля

Рисунок 19 – Конструктивная схема гидрожелонки

10.15 Внутренняя полость трубы шпунтовой сваи на свободном участке и участке извлечения грунтового ядра должна быть заполнена в соответствии с указаниями п.7.3 настоящих методических рекомендаций.

Заполнение осуществляется после освидетельствования скважины на наличие в забое рыхлого грунта, воды и шлама.

Технология заполнения внутренней полости бетоном и применяемые материалы должны обеспечивать предъявляемые к материалу заполнения требования по прочности и морозостойкости. При необходимости обеспечить проектную марку по морозостойкости бетона внутренней полости бетонирование необходимо осуществлять «насухо» на всю высоту бетонного ядра или методом ВПТ литыми бетонными смесями от отметки не выше половины глубины промерзания грунта.

Для подачи жёсткой бетонной смеси рекомендуется применять виброхоботы, обеспечивающие укладку без расслоения. Допускается заполнение бетоном «насухо» методом свободного сброса с высоты до 6 м.

Во избежание расслоения бетонной смеси не допускается попадание её на арматурный каркас и стенки ШТС.

Установка арматурных каркасов может осуществляться как до укладки бетонной смеси, так и после. Арматурный каркас перед установкой должен быть проверен на соответствие проекту, очищен от случайно налипшего на него грунта. Строповка каркаса при погружении в скважину должна обеспечивать его проектное положение. Запрещается опускать каркас в наклонном положении.

10.16 После завершения операций по погружению шпунта и заполнению внутренней полости необходимо восстановить антикоррозионное покрытие ШТС в соответствии со схемами окраски, указанными в рабочей документации.

В случае если в проекте заложена герметизация замковых соединений сваркой, антикоррозионное покрытие следует восстанавливать после выполнения этой операции.

Герметизация замковых соединений (сваркой, инъектированием гидроактивных полеуретановых герметиков), если это возможно, выполняется с тыловой стороны шпунтового ряда.

10.17 Земляные работы по заполнению пазух грунтом должны производиться в соответствии с указаниями СП 45.13330, СП 46.13330, настоящих Методических рекомендаций, рабочей документации, в которой указаны требования к грунтам засыпки, их физические и механические свойства, коэффициенты уплотнения в соответствии с разделом 7. В ППР должны быть указаны способы и очерёдность заполнения пазух.

Перед заполнением пазух грунтом следует освидетельствовать и отразить в акте на скрытые работы соответствие проекту конструкций из ШТС, дренажа, антикоррозионного покрытия тыловой части стенки, герметизации замковых соединений. Перед засыпкой грунта пазухи должны быть очищены от строительного мусора, снега и льда.

До начала земляных работ рекомендуется выполнить опытное уплотнение грунтов на строительной площадке с целью установления максимальной плотности грунта, оптимальной влажности, рекомендуемой

толщины уплотняемого слоя, уточнения параметров и режимов работы уплотняющих машин.

Не допускается уплотнение грунта засыпки устоев мостов и пазух подпорных стенок на расстоянии менее 3 м самоходными и прицепными машинами.

10.18 Приёмка в эксплуатацию дорожных подпорных стенок и устоев мостовых сооружений с использованием ШТС осуществляется в соответствии с указаниям СНиП 3.01.04, СП 45.13330, СП 46.13330, СП 48.13330, СП 70.13330 и настоящих Методических рекомендаций.

Проверка вертикальности, положения ШТС плане и по высоте производится до срезки или какой-либо выправки шпунтовых стен. Точность измерений плановых измерений плановых отклонений должна составлять 5 мм, а отклонений от вертикали – 0,1%.

Допускаемые отклонения от требований норм и показателей проектов принимаются в соответствии с таблицей 1.

Проектная организация, при соответствующем обосновании, имеет право корректировать допуски и отклонения шпунтовых свай, отличающиеся от приведённых в таблице 1.

10.19 При производстве работ по строительству устоев мостовых сооружений и дорожных подпорных стенок с применением ШТС должны соблюдаться требования по технике безопасности и охране окружающей среды в соответствии с ГОСТ 12.3.009, СНиП 12-03, СНиП 12-04 и [3].

11 Эксплуатация и содержание ШТС в составе дорожных сооружений

11.1 Комплекс мероприятий по техническому содержанию дорожных инженерных сооружений включает в себя мониторинг (текущие, периодические осмотры) и работы, выполняемые в соответствии с [4], отраслевыми дорожными методическими документами [5], [6], [7], [8].

Таблица 1 – Допускаемые отклонения ШТС от требований норм и показателей проектов

Технические требования	Допускаемое отклонение		Метод и объём контроля
	Мостовые устои с совмещёнными функциями	Дорожные подпорные стенки и мостовые устои с раздельными функциями	
Величина отказа забиваемых шпунтовых свай	Соответствие расчётной величине	Не нормируется	Для каждой шпунтовой сваи
Амплитуда колебаний в конце вибропогружения	Соответствие расчётной величине	Не нормируется	Для каждой шпунтовой сваи
Смещение в плане центров шпунтовых свай от проектного положения в уровне низа ростверка или насадки не должны превышать	100 мм без применения направляющих устройств	150 мм	Геодезический метод, 20% всех шпунтовых свай
	50 мм при использовании направляющего каркаса		
Отклонение стены от вертикали	0,02		Геодезический метод, 20% всех шпунтовых свай
Недобивка ШТС до проектных отметок при условии достижения расчётного отказа	250 мм		Нивелирование всех шпунтовых свай
Клиновидность (веерность подпорной стены)	0,01		Измерительный, 10% всех шпунтовых свай
Выход ШТС из замков	Не допускается		Обследование всех ШТС

Работы по мониторингу (2 раза в год), периодической диагностике (в среднем 1 раз в 5 лет) и обследованиям (1 раз в 10 лет) конструкций из ШТС в составе дорожных инженерных сооружений выполняются со следующими целями:

– обеспечение безопасной эксплуатации в период, предусмотренный требованиями к долговечности сооружения;

– предотвращение и ликвидация возможных повреждений и деформаций;

– определение объёмов, сроков и способов необходимых ремонтов, капитальных ремонтов.

Указанные виды мониторинга и обследований конструкций ШТС включают в себя внешние осмотры, исследования неразрушающими методами и геодезические измерения.

11.2 Результаты работ по мониторингу, диагностике и обследованиям оформляются в соответствии с требованиями указанных выше документов технического регулирования и внутренних документов эксплуатирующей организации.

Обращается внимание на тщательность хранения проектной документации (рабочих чертежей), документации строительства (в том числе паспортов конструкций), документов о согласованиях, полученных в ходе строительства.

11.3 Внешним осмотром конструкций ШТС выявляют наличие участков коррозии металла, дефекты и повреждения элементов, стыков и креплений; погнутости, вмятины, местные ослабления, трещины, разрывы и неплотности. Внутренние дефекты сварных швов выявляют с помощью неразрушающих методов исследования: ультразвуковой дефектоскопии, радиографических и акустических методов.

Наибольшую опасность представляют трещины в стальных конструкциях и сварных соединениях. Следует обращать внимание на выявление причин образования трещин, степень их влияния на безотказность и долговечность сооружения.

Вероятными причинами образования трещин являются: концентрация напряжений, остаточные напряжения от сварки, усталостные явления, повышенная хладноломкость металла.

11.4 При наличии коррозии металла непосредственными замерами устанавливают степень ослабления сечения элемента конструкции, а также интенсивность или скорость протекания коррозии (миллиметров в год).

Следует выявлять недостатки конструкции стен из ШТС, способствующие интенсификации процессов коррозии: участки с застоем избыточной влаги, недостатками работы дренажа и систем водоотвода, пазухи и щели.

11.5 Следует проверять состояние окраски стальных конструкций подпорных стен, выявлять количество и качество слоёв, сцепление с металлом и состояние металла под краской, фиксировать дефекты в окраске стали, механические повреждения, трещины, пузыри, участки шелушения.

11.6 Геодезические измерения включают разбивку и установку геодезической наблюдательной сети, проведение периодических (циклических) наблюдений за планово-высотными деформациями конструкций ШТС.

При диагностике и обследованиях устоев с совмещёнными функциями наряду с геодезическими измерениями (или независимо от них) следует вести наблюдения за перемещениями опорных частей, деформационных швов, зазоров между торцами балок пролётных строений и шкафными стенками устоев, соответствием колебаний размеров этих параметров (перемещений, зазоров) сезонным изменениям температуры воздуха.

Геодезические измерения, наблюдение за техническим состоянием опорных частей, деформационных швов являются средством контроля силового взаимодействия подземных частей конструкций ШТС с основаниями, сохранения несущей способности грунтов в соответствии с данными проекта и своевременного выявления её снижения в процессе эксплуатации.

Указанные виды измерений и контроля направлены на своевременное выявление дефектов и неисправностей подземных частей и задних граней подпорных стенок из ШТС.

В случаях отклонений в плане и по высоте (фиксирование наклонов, горизонтальных перемещений), превышающих допустимые (предусмотренные проектом) значения, следует определять причины их возникновения, оценивать опасность прогрессирования перемещений путём проведения контрольных расчётов, при необходимости разрабатывать рекомендации (в том числе

проектную документацию), направленные на предупреждение аварийных ситуаций.

11.7 Рекомендации по ремонту конструкций из ШТС:

– незначительные повреждения стальных шпунтовых свай устраняются при помощи электросварки;

– дефектные участки ограниченных размеров рекомендуется заменять приваренными накладками толщиной не менее толщины ремонтируемого элемента;

– дефектные участки значительных размеров рекомендуется удалять с заменой новыми конструкциями.

Приложение А
Сортамент и геометрические характеристики труб в составе трубошпунтовых стенок

Таблица А1 – Сортамент и геометрические характеристики труб в составе трубошпунтовых стенок

Наружный диаметр, D, мм	Проектная толщина стенки, $\delta_{пр}$, мм	Расчётная толщина стенки, $\delta_{расч}$, мм	Расчётная площадь сечения*, см^2	Расчётный момент инерции*, см^4	Расчётный момент сопротив-ления*, см^3	Периметр сечения трубы**,см
630	10	9	175	83843	2670	390
	11	10	194	92713	2953	389
	12	11	213	101495	3232	388
720	10	9	200	125983	3509	446
	11	10	222	139395	3883	445
	12	11	244	152692	4253	445
	13	12	266	165875	4620	444
820	10	9	229	187155	4576	509
	11	10	254	207186	5066	508
	12	11	279	227067	5552	508
	13	12	304	246798	6034	507
920	10	9	257	265483	5784	572
	11	10	285	294015	6406	571
	12	11	313	322358	7023	571
	13	12	342	350511	7636	570
	14	13	370	378476	8246	569
1020	10	9	285	363087	7133	635
	11	10	317	402239	7903	634
	12	11	348	441157	8667	633
	13	12	379	479840	9427	633
	14	13	410	518291	10183	632
1120	11	10	348	534213	9557	697
	12	11	383	586055	10484	696
	13	12	417	637614	11406	696
	14	13	451	688890	12324	695
1220	12	11	417	759645	12474	759
	13	12	455	826658	13574	758
	14	13	492	893336	14669	758
	16	15	567	1025689	16842	756

Продолжение таблицы А1

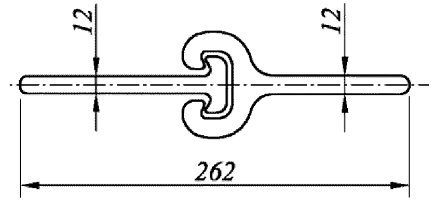
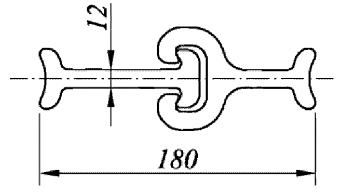
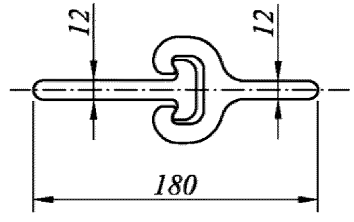
Наружный диаметр, D, мм	Проектная толщина стенки, $\delta_{пр}$, мм	Расчётная толщина стенки, $\delta_{расч}$, мм	Расчётная площадь сечения*, см^2	Расчётный момент инерции*, см^4	Расчётный момент сопротив-ления*, см^3	Периметр сечения трубы**,см
1420	12	11	486	1203265	16971	885
	13	12	530	1309872	18475	884
	14	13	574	1416020	19972	883
	16	15	661	1626948	22947	882

*расчётные значения геометрических характеристик сечений приняты по расчётной толщине стенки;

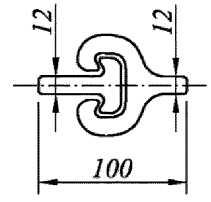
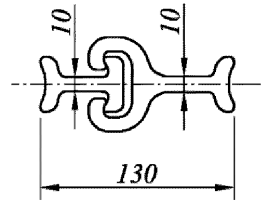
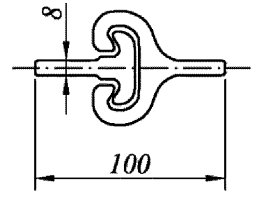
**под периметром сечения трубы понимается сумма длин окружностей внутренней и внешней поверхностей.

Приложение Б
Рекомендуемый сортамент замковых соединений

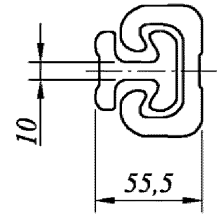
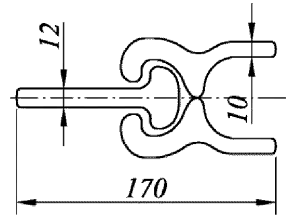
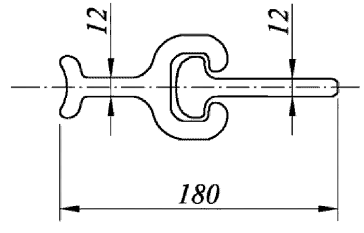
Таблица Б1 – Рекомендуемый сортамент замковых соединений

№ пп	Наименование профилей, разработчик замкового соединения	Масса замкового соединения, кг/м	Толщина замкового соединен., мм	Минимальное разрывное усилие, кН/м	Эскиз
1	№2400, №2401 ТУ14-1-3602, группа компаний «Северсталь-метиз»	16,2+22,6	12	3670	
2	№2415, №2416 ТУ14-1-3602, группа компаний «Северсталь-метиз»	14,3+20,8	12	3670	
3	№2417, №2418 ТУ14-1-3602, группа компаний «Северсталь-метиз»	12,2+18,7	12	3670	

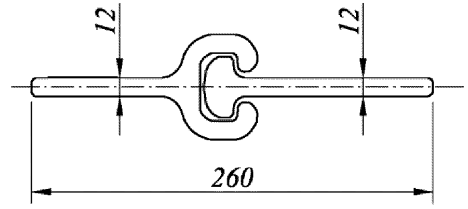
Продолжение таблицы Б1

№ пп	Наименование профилей, разработчик замкового соединения	Масса замкового соединения, кг/м	Толщина замкового соединен., мм	Минимальное разрывное усилие, кН/м	Эскиз
4	№2420, №2421 ТУ14-1-3602, группа компаний «Северсталь-метиз»	7,8+15,9	12	3670	
5	№2453, №2454 ТУ14-1-3602 , группа компаний «Северсталь-метиз»	8,8+17,1	10	1960	
6	№2424, №2425 ТУ14-1-3602, группа компаний «Северсталь-метиз»	5,6+10,2	8	1630	

Продолжение таблицы Б1

№ пп	Наименование профилей, разработчик замкового соединения	Масса замкового соединения, кг/м	Толщина замкового соединен., мм	Минимальное разрывное усилие, кН/м	Эскиз
7	№2443, №2444 ТУ14-1-3602, группа компаний «Северсталь-метиз»	8,5+12,1	10	1540	
8	ЗСГ1ог ТУ 5264-014-01393674-2012, ООО «Трест Запсибгидрострой»	13,6+21,6	12;10	4598	
9	ЗСГ1* ТУ 5264-017-13512256-2016, группа компаний «Северсталь-метиз» по техническому заданию ООО «Трест Запсибгидрострой»	21,5+13,0	12	4650	

Продолжение таблицы Б1

№ пп	Наименование профилей, разработчик замкового соединения	Масса замкового соединения, кг/м	Толщина замкового соединен., мм	Минимальное разрывное усилие, кН/м	Эскиз
10	ЗСГ1** ТУ 5264-017-13512256-2016, группа компаний «Северсталь-метиз» по техническому заданию ООО «Трест Запсибгидрострой»	23,3+17,5	12	4650	

Приложение В
Инженерный метод расчёта конструкций из ШТС

Основные обозначения:

$h(z)$ – высота (вертикальная координата оси) устоя мостового сооружения, отсчитываемая от нижней грани переходной плиты до уровня планировочной поверхности (м);

высота (вертикальная координата оси) дорожной подпорной стенки, отсчитываемая от её верхней грани (точки пересечения откоса, рисунок В2) до уровня планировочной поверхности (м);

d – высота откосной части земляного полотна над уровнем верхней грани подпорной стенки, рисунок В2 (м);

γ_n – нормативный (расчётный) удельный вес грунта засыпки за устоем (насыпи земляного полотна) (кН/м^3);

$\gamma_{1,2,3}$ – удельный вес слоёв (инженерно-геологических элементов) основания, считая от уровня планировочной поверхности (кН/м^3);

γ_{sw} – удельный вес водопроницаемого грунта с учётом взвешивания водой (кН/м^3);

γ_w – удельный вес воды (кН/м^3);

$h_{1,2,3}$ – высоты слоёв основания, считая от уровня планировочной поверхности (м);

P, H, M – равнодействующие нагрузок, приложенных к оголовку устоя моста: вертикальная, горизонтальная составляющие, момент (кН/м, кН/м, кН·м/м);

$l_{пп}$ – длина переходной плиты (м);

$q_{пп}$ – интенсивность нормативной временной нагрузки на переходной плите (кН/м^2);

$q_в$ – интенсивность нормативной временной нагрузки на земляном полотне (кН/м^2);

m – заложение откоса;

γ_f – коэффициент надёжности по нагрузке;

γ_d – коэффициент условий работы;

t – шаг членения на конечные элементы вертикального стержня, заменяющего на расчётной схеме шпунтовую подпорную стенку (м);

$F_{ai} = p_{ai} \times t \times 1$м – сила активного давления в i-м узле надземной части подпорной стенки (кН);

z_O – координата i-го узла подземной части трубошпунтовой подпорной стенки, отсчитываемая от уровня планировочной поверхности (м);

$P_z = p_z \times 1$м – нагрузка на 1 погонный метр подпорной стенки, определяемая как произведение контактных давлений (p_z) на 1 м длины стенки (кН/м);

$P_{пред} = (p_п - p_a) \times 1$м – предельная нагрузка на 1 погонный метр подпорной стенки, определяемая по условию устойчивости основания (кН/м);

$B_{zi} = C_{zi}\, t \times 1$м – жёсткость горизонтальной упругоподатливой связи в i-м узле (кН/м);

$R_{zi} = P_{zi}\, t$ – сила в упругоподатливой связи в i-м узле (кН);

$F_{пред,i} = P_{пред,i} \times t$ – сила предельного давления грунта в i-м узле (кН).

Примечание – Пояснения к обозначениям p_a, $p_п$, p_z содержатся в разделе 4 «Основные обозначения и сокращения».

В1 Нормативные и расчётные нагрузки. Силовые воздействия

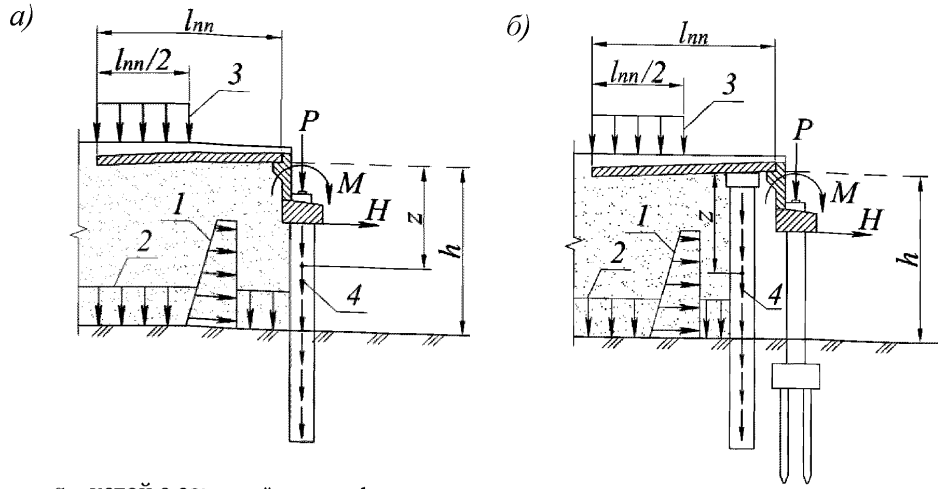
В1.1 В расчётах мостовых устоев из ШТС учитываются следующие нагрузки и силовые воздействия (рисунок В1):

– горизонтальное активное давление на заднюю грань трубошпунтовой подпорной стенки и одностороннее вертикальное давление на основание от веса грунта насыпи за мостовым устоем;

– собственный вес конструкций ШТС, включая заполнение внутренней полости труб;

– постоянные, временные и прочие нагрузки, приложенные к оголовку устоя;

– временная вертикальная нагрузка на переходной плите за мостовым устоем.



а – устой с совмещёнными функциями; *б* – устой с раздельными функциями; *1* – горизонтальное активное давление грунта; *2* – вертикальное давление от веса насыпи на основание; *3* – временная вертикальная нагрузка на переходной плите; *4* – собственный вес конструкций ШТС; *P*, *H*, *M* – равнодействующие нагрузок, приложенных к оголовку устоя

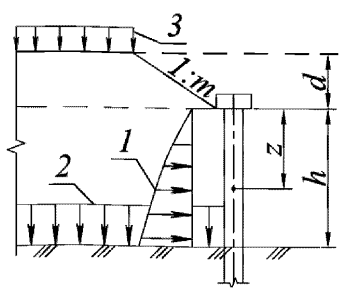
Рисунок В1 – Схема приложения нагрузок к мостовым устоям из ШТС

В1.2 В расчётах дорожных подпорных стенок из ШТС учитываются следующие нагрузки и силовые воздействия (рисунок В2):

– горизонтальное активное давление на заднюю грань трубошпунтовой подпорной стенки и одностороннее вертикальное давление на основание от веса грунта земляного полотна;

– собственный вес конструкций ШТС, включая заполнение внутренней полости труб;

– временная вертикальная нагрузка на земляном полотне.



1 – горизонтальное активное давление грунта; *2* – вертикальное давление отвеса насыпи на основание; *3* - временная вертикальная нагрузка на земляном полотне

Рисунок В2 – Схема приложения нагрузок к дорожной подпорной стенке из ШТС

В1.3 При расчёте вертикального и горизонтального давления от веса грунта насыпи за мостовым устоем и земляного полотна принимается нормативный удельный вес грунта γ_n=17,7 кН/м^3, нормативный угол внутреннего трения дренирующих грунтов φ_n=35°, связных грунтов φ_n=30°; коэффициенты надёжности по нагрузке: вертикального давления грунта γ_f=1,1 и γ_f=0,9, горизонтального давления грунта γ_f=1,4. Для грунтов дорожных выемок, удерживаемых ШТС, нормативные и расчётные значения удельного веса, углов внутреннего трения и удельного сцепления принимается по данным инженерно-геологических изысканий

Вертикальные координаты z насыпи за устоем отсчитывается от нижней грани переходной плиты в узле её опирания на шкафную стенку устоя до уровня планировочной поверхности, где $z=h$ (см. рисунок В1).

Вертикальные координаты z дорожной насыпи за подпорной стенкой отсчитываются от точки пересечения откоса земляного полотна с осью подпорной стенки до уровня планировочной поверхности, где $z=h$ (см. рисунок В2).

В геометрическую форму насыпей земляного полотна автомобильных дорог включается дорожная одежда. Вес дорожной одежды учитывается совместно с весом грунта насыпей с теми же значениями удельного веса и коэффициентов надёжности.

В1.4 Нормативная нагрузка от собственного веса конструкций ШТС состоит из веса конструкций стальных труб, определяемого в соответствии с сортаментом (приложение А), веса замковых соединений и веса заполнения:

- песчано-цементной смесью с нормативным удельным весом 19 кН/м^3;
- железобетоном с удельным весом 24,5 кН/м^3;
- неармированным бетоном с нормативным удельным весом 23,6 кН/м^3.

В водопроницаемых грунтах гидростатическое давление (взвешивающее действие грунтовых вод ниже их уровня) учитывается путём уменьшения веса подводной части трубошпунтовых конструкций.

Коэффициенты надёжности по нагрузке конструкций ШТС γ_f = 1,1 и γ_f= 0,9.

В1.5 При проектировании мостовых устоев с совмещёнными функциями, учитываются постоянные и временные нагрузки, приложенные к оголовку, в соответствии с таблицей В1 и рисунком В3.

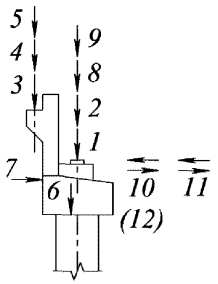


Рисунок В3 – Схема приложения нагрузок к оголовку устоя:
1–12– номера нагрузок в таблице В1

Таблица В1 – Нагрузки, приложенные к оголовку устоя

№№ нагрузок	Наименование нормативных нагрузок (воздействий)	Коэфф. надёжности динамический коэфф.
1	Вес конструкций пролётного строения	1,1; 0,9
2	Вес выравнивающего слоя, гидроизоляции, защитного слоя, дорожной одежды	1,3, 1,5; 0,9
3	Вес переходной плиты	1,1; 0,9
4	Вес щебёночной засыпки на переходной плите	1,3; 0,9
5	Вес дорожной одежды на переходной плите	1,5; 0,9
6	Вес оголовка устоя (шкафная стенка, насадка)	1,1; 0,9
7	Горизонтальное давление грунта на оголовок	1,4
8	Временная вертикальная нагрузка АК	1,25; 1,5 1+μ
9	Временная вертикальная нагрузка НК	1,1 1,0
10	Тормозная сила или сила тяги	1,15
11	Температурная деформация пролётных строений	1,2
12	Горизонтальная поперечная нагрузка от ударов автомобильной нагрузки АК	1,15

Горизонтальная поперечная нагрузка от ударов автомобильной нагрузки АК (нагрузка №12, таблица В1) учитывается при расчётах устоев косых мостов (с учётом синуса угла косины) в сочетаниях нагрузок, в которых отсутствует тормозная сила или сила тяги (нагрузка №10).

Нагрузки, коэффициенты надёжности, динамические коэффициенты, указанные в таблице В1, сочетания нагрузок, коэффициенты условий работы, коэффициенты сочетаний нагрузок принимаются в соответствии с нормами ГОСТ 33390.

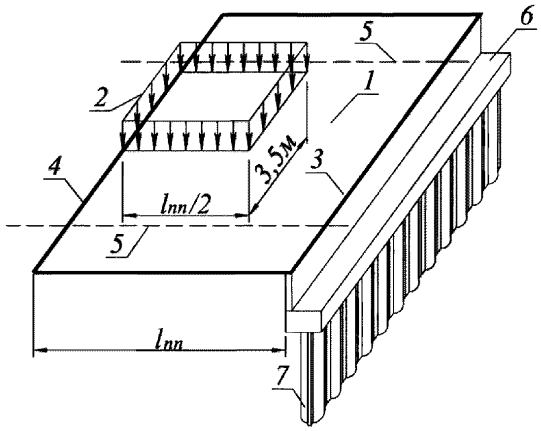
Для устоев с совмещёнными функциями при опирании крайнего пролётного строения на резино-металлические опорные части горизонтальные нагрузки от торможения или силы тяги (нагрузка № 10) и от температурной деформации пролётных строений (нагрузка № 11) определяются в соответствии с указаниями [9] и [10] .

Нагрузки, приложенные к оголовку устоя, приводятся к 1-му погонному метру трубошпунтовой подпорной стенки.

В1.6 Временная вертикальная нагрузка на переходной плите за мостовым устоем учитывается в соответствии с указаниями приложения М СП 35.13330 в следующем порядке. На переходной плите (в плане) выделяется площадка, на которой действует временная вертикальная нагрузка Н14, с размерами (рисунок В4): в продольном (параллельном оси моста) направлении $½l_{пп}$, где $l_{пп}$ – длина переходной плиты, в поперечном (перпендикулярном оси моста) – 3,5 м. Интенсивность нормативной временной вертикальной нагрузки на переходной плите $q_{пп}$=5,4К, при К=14 $q_{пп}$=75,6 кН/м^2. Коэффициент надёжности γ_f=1,1.

Схема приложения временной вертикальной нагрузки принимается в соответствии с рисунком В4.

Допускается определение вертикального давления за задней гранью устоя в соответствии с указаниями п. В2.1 с таблицей В2.



1 – переходная плита длиной $l_{пп}$; 2 – временная нагрузка на переходной плите $q_{пп}$=5,4К кН/м^2; 3, 4 – передняя и задняя грани переходной плиты; 5 – граница проезжей части; 6 – оголовок устоя; 7 – трубошпунт

Рисунок В4 – Схема приложения временной нагрузки Н14 на переходной плите

В1.7 Временная вертикальная нормативная нагрузка на земляном полотне учитывается в соответствии с указаниями п. 4.3.2 ГОСТ 32960 по формуле

$$q_{в} = \frac{7{,}4nK}{B_{зп}}, \qquad (В1)$$

где n, K — число полос и класс нагрузки АК, $B_{зп}$ – ширина земляного полотна на уровне его верхней грани.

Коэффициент надёжности γ_f=1,25.

В1.8 Нормативные и расчётные значения удельного веса, углов внутреннего трения и удельного сцепления грунтов (инженерно-геологических элементов) основания принимаются по данным материалов инженерно-геологических изысканий.

Распределение вертикального давления p_{zg} от веса грунтов основания принимается в соответствии со схемами на рисунке В5. В верхнем слое, а также случае, если основание сложено однородными грунтами с равномерно распределённым удельным весом (γ),

$$p_{zg}=\gamma z_O, \qquad (В2)$$

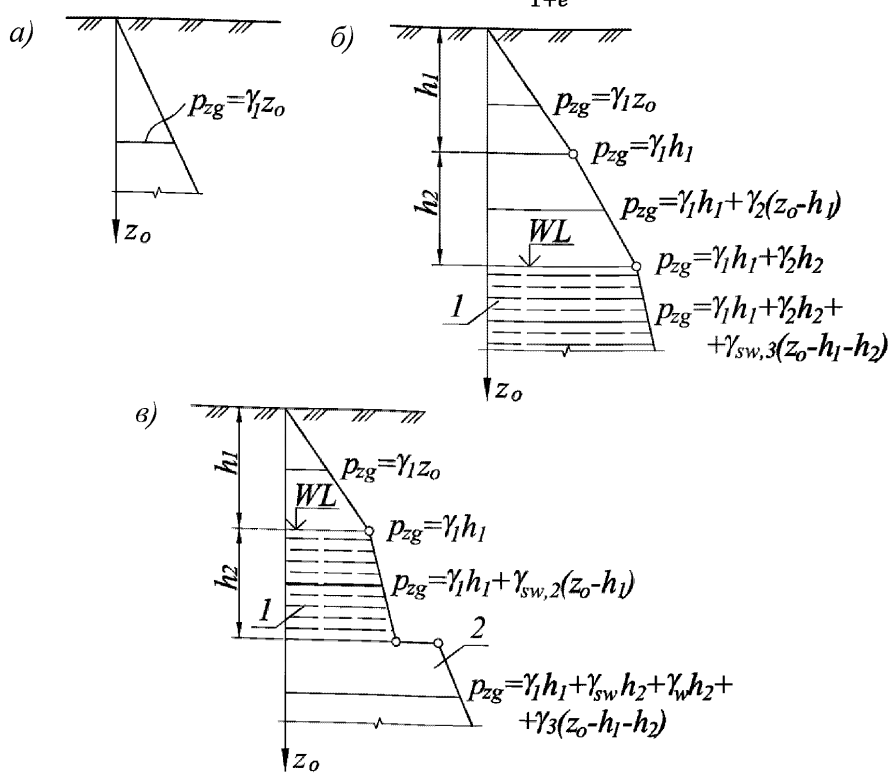
где z_O – координата, отсчитываемая от поверхности основания (уровня планировочной поверхности).

В слоистых основаниях с переменным по глубине удельным весом и водопроницаемыми грунтами при наличии подземных вод

$$p_{zg}=\gamma_1 h_1+\gamma_2(z_O-h_1),\quad p_{zg}=\gamma_1 h_1+\gamma_2 h_2+\gamma_{sw,3}(z_O-h_1-h_2), \qquad \text{(В3)}$$

где h_1, h_2 – толщина слоёв основания в пределах глубины z_O, γ_1, γ_2 – удельные веса грунтов слоёв основания выше уровня грунтовых вод, $\gamma_{sw,3}$ – удельный вес слоя водопроницаемого грунта, определяемый, как вес минеральных частиц, взвешенных водой,

$$\gamma_{sw}=\frac{\gamma_s-\gamma_w}{1+e}, \qquad \text{(В4)}$$



а – в однородных основаниях, *б* – в слоистых основаниях с переменным по глубине удельным весом при наличии подземных вод; *в* – в основаниях, частично взвешенных грунтовыми водами, при наличии водоупорного слоя;

1 – водопроницаемый грунт; *2* – водоупорный слой основания; *WL* – уровень подземных вод

Рисунок В5 – Эпюры распределения вертикального давления p_{zg} от собственного веса грунтов

γ_s =27 кН/м^3– удельный вес частиц грунта, γ_w=9,8 кН/м^3 – удельный вес воды, e – коэффициент пористости грунта (отношение объёма пор к объёму минеральной части).

В водоупорном слое основания следует учитывать вес вышележащих слоёв и вес слоя воды в соответствии со схемой на рисунке В5, *в*:

$$p_{zg}=\gamma_1 h_1+\gamma_{sw,2} h_2+\gamma_w h_2+\gamma_3(z_O-h_1-h_2), \qquad \text{(В5)}$$

где γ_3 – удельный вес водоупорного слоя.

Формулы (В1)–(В5) используются для расчётов нормативных и расчётных давлений в основании.

В2 Распределение вертикальных и горизонтальных давлений на поверхностях граней подпорных стенок

В2.1 Распределение нормативного и расчётного вертикальных давлений p_v за задней гранью подпорной стенки устоя мостового сооружения определяется по следующим формулам:

– в пределах насыпи за устоем (выше уровня планировочной поверхности)

$$p_v=\gamma_n z+p_{mn}, \qquad \text{(В6)}$$

где γ_n - нормативный удельный вес грунта насыпи, z – вертикальная координата, отсчитываемая от верха насыпи за устоем в соответствии с указаниями п. В1.3, p_{mn} – вертикальное давление за задней гранью подпорной стенки от временной вертикальной нагрузки q_{mn}=5,4К, при К=14 q_{mn}=75,6 кН/м^2 на переходной плите, принимаемое по таблице В2;

Таблица В2 – Вертикальное давление p_{mn} (кН/м^2)

z, м		1	2	4	6	8	10	15	20
Длина переходной плиты l_{mn}, м	4	1,9	6,9	9,8	7,7	5,5	4,0	2,0	1,2
	6	-	2,7	6,6	6,9	5,9	4,7	2,7	1,7
	8	-	1,1	4,0	5,3	5,3	4,7	3,1	2,0

– в пределах основания (ниже уровня планировочной поверхности)

$$p_v = \gamma_n h + p_{mn} + p_{zg}, \quad \text{(В7)}$$

где h – высота насыпи (рисунок В1), p_{zg} – давление от веса грунтов основания, определяемое в соответствии с указаниями п. В1.8.

В2.2 Распределение вертикального давления p_v за задней гранью дорожной подпорной стенки определяется по следующим формулам (см. рисунок В2):

– в пределах насыпи (выше уровня дневной поверхности)

$$p_v = \gamma_n z + \frac{2z(\gamma_n d + q_в)}{md + 2z}, \quad \text{(В8)}$$

где z, d – вертикальная координата и высота откосной части насыпи в соответствии со схемой на рисунке В2, $q_в$ – временная вертикальная нагрузка на земляном полотне в соответствии с п. В1.7, m – заложение откосной части насыпи;

– в пределах основания (ниже уровня планировочной поверхности)

$$p_v = \gamma_n h + p_{zg} + \frac{2(h+z_0)(\gamma_n d + q_в)}{md + 2(h+z_0)}. \quad \text{(В9)}$$

В2.3 Распределение горизонтального активного p_a давления на заднюю грань шпунтовой подпорной стенки в пределах насыпи и оснований определяются по формуле:

$$p_a = p_v tg^2\left(45° - \frac{\varphi}{2}\right) - 2c \cdot tg(45° - \frac{\varphi}{2}), \quad \text{(В10)}$$

Распределение пассивного давления в пределах оснований на переднюю грань шпунтовой подпорной стенки определяются по формулам:

$$p_n = p_{zg} tg^2\left(45° + \frac{\varphi}{2}\right) + 2c \cdot tg\left(45° + \frac{\varphi}{2}\right), \quad \text{(В11)}$$

В формулах (В10) и (В11) значения p_v, p_{zg} принимаются по формулам (В2)–(В9), значения углов внутреннего трения и удельного сцепления в

пределах насыпей – в соответствии с указаниями п. В1.3, в пределах оснований – $\varphi=\varphi_i$, $c=c_i$, где φ_i, c_i – углы внутреннего трения и удельные сцепления слоёв оснований (ИГЭ), пересекаемых подпорной стенкой.

Распределение давлений за задней и передней гранями шпунтовой стенки приведено на рисунке В6.

Значения p_a, полученные отрицательными по формуле (В10), принимаются равными нулю.

Давления p_v, p_a, p_n определяются в нормативных и расчётных значениях.

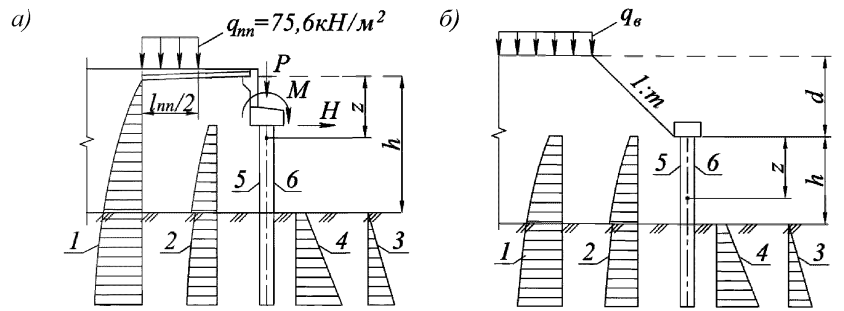


Рисунок В6 – Распределение давлений p_v(1), p_a (2) на задней (5) и p_{zg}(3), p_n (4) на передней (6) гранях шпунтовой подпорной стенки

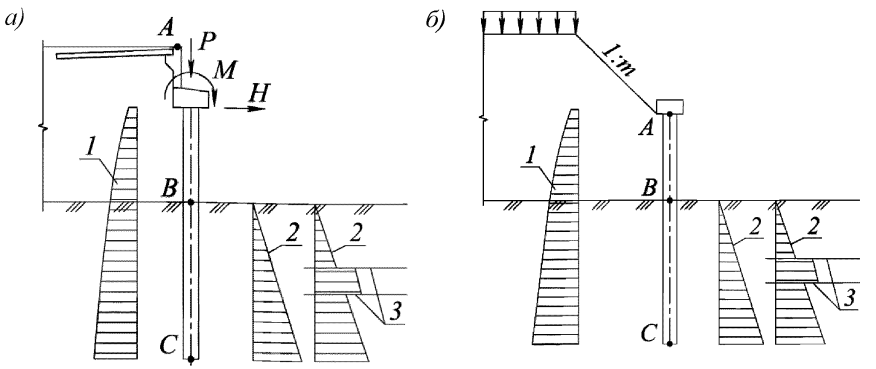
В3 Расчёт шпунтовых подпорных стенок

В3.1 Расчётная схема ШТС в составе устоя мостового сооружения и дорожной подпорной стенки представляет собой плоский изгибаемый вертикальный стержень (пластинку) расчётной шириной 1 м, заглублённый в своей нижней части в основание. Жёсткостные характеристики ШТС: при растяжении-сжатии E_sA, при изгибе E_sI, где E_s – модуль упругости стали, A и I – площадь сечения и момент инерции (с учётом коррозионных потерь), пересчитанные на 1 погонный метр шпунтовой стенки в соответствии с указаниями п.9.3. Действующие нагрузки принимаются в соответствии с указаниями п.п. В1.1 и В1.2.

В3.2 В расчётных схемах шпунтовой подпорной стенки (рисунок В7) выделяются два участка по высоте: надземный и заглубленный в основание.

Надземный участок *AB* воспринимает активное давление грунта со стороны задней грани шпунтовой подпорной стенки и собственный вес конструкций подпорной стенки. Если подпорная стенка является устоем «с совмещёнными функциями», то в расчёте учитываются нагрузки, приложенные к оголовку (см. рисунок В7, *а*). Активное давление со стороны задней грани подпорной стенки определяется по формуле (В10). Давление p_v в формуле (В10) при расчёте устоя определяется по формуле (В6), при расчёте дорожной подпорной стенки по формуле (В8).

Заглубленная нижняя часть стенки *BC* является рабочим участком, взаимодействующим с основанием, передающим на него горизонтальную и моментную нагрузку. Для описания силового взаимодействия грунта и заглубленной конструкции используются расчётная схема, сочетающая теорию метода местных упругих деформаций с треугольной формой распределения коэффициента постели и предельного напряжённого состояния грунта.



1 –активное давление p_a; *2* – эпюры $C_z=Kz$; *3* – границы геологических слоёв

Рисунок В7 – Схемы приложения нагрузок к надземной части устоя (а) и подпорной стенки шпунтового типа (б)

В3.3 Расчёт шпунтовой подпорной стенки выполняется по предельным состояниям (ПС) двух групп:

– по ПС первой группы (по прочности и несущей способности) с использованием расчётных значений нагрузок и прочностных характеристик грунтов;

– по ПС второй группы (по перемещениям) с нормативными значениями нагрузок и прочностных характеристик грунтов.

В3.4 Расчётная модель метода местных упругих деформаций основана на решении контактной задачи со следующими допущениями:

– плоский стержень, заменяющий на расчётной схеме трубошпунтовую подпорную стенку, изгибается (деформируется) совместно с грунтом основания;

– отношения между контактными давлениями p_z и совместными горизонтальными перемещениями y_z описываются линейными соотношениями

$$p_z = C_z y_z , \qquad (В12)$$

где

$$C_z = K z_O , \qquad (В13)$$

где C_z – коэффициент постели, K – коэффициент пропорциональности с размерностью кН/м^4, принимаемый по таблице В3 в зависимости от вида грунта, где I_L – показатель текучести глинистых грунтов, e – коэффициент пористости песков, z_O – координата длины стенки, отсчитываемая от поверхности основания.

Таблица В3 – Коэффициенты пропорциональности K, кН/м^4

Виды грунтов	K, кН/м^4
Мягкопластичные супеси, суглинки и глины ($0{,}5 \le I_L \le 0{,}75$); супеси пластичные ($0 \le I_L \le 0{,}5$); пылеватые пески ($0{,}6 \le e \le 0{,}8$), а также рыхлые пески	2000 – 4000
Тугопластичные и полутвёрдые суглинки, глины ($0 \le I_L \le 0{,}5$); пески мелкие ($0{,}6 \le e \le 0{,}75$) и средней крупности ($0{,}55 \le e \le 0{,}70$)	4000 – 6000
Твёрдые суглинки, глины; пески крупные ($0{,}55 \le e \le 0{,}70$)	6000 – 10000
Пески гравелистые ($0{,}55 \le e \le 0{,}70$), гравий, гальки	10000 – 20000

Коэффициент пропорциональности может менять свои значения на границах геологических слоёв основания (см. рисунок В7).

При расстоянии в свету между трубами а>1,0 м, коэффициент пропорциональности умножается на коэффициент условий работы

$$\gamma_d = \frac{D+1}{D+a} \quad \text{(В14)}$$

Погонная горизонтальная нагрузка p_z на 1 погонный метр ширины подпорной стенки определяется по соотношению

$$P_z = p_z \times 1 \text{ м} = C_z y_z \times 1 \text{ м}. \quad \text{(В15)}$$

В3.5 Предельное сопротивление грунта в основании со стороны передней грани шпунтовой подпорной стенки определяется как разность пассивного p_n и активного p_a давлений, определяемых по формулам (В11) и (В10). Предельная погонная горизонтальная нагрузка на основание

$$P_{пред} = (p_n - p_a) \times 1 \text{ м}. \quad \text{(В16)}$$

По расчёту требуется выполнение условия $p_z \leq p_n - p_a$ или

$$P_z \leq P_{пред}$$

на всей высоте заглубленной части шпунтовой стенки.

По расчёту заглубленная часть ШТС разделяется на две части: верхнюю, в пределах которой силовое взаимодействие шпунтовой стенки и основания описывается погонной нагрузкой $P_{пред}$, и нижнюю – защемлённую, изгибаемую в соответствии с решением контактной задачи, где $P_z < P_{пред}$.

Расчёт выполняется методом последовательных приближений с пошаговым смещением границы между частями шпунтовой подпорной стенки. При этом устанавливается требование о том, чтобы в конце расчёта по прочности (ПС первой группы) высота защемлённой части была не менее 1/3 общей высоты заглублённой части шпунтовой сваи и не менее 5 м, а в конце расчёта по перемещениям (ПС второй группы) – не менее 1/2 общей высоты заглублённой части шпунтовой сваи.

В4 Описание расчёта

Расчёт шпунтовой подпорной стенки рекомендуется выполнять методом конечных элементов (МКЭ) в излагаемом ниже порядке.

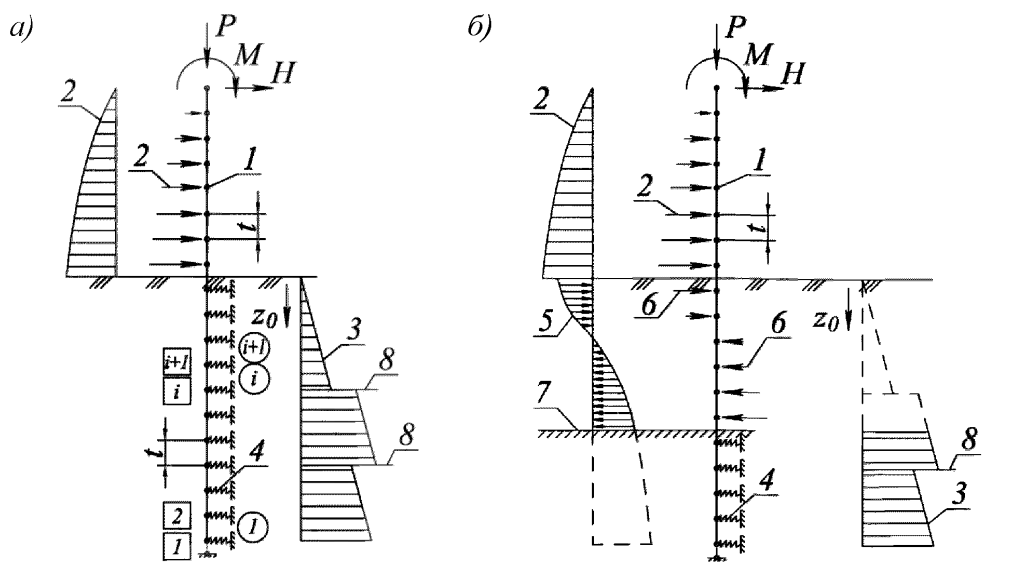
Для выполнения расчётов рекомендуется использовать программы LIRA, SCAD, MicroFe, Midas Civil или другие верифицированные (протестированные) программы, рекомендованные для применения на территории РФ.

В4.1 Создание конечно-элементной схемы путём членения (в надземной и подземной частях) вертикального стержня, изображающего шпунтовую подпорную стенку, на конечные элементы (КЭ) с шагом t не более 1 м и не более 0,1 высоты надземной (подземной) части.

При выполнении расчёта используются две системы отсчёта координат:

- отсчёт координат, нумерации КЭ и узлов на их границах, начиная с нижнего конца подпорной стенки (рисунок В8);

- отсчёт координат при определении значений коэффициентов постели $C_z=Kz_O$ от планировочной поверхности.



а – первый шаг расчёта (граница защемлённой части на уровне планировочной поверхности); *б* – второй и последующие шаги расчёта;

1 – шпунтовая подпорная стенка; *2* – эпюра p_a и силы F_{ai} в надземной части подпорной стенки; *3*, *4* – эпюра коэффициента постели $C_z=Kz_O$ и её замена условными «пружинами» с жёсткостью $B_{zi}= K_j z_{Oi} t\times 1$ м; *5*, *6* – погонная нагрузка $P_{пред,i}$ и её замена узловыми силами узловые силы R_{zi}; 7 – граница защемлённой части ШТС; 8 – граница геологических слоёв; [i] – номера узлов, (i) – номера КЭ

Рисунок В8 – Расчётные схемы шпунтовой подпорной стенки

В4.2 Замена треугольной или ступенчатой эпюры распределения коэффициента постели условными горизонтальными «пружинами» длиной 1 м с жёсткостью при растяжении-сжатии $B_z=C_z t\times 1$ м. Условные «пружины» помещаются в узлы конечно-элементной системы. Жёсткость условной пружины в i-м узле

$$B_{zi}= K_j z_{Oi} t\times 1 \text{ м}, \qquad \text{(В17)}$$

где z_{Oi} – координата z_O i-го узла, K_j – коэффициент пропорциональности j-го слоя основания, в котором находится i-й узел.

В4.3 Приложение горизонтального давления p_a к узлам надземной части задней грани шпунтовой подпорной стенки. Нагрузка p_a преобразуется в узловые силы F_{ai} по формулам

$$F_{ai}=p_{ai} t\times 1 \text{ м}, \qquad \text{(В18)}$$

где p_{ai} – давление p_a на уровне i-го узла надземной части подпорной стенки.

Определение равнодействующих: горизонтальной силы H и момента M нагрузок, приложенных к оголовку устоя и приложение их верхнему узлу рассчитываемой системы. В расчёте дорожной подпорной стенки эта операция отсутствует.

В4.4 Определение предельной погонной горизонтальной нагрузки $P_{пред,i}$ в узлах защемлённой части

$$P_{пред,i}=(p_{ni}-p_{ai})\times 1 \text{ м}, \qquad \text{(В19)}$$

где p_{ni}, p_{ai} – погонные нагрузки p_n и p_a на уровне i-го узла защемлённой части шпунтовой подпорной стенки.

В4.5 Первый (начальный) шаг расчёта. Граница защемлённой части шпунтовой подпорной стенки принимается на уровне планировочной поверхности.

Составление и решение системы уравнений МКЭ, выражающих равновесие узлов. Решением являются горизонтальные перемещения y_{zi} и углы поворота φ_{zi} шпунтовой подпорной стенки в узлах.

Определение погонной нагрузки в узлах по формулам

$$P_{zi} = p_{zi} \times 1 \text{ м} = y_{zi} K_j z_{Oi} \times 1 \text{ м} \quad \text{(В20)}$$

и узловых сил в условных «пружинах»

$$R_{zi} = P_{zi} t. \quad \text{(В21)}$$

Сравнение P_{zi} и $P_{пред,i}$ в узлах системы, выявление узлов, в которых $P_{zi} > P_{пред,i}$. Нахождение узла, в котором $P_{zi} \leq P_{пред,i}$ и перемещение границы защемлённой части шпунтовой подпорной стенки на этот уровень.

В4.6 Второй и последующие шаги расчёта. Уровень защемлённой части шпунтовой подпорной стенки по результатам предыдущего шага расчёта установлен в узле, в котором получено $P_{zi} \leq P_{пред,i}$. В вышерасположенных узлах вместо R_{zi} прикладываются нагрузки

$$F_{пред,i} = P_{пред,i} \times t = (p_{ni} - p_{ai}) t \times 1 \text{ м}. \quad \text{(В22)}$$

Повторение расчётов и логических действий предыдущего шага с новым уровнем защемления и откорректированными нагрузками.

Последним считается приближение, на котором получены соотношения $P_{zi} \leq P_{пред,i}$ во всех узлах системы.

Выполняются следующие проверки:

– высоты защемлённой части, которая должна соответствовать требованиям п. В3.5;

– условия $P_{zi} \leq P_{пред,i}$ на всех уровнях защемлённой части ШТС.

В4.7 Расчёт по ПС первой группы завершает получение узловых сил $R_{zi} = P_{zi} t$ в условных «пружинах», построение эпюр поперечных сил и моментов для каждого сочетания нагрузок.

Расчёт по ПС второй группы завершает построение изогнутой оси шпунтовой подпорной стенки и определение горизонтального перемещения в узле опирания пролётного строения на устой (с совмещёнными функциями) мостового сооружения для каждого сочетания нагрузок.

В5 Проверки по предельным состояниям

В5.1 Расчёты по предельным состояниям конструкций из ШТС в составе устоев мостовых сооружений и дорожных подпорных стенок включают проверки, указанные в п. 9.9 настоящих Методических рекомендаций.

Расчёты выполняются в соответствии с указаниями сводов правил СП 16.13330, СП 24.13330, СП 35.13330, СП 63.13330.

В5.2 Расчёт поперечных сечений на изгиб или внецентренное сжатие выполняется по формулам

$$\sigma = \frac{\mathrm{M}}{\varkappa W_n} \le R_y m, \qquad \text{(В23)}$$

$$\sigma = \frac{N}{A_n} + \frac{\mathrm{M}}{\varkappa W_n} \le R_y m, \qquad \text{(В24)}$$

где σ – расчётные напряжения в сечении трубы, M, N – момент и продольная сила в сечении трубы, $\varkappa \le 1{,}15$ – коэффициент, учитывающий ограниченное развитие пластических деформаций, принимаемый в соответствии с указаниями п. 8.26 СП 35.13330; A_n, W_n – площадь и момент сопротивления сечения трубы с учётом потерь толщины стенки от коррозии; R_y – расчётное сопротивление стали трубы по пределу текучести; m=1,0 – коэффициент условий работы.

В5.3 Расчёт сечений трубы на поперечную силу выполняется по следующим формулам

$$Q \le Q_{\text{пред}}, \quad Q_{\text{пред}} = \frac{R_s m I_n (2\delta)}{S_n} \qquad \text{(В25)}$$

где Q, $Q_{пред}$ – расчётная и предельная поперечные силы в сечении трубы; R_s =0,58R_y – расчётное сопротивление стали сдвигу; I_n, S_n – момент инерции и статический момент половины сечения трубы относительно серединной плоскости с учётом потерь толщины стенки от коррозии; δ – толщина стенки трубы.

В5.4 Расчёт прочности при сложном напряженном состоянии точек в сечениях трубы выполняется по формуле

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq R_y m, \qquad \text{(В26)}$$

где τ – касательное напряжение в проверяемой точке сечения.

В5.5 Расчёт прочности круглых сечений железобетонного заполнения на изгиб, внецентренное сжатие и поперечную силу выполняется в соответствии с указаниями СП35.1330 и СП 63.13330. Сечение стенок трубы (с учётом коррозионных потерь) учитываются в качестве рабочей арматуры в составе круглого сечения.

В5.6 Проверка конструкций деформационных швов в сопряжениях со шкафными стенками и опорных частей в узлах опирания разрезных и температурно-неразрезных пролётных строений мостовых сооружений на способность восприятия горизонтальных перемещений устоев «с совмещёнными функциями» относится к предельным состояниям первой группы. Расчёт выполняется в следующем порядке.

Определение исходных параметров:

– горизонтального перемещения $\Delta_{УО}$ и угла поворота $\varphi_{УО}$ трубошпутовой стенки в узле опирания пролётного строения, полученных в результате расчётов по п. В4 на расчётные нагрузки без учёта тормозной силы или силы тяги и температурной деформации;

– предельных горизонтальных перемещений $\Delta_{РОЧ\,пред}$ при сдвиге РОЧ в соответствии с указаниями [9], п. 7.1.3÷7.1.6;

– предельных горизонтальных перемещений в деформационных швах $\Delta_{ДШ\,пред}$ по паспортным данным проекта деформационных швов;

– горизонтальных перемещений δ_v при повороте опорных сечений балок при воздействии временной вертикальной нагрузки АК на пролётном строении, принимаемых равными: δ_v=3 мм при расчёте опорных частей, δ_v=2мм при расчёте деформационных швов.

Определение горизонтального перемещения РОЧ от воздействия тормозной силы или силы тяги по формуле

$$\delta_T = \pm \frac{T}{\sum_1^n \frac{GA_{РОЧ}}{h_{РОЧ}}}, \qquad (В27)$$

где T – тормозная сила или сила тяги, действующая в пределах температурной секции (участка) мостового сооружения между проектируемым устоем и ближайшим деформационным швом, определяемая в соответствии с указаниями п. В1.5, $\sum_1^n$ – знак суммы, охватывающий все РОЧ пролётных строений температурной секции, G – модуль сдвига резины, определяемый в соответствии с указаниями [9], $A_{РОЧ}$, $h_{РОЧ}$ - площади и толщины слоёв резины РОЧ.

Определение горизонтального перемещения РОЧ от температурной деформации пролётного строения по формуле

$$\delta_t = \pm \alpha L \Delta t, \qquad (В28)$$

где $\alpha = 1 \times 10^{-5}$ – коэффициент линейного расширения железобетонного пролётного строения, L – расстояние между осью опирания пролётного строения и центром температурного расширения (сжатия) температурной секции, определяемое в соответствии с [9], Δt – разность температур замыкания пролётного строения и расчётной температурой воздуха в тёплое и холодное время года.

Проверка горизонтальных перемещений РОЧ

$$\Delta_{УО} + \varphi_{УО} h_p + \delta_t + |\delta_T| + \delta_v \le \Delta_{РОЧ\,пред}, \qquad (В29)$$

где h_p – высота ригеля устоя.

Проверка раскрытия деформационных швов

$$\delta_v + |\delta_t| + \delta_{ус} + |\delta_T| \le \Delta_{ДШ\,пред}, \qquad (В30)$$

где $\delta_{ус} = 10^{-4}$L – перемещение от усадки бетона железобетонных пролётных строений.

Проверка закрытия деформационных швов

$$\Delta_{УО} + \varphi_{УО} h_{ШС} + \delta_t + |\delta_T| \le \Delta_{ДШ\,пред}, \qquad (В31)$$

где $h_{ШС}$ – высота шкафной стенки (включая высоту ригеля) устоя.

Примечание – В формулах (29)÷(31) перемещения δ_t от температурной деформации пролётных строений, δ_T – от торможения и силы тяги учитываются с коэффициентами сочетаний с соответствии с приложением Д СП 35.13330.

В5.7 Проверка трубошпунтовой сваи по несущей способности свай грунта основания выполняется в соответствии с указаниями п. 7.1.11 СП 24.13330 по условию

$$\frac{P(D+a)}{1000} \leq \frac{F_d}{\gamma_n \gamma_{c,g}}, \qquad \text{(В32)}$$

где P – вертикальная нагрузка на 1 погонный метр трубошпунтовой подпорной стенки, D и a – размеры на рисунке 12 в мм: диаметр трубы и ширина замкового соединения, F_d – несущая способность трубошпунтовой сваи, определённая в соответствии с указаниями СП 24.13330 и п. 9.8 настоящих Методических рекомендаций, γ_n, $\gamma_{c.g}$ – коэффициенты в соответствии с п. 7.1.11 СП 24.13330.

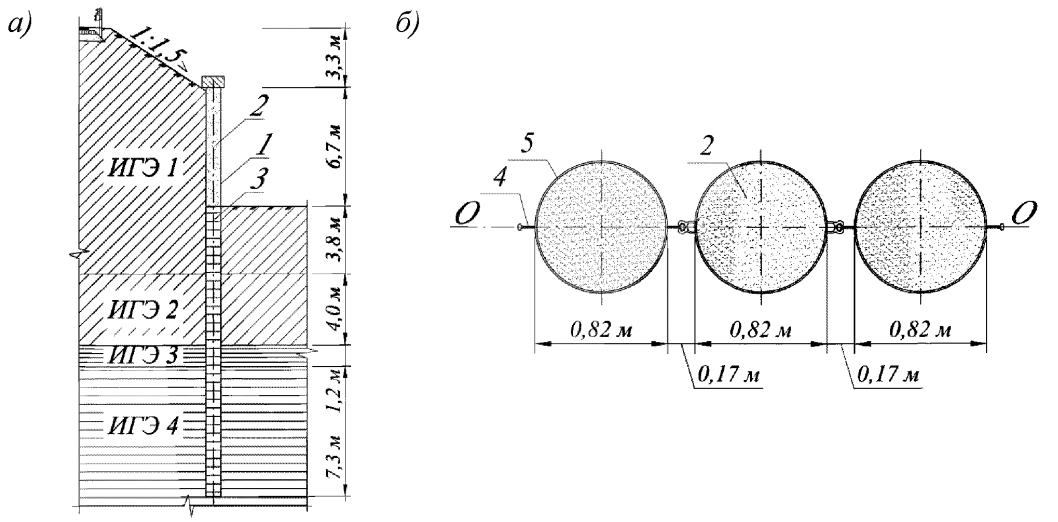
В6 Примеры расчёта сооружений из ШТС

Расчёт дорожной подпорной стенки. На рисунке В9, *а* показано сечение подпорной стенки из ШТС общей высотой 23 м, высотой надземной части 6,7 м, удерживающей грунт в дорожной выемке глубиной 10 м. Марка трубошпунта ШТС-820×13-3СГ1 (рисунок В9, *б*), внешний диаметр труб 820 мм, толщина стенок 13 мм, геометрические характеристики (с учётом уменьшения толщины стенок на 1 мм на потери от коррозии): A=307 см^2/м, I=2,5×10^5 см^4/м, W=6095 см^3/м. Марка стали 09Г2С-12 по ГОСТ 19281, расчётное сопротивление R_y=295 МПа, модуль упругости E=2,06×10^{5}МПа. Несущая способность ШТС: по моменту $M_{пред}$=1798 кН·м/м, по поперечной силе $Q_{пред}$=2727 кН/м. Описание инженерно-геологических элементов борта выемки и основания содержится в таблице В4.

Расчёты выполнялись дважды:

– по ПС первой группы (по прочности) с применением расчётных значений нагрузок и механических характеристик грунтов;

– по ПС второй группы (по перемещениям) с применением нормативных значений нагрузок и механических характеристик грунтов.



1 – конструкции ШТС; 2 – заполнение песчано-цементной смесью; 3 – грунтовое ядро; 4– замок ЗСГ1г; 5 – труба 820×13 мм

Рисунок В9 – Поперечное сечение стенки (*а*) и сечение ШТС в плане (*б*)

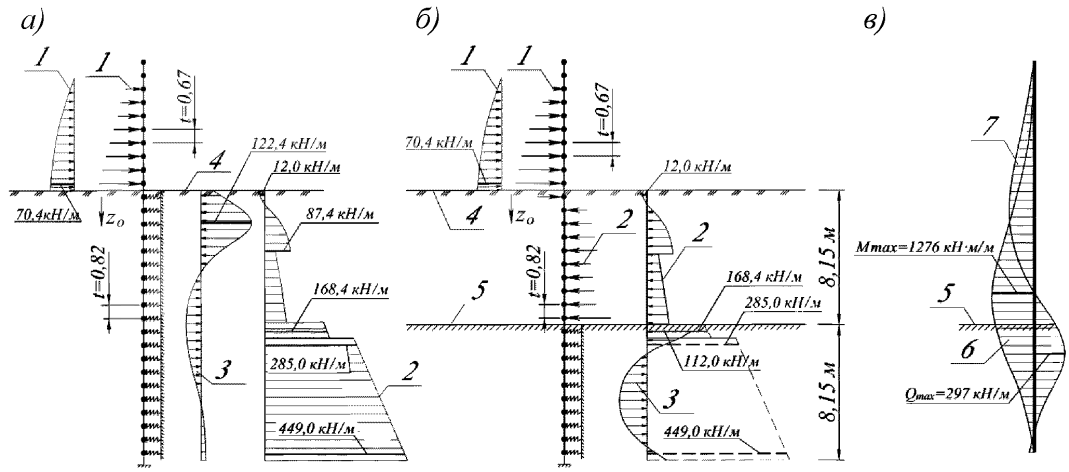
Таблица В4 – Механические характеристики грунтов

№ ИГЭ	Наименование грунтов	нормативные / расчётные			
		Удельное сцепление $c_{норм.}/c_{расч}$, кПа	Угол внутреннего трения $\varphi_{норм.}/\varphi_{расч}$, град.	Удельный вес, $\gamma_{норм.}/\gamma_{расч}$, кН/м^3	K, кН/м^4
1	Суглинок твёрдый	26,2/17,5	23,2/20,2	18,2/20,0	6000
2	Суглинок мягкопластичный	15,0/14,0	17,0/16,0	18,8/18,7	2560
3	Глина тугопластичная	33,0/32,0	18,0/17,0	18,6/18,6	4680
4	Глина полутвёрдая	36,0/36,0	19,0/18,0	18,7/18,6	5720

Расчётная схема подпорной стенки принята в виде плоского стержня с жёсткостью 1-го погонного метра ШТС EI=514 МН·м^2/м. Надземная часть разделена на 10 частей высотой 0,67 м, подземная часть – на 20 частей длиной 0,82 м. В узлах надземной части приложены силы F_{ai}, моделирующие активное давление насыпи на стенку. Распределение коэффициента постели заменено связями конечной жесткости, моделирующими взаимодействие шпунтовой сваи с грунтом.

Расчёты выполнены методом последовательных приближений с пошаговым смещением границы защемлённой части шпунтовой подпорной стенки в соответствии с указаниями п. В4. В конце каждого шага расчёта выполнялся анализ результатов, заключавшийся в сравнении расчётных $P_{zi}= p_{zi}\times 1$ м и предельных $P_{пред,i}=(p_{ni} - p_{ai})\times 1$ м значений погонной нагрузки в i-х узлах защемлённой части стенки. При определении $P_{пред,i}$ коэффициент надёжности для удельного веса грунта ИГЭ 1 был принят γ_f=1,1, удельные веса ИГЭ 2–4 были приняты в соответствии с данными инженерно-геологических изысканий.

Начальные и конечные результаты расчёта по прочности представлены в таблице В5, на схемах и эпюрах на 1-м и последнем (5-м) шагах на рисунке В10.



а – расчётная схема и результаты расчёта на первом шаге; б – расчётная схема и результаты расчётов на последнем (пятом) шаге; в – эпюры изгибающих моментов и поперечных сил;
1 – эпюра активного давления и узловые силы F_{ai} в надземной части подпорной стенки; 2 – погонная нагрузка $P_{пред}$ и её замена узловыми силами $F_{пред,i}$; 3 – погонная нагрузка $P_z = C_z y_z \times 1$ м; 4 – планировочная поверхность; 5 – граница защемления; 6 – эпюра изгибающих моментов; 7 – эпюра поперечных сил

Рисунок В10 – Схемы к расчёту подпорной стенки по первой группе предельных состояний

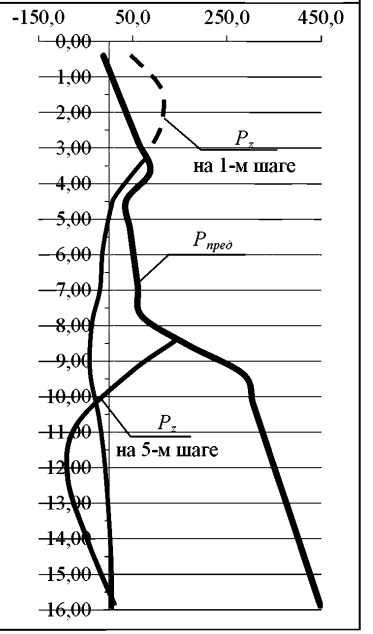
В таблице В5 жирным шрифтом выделены контактные давления в узлах превышающие предельные значения, что требует замены узловой связи на предельную узловую силу $F_{пред,i}=P_{пред,i}\times t = (p_{ni}-p_{ai})t\times 1$ м. Граница защемлённой

части перемещалась до выполнения соотношений $P_{zi} < P_{пред,i}$ (или $R_{zi}<F_{пред,i}$) во всех узлах защемлённой части стенки.

Таблица В5 – Результаты расчёта по первой группе ПС

№№ узлов	Глубина z_o, м	Жёсткость связей, B_z, кН/м	$P_{пред,i}$, кН/м	P_{zi}, кН/м				
				1-й шаг	2-й шаг	3-й шаг	4-й шаг	5-й шаг
20	0.41	1993	-12.0	**50.1**				
19	1.22	6002	12.7	**108.9**				
18	2.04	10012	37.5	**122.4**				
17	2.85	14022	62.4	**105.0**				
16	3.67	14372	87.4	56.4	**257.2**			
15	4.48	9404	36.5	13.5	**103.6**			
14	5.30	11115	44.7	-1.7	**65.6**			
13	6.11	12826	53.0	-13.1	30.4	**170.1**		
12	6.93	14537	61.4	-19.9	2.2	**105.4**		
11	7.74	22165	69.8	-30.1	-22.9	68.3	**153.5**	
10	8.56	32831	168.4	-37.8	-49.0	15.3	92.6	137.4
9	9.37	43575	285.0	-37.5	-64.8	-40.9	12.2	48.9
8	10.19	47772	305.4	-27.5	-59.3	-71.4	-50.0	-29.0
7	11.00	51594	325.8	-17.3	-47.1	-78.7	-79.3	-70.8
6	11.82	55417	346.1	-8.9	-33.0	-71.0	-84.2	-84.1
5	12.63	59240	366.9	-2.7	-19.8	-55.4	-73.6	-78.3
4	13.45	63062	387.4	1.3	-8.8	-36.9	-54.8	-61.4
3	14.26	66885	407.9	3.6	-0.1	-18.1	-32.5	-39.1
2	15.08	70708	428.4	4.9	7.0	0.3	-8.7	-14.2
1	15.89	74530	449.0	5.8	13.8	19.4	16.7	12.8

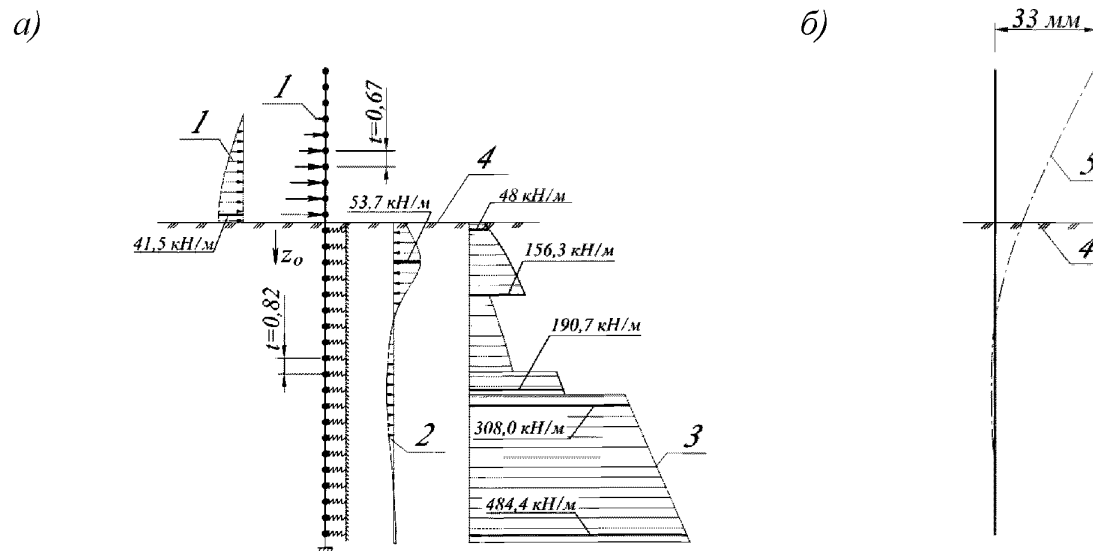
Эпюры контактных погонных нагрузок на 1 и 5 шагах расчёта



В результате последовательного перемещения границы защемления ШТС и замены связей конечной жёсткости на узловые силы, соответствующие предельному сопротивлению грунта, получена расчётная схема, в которой обеспечена устойчивость грунта, окружающего шпунт: $R_{zi}<F_{пред,i}$. Граница защемления, определилась на уровне 8,15 м от планировочной поверхности и 8,15 м от нижнего конца ШТС. Эпюры изгибающих моментов и поперечных сил в стенке показаны на рисунке В10, *в, г*.

Расчёт по перемещениям был закончен на первом шаге, так как было получено соотношение $P_{zi}<P_{пред,i}=(p_{ni}-p_{ai})\times 1м$ (рисунок В11).

Результаты расчёта по ПС второй группы представлены в таблице В6 на схемах и эпюрах на рисунке В11.



а – расчётная схема и результаты расчёта на первом шаге; б – изогнутая ось ШТС;
1 – эпюра активного давления и узловые силы F_{ai} в надземной части подпорной стенки;
2 – контактное давление $P_z = C_z y_z \times 1\ м$; 3 – погонная нагрузка $P_{пред}$; 4 – планировочная поверхность; 5 – изогнутая ось шпунтовой стенки

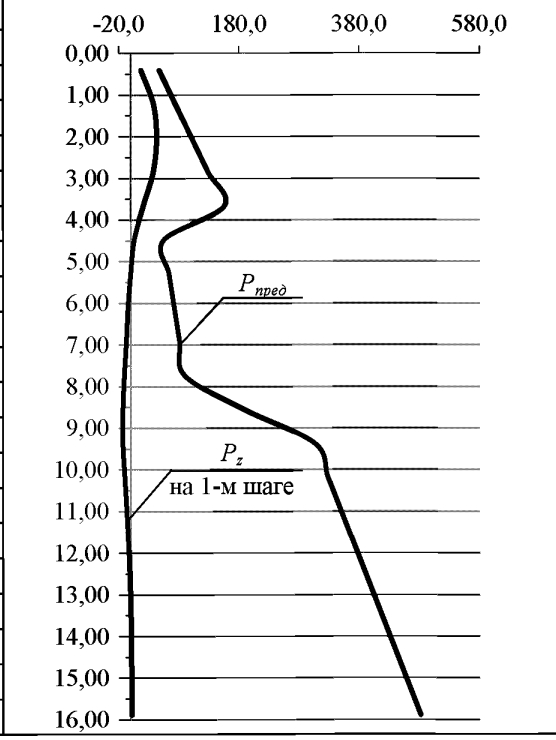
Рисунок В11 – Схемы к расчёту подпорной стенки по второй группе предельных состояний

Горизонтальное перемещение (33 мм) верхнего конца стенки из ШТС не превысило 1/75 высоты надземной части подпорной стенки.

Таблица В6 – Результаты расчёта по второй группе ПС

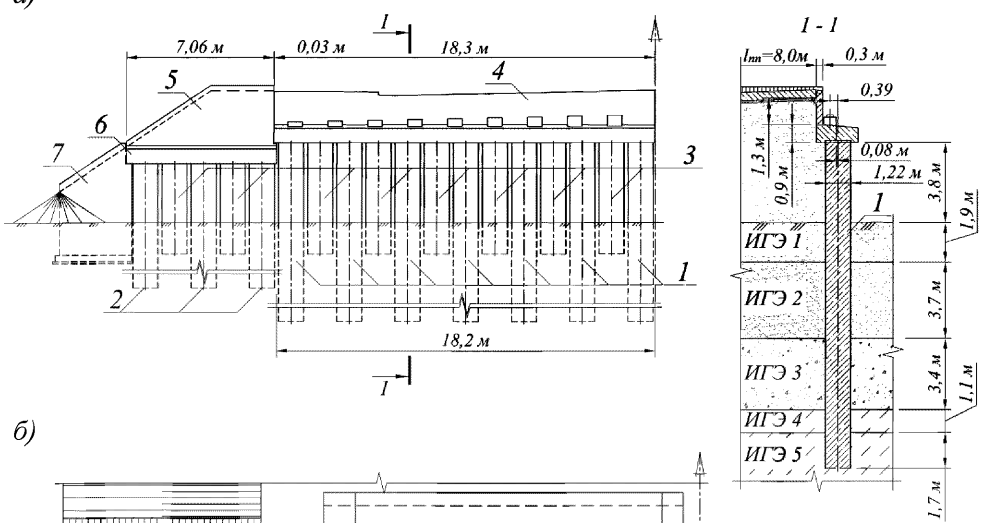
№№ узлов	Глубина z_o, м	Жёсткость связей, B_z, кН/м	$P_{пред.i}$, кН/м	P_{zi}, кН/м
20	0.41	1993	48.0	21.5
19	1.22	6002	75.0	47.2
18	2.04	10012	102.0	53.7
17	2.85	14022	129.1	46.8
16	3.67	14372	156.3	25.9
15	4.48	9404	55.3	6.8
14	5.30	11115	64.4	0.2
13	6.11	12826	73.5	-4.8
12	6.93	14537	82.6	-7.9
11	7.74	22165	91.8	-12.3
10	8.56	32831	190.7	-15.7
9	9.37	43575	308.0	-15.8
8	10.19	47772	330.0	-11.7
7	11.00	51594	351.9	-7.5
6	11.82	55417	374.0	-4.0
5	12.63	59240	395.9	-1.3
4	13.45	63062	418.0	0.4
3	14.26	66885	440.0	1.4
2	15.08	70708	462.0	2.0
1	15.89	74530	484.0	2.5

Эпюра контактных погонных нагрузок по результатам расчёта по перемещениям

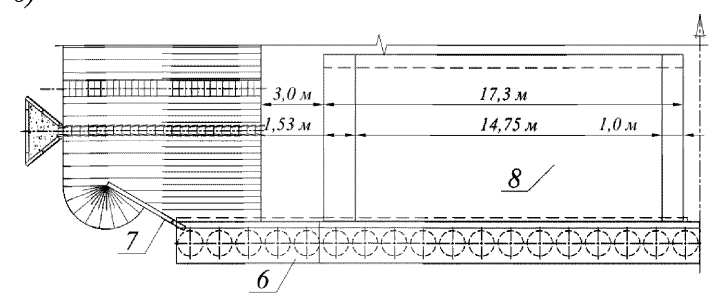


Расчёт устоя путепровода. На рисунке В12 показан общий вид устоя с совмещёнными функциями путепровода по схеме 1×15,0 м с габаритом 2×Г-14,75. Временные нагрузки А14, Н14 в соответствии с ГОСТ 33390 и ГОСТ 32960. Передняя стенка устоя в соответствии со схемой на рисунке В12 состоит из шпунта ШТС-1220×12-ЗСГ1ог* по ТУ 5264-017-13512256 с трубами, заполненными железобетоном и песчано-цементной смесью. Шаг несущих свай 2,8 м. Сталь конструкций ШТС марки 09Г2С-12 по ГОСТ 19281, расчётное сопротивление R_y=295 МПа, модуль упругости E_s=2,06×10^5 МПа. Железобетонное заполнение состоит бетона класса по прочности на сжатие В25 и арматурного каркаса из продольных стержней 24Ø22А400 (A_{tot}=91,2 см^2) спирали Ø8А240 с шагом 200 мм.

а)



б)



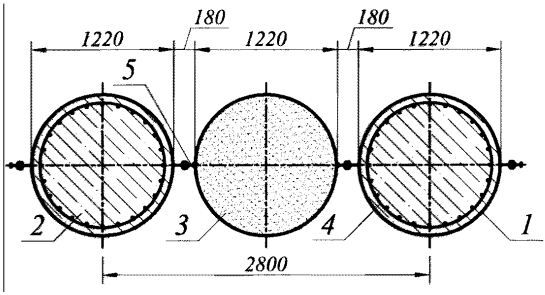
а – фасад опоры ОК1; б – план опоры ОК1

1 – несущие ШТС опоры путепровода; 2 – заглубленные элементы ШТС откосной части насыпи; 3 – ненесущие элементы ШТС; 4 – оголовок устоя; 5 – железобетонная стенка; 6 – железобетонная насадка; 7 – открылок; 8 – переходная плита

Рисунок В12 – Общий вид устоя

Геометрические характеристики (с учётом уменьшения толщины стенок на 1 мм на потери от коррозии): A_{red}=2144 см^2, I_{red}=2,35×10^6 см^4, A=766 см^2/м, I=8,4×10^5 см^4/м. Несущая способность ШТС: по моменту $M_{пред}$=2196 кН·м/м, по поперечной силе (без учёта трубы и продольной арматуры) $Q_{пред}$=394 кН/м. Жёсткостные характеристики EA=15777 МН/м; EI=1732 МН·м^2/м.

Описание инженерно-геологических элементов основания и насыпи содержится в таблице В7.



1 – трубошпунт ШТС-1220х12-ЗСГ1ог**; 2 –бетон В25; 3 – песчано-цементная смесь; 4 – арматурный каркас 24Ø22А400; 5 – замковое соединение ЗСГ1ог**;

Рисунок В13 – Фрагмент шпунтового ряда устоя

Таблица В7 – Механические характеристики грунтов

№ ИГЭ	Наименование грунтов	нормативные расчётные			
		Удельное сцепление $c_{норм.}/c_{расч}$, кПа	Угол внутреннего трения $\varphi_{норм.}/\varphi_{расч}$, град.	Удельный вес, $\gamma_{норм.}/\gamma_{расч}$, кН/м^3	K, кН/м^4
	Засыпка за устоем	0	35/–	19,5/17,7	
1	Пески средней крупности	1/1	35/32	17,8/17,5	4667
2	Пески гравелистые	0	38/31	17,3/17,0	13300
3	Супесь песчанистая твёрдая	21/14	30/26	22,1/21,9	4000
4	Супесь пылеватая твёрдая	21/14	33/33	21,9/21,7	4000

Расчёты выполнялись в три этапа:

– по ПС первой группы (по прочности) с применением расчётных значений нагрузок и механических характеристик грунтов;

– по ПС первой группы с применением расчётных значений нагрузок и механических характеристик грунтов на воздействие постоянных и

временных вертикальных нагрузок, для определения перемещений оголовка устоя и расчёта опорных частей и деформационных швов;

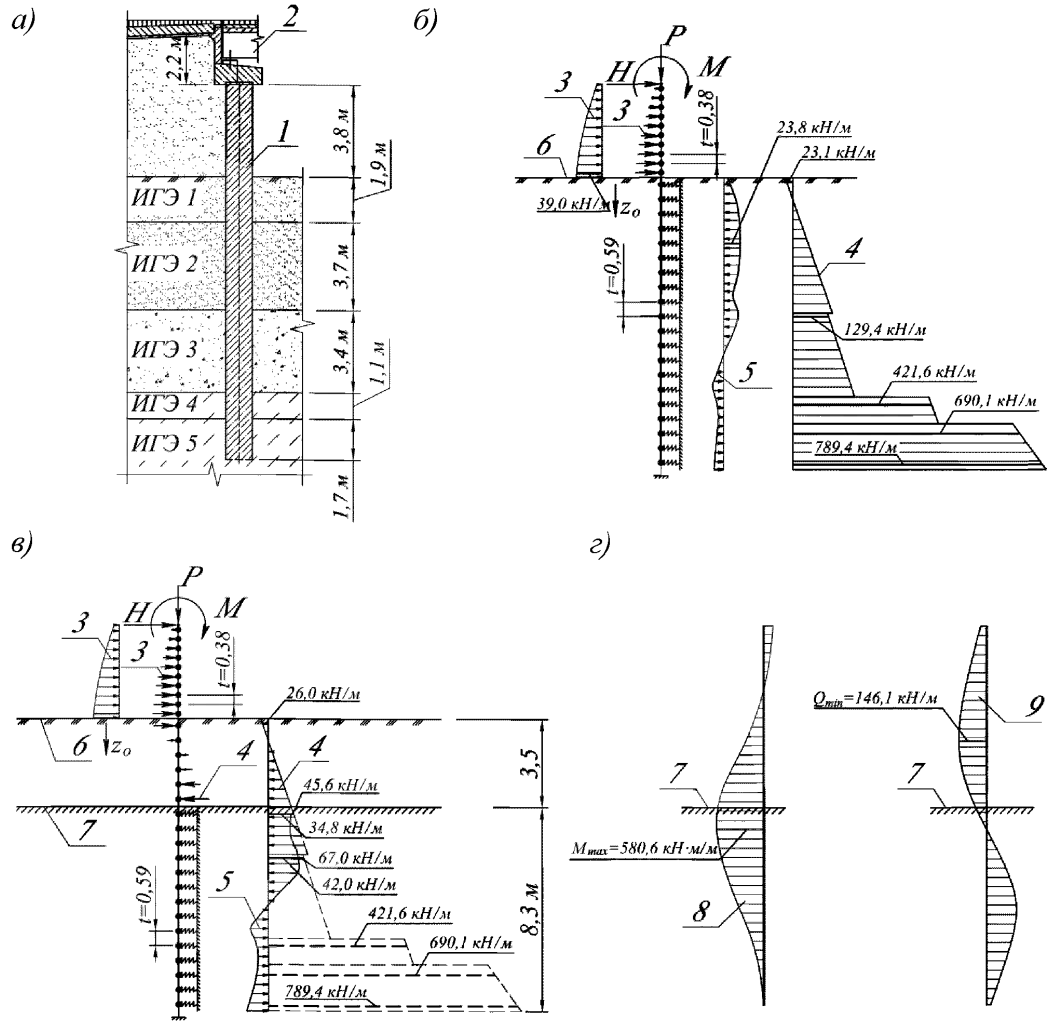
– по ПС второй группы (по перемещениям) с применением нормативных значений нагрузок и механических характеристик грунтов.

Схема и сочетания нагрузок, приложенных к оголовку устоя, приведены на рисунке В1 и в таблице В8. Номера нагрузок приняты в соответствии с таблицей В1, п. В1.5. В качестве расчётного принято сочетание нагрузок 3: Р=356,7 кН/м, Н=24,0 кН/м, М= -154,6 кН·м/м.

Таблица В8 – Сочетания нагрузок, приложенных к оголовку устоя

№ пп	Наименование нагрузок (воздействий)	Нормативные нагрузки, кН/м, кН·м/м	γ_f; $1+\mu$	Расчётные нагрузки, кН/м, кН·м/м
	Постоянные нагрузки:	*P= 207.0* *H= 10.8* *M_y= -112.1*	γ_f>1.0	*P= 246.0* *H= 15.2* *M_y= -131.5*
1	Постоянные нагрузки + 8	*P= 285.8* *H= 10.8* *M_y= -142.8*	γ_f >1.0; $1+\mu$	*P= 384.4* *H= 15.2* *M_y= -185.5*
2	Постоянные нагрузки + 9	*P= 331.5* *H= 10.8* *M_y= -160.7*	γ_f>1.0	*P= 382.9* *H= 15.2* *M_y= -185.0*
3	**Постоянные нагрузки + 0,8*8 + 0,8*10 + 0,7*11**	***P= 270.1*** ***H= 18.4*** ***M_y= -119.2***	***γ_f >1.0; $1+\mu$***	***P= 356.7*** ***H= 24.0*** ***M_y= -154.6***
4	Постоянные нагрузки + 0,7*8 + 0,7*10 + 0,8*11	*P= 262.2* *H= 18.0* *M_y= -117.6*	γ_f >1.0; $1+\mu$	*P= 342.9* *H= 23.6* *M_y= -150.9*
5	Постоянные нагрузки + 11	*P= 207.0* *H= 13.8* *M_y= -108.5*	γ_f>1.0	*P= 246.0* *H= 18.7* *M_y= -127.2*

Расчётная схема устоя (рисунок В14) принята в виде плоского стержня с жёсткостью 1-го погонного метра ШТС EI=1732 МН·м^2/м. Надземная часть разделена на 10 частей высотой 0,38 м, подземная часть – на 20 частей длиной 0,59 м. В узлах надземной части приложены силы F_{ai}, моделирующие активное давление насыпи на стенку. Распределение коэффициента постели заменено связями конечной жесткости, моделирующими взаимодействие шпунтовой сваи с грунтом.



а – сечение устоя; б – расчётная схема и результаты расчёта на первом шаге;
в – расчётная схема и результаты расчётов на последнем (четвёртом) шаге; г – эпюры изгибающих моментов и поперечных сил в трубошпунте;

1 – конструкции устоя из ШТС; 2 – пролётное строение; *3* – эпюра активного давления и узловые силы F_{ai} в надземной части подпорной стенки; 4 – погонная нагрузка $P_{пред}$ и её замена узловыми силами $F_{пред,i}$; 5– погонная нагрузка $P_z = C_z\, y_z \times 1\ м$; *6* – планировочная поверхность; 7 – граница защемления; 8 – эпюра изгибающих моментов; 9 – эпюра поперечных сил

Рисунок В14 – Схемы к расчёту устоя по ПС первой группы

Расчёты выполнены методом последовательных приближений с пошаговым смещением границы защемлённой части шпунтовой подпорной стенки в соответствии с указаниями п. В4. В конце каждого шага расчёта выполнялся анализ результатов, заключавшийся в сравнении расчётных $P_{zi} = p_{zi} \times 1$ м и предельных $P_{пред,i} = (p_{ni} - p_{ai}) \times 1$ м – значений погонной нагрузки в

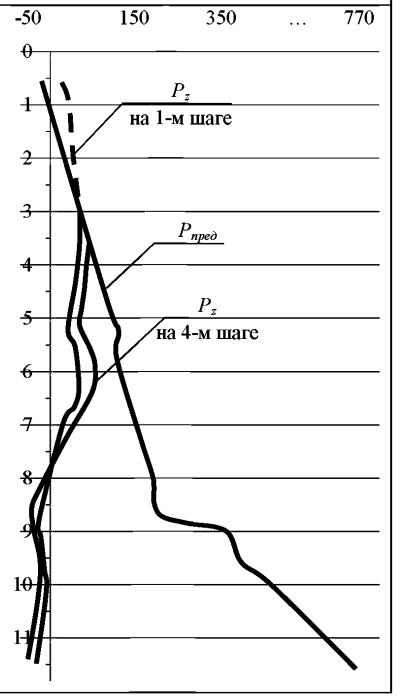
i-х узлах защемлённой части стенки. При определении $P_{пред,i}$ коэффициент надёжности для удельного веса грунта насыпи был принят γ_f =1,1, удельные веса ИГЭ 1–4 были приняты по данным инженерно-геологических изысканий.

Начальные и конечные результаты расчёта по прочности (на 1-м и 4-м шагах) представлены в таблице В9, на схемах и эпюрах на рисунке В14, *б*, *в*, *г*.

В таблице В9 жирным шрифтом выделены контактные давления в узлах превышающие предельные значения, что требует замены узловой связи на предельную узловую силу $F_{пред,i}= P_{пред,i}\times t=(p_{ni}-p_{ai})t\times 1$ м. Граница защемлённой части перемещалась до выполнения соотношений $P_{zi} < P_{пред,i}$ (или $R_{zi}<F_{пред,i}$) во всех узлах защемлённой части стенки.

Таблица В9 – Результаты расчёта по ПС первой группы

№№ узлов	Глубина z_o, м	Жёсткость связей, B_z, кН/м	$P_{пред,i}$, кН/м	P_{zi}, кН/м			
				1-й шаг	2-й шаг	3-й шаг	4-й шаг
20	0.3	634	-23.1	**8.7**			
19	0.89	1903	-6.4	**22.6**			
18	1.48	3172	10.4	**32.3**			
17	2.07	4441	27.1	**38.0**			
16	2.66	5710	43.8	40.3	**59.8**		
15	3.25	6979	60.6	39.8	59.5	**62.4**	
14	3.84	8248	77.3	36.9	55.8	58.6	59.0
13	4.43	9517	94.1	32.3	49.5	52.1	52.5
12	5.02	10786	110.8	26.6	41.3	43.7	44.0
11	5.61	25035	113.6	42.0	66.6	70.7	71.2
10	6.2	38068	129.4	38.8	63.8	68.2	**68.8**
9	6.79	41693	145.2	20.3	36.1	39.2	39.6
8	7.38	45319	161.0	2.6	9.5	11.2	11.5
7	7.97	48944	176.8	-14.0	-15.8	-15.4	-15.3
6	8.56	52570	192.6	-29.6	-39.8	-40.7	-40.7
5	9.15	27096	421.6	-21.5	-30.4	-31.4	-31.5
4	9.74	17946	449.7	-17.7	-25.7	-26.8	-26.9
3	10.33	19034	690.1	-22.1	-32.7	-34.1	-34.3
2	10.92	20122	729.7	-26.7	-39.9	-41.7	-42.0
1	11.51	21209	769.4	-31.5	-47.5	-49.8	-50.1



В результате последовательного перемещения границы защемления ШТС и замены связей конечной жёсткости на узловые силы, соответствующие предельному сопротивлению грунта, получена расчётная схема, в которой обеспечена устойчивость грунта, окружающего шпунт: $R_{zi}<F_{пред,i}$. Граница

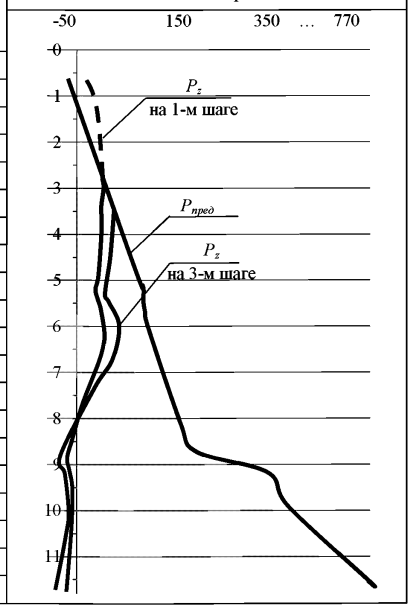
защемления, определилась на уровне 3,5 м от планировочной поверхности и 8,3 м от нижнего конца ШТС. Эпюры изгибающих моментов и поперечных сил в стенке показаны на рисунке В14, г.

Для оценки возможности восприятия опорными частями и деформационными швами горизонтальных перемещений был выполнен расчёт устоя по первой группе ПС на воздействие постоянных и временных вертикальных нагрузок в той же последовательности, что предыдущий расчёт. Результаты расчёта приведены в таблице В10.

Таблица В10 – Результаты расчёта по первой группе ПС на действие постоянных и временных вертикальных нагрузок

№№ узлов	Глубина z_o, м	Жёсткость связей, B_z, кН/м	$P_{пред.i}$, кН/м	P_{zi}, кН/м		
				1-й шаг	2-й шаг	3-й шаг
20	0.3	634	-23.1	**8.0**		
19	0.89	1903	-6.4	**21.0**		
18	1.48	3172	10.4	**29.9**		
17	2.07	4441	27.1	**35.3**		
16	2.66	5710	43.8	37.4	**55.5**	
15	3.25	6979	60.6	36.9	55.3	57.4
14	3.84	8248	77.3	34.3	51.8	53.9
13	4.43	9517	94.1	30.1	46.0	47.9
12	5.02	10786	110.8	24.7	38.4	40.1
11	5.61	25035	113.6	39.0	61.8	64.8
10	6.2	38068	129.4	36.2	59.2	62.5
9	6.79	41693	145.2	19.0	33.5	35.8
8	7.38	45319	161.0	2.5	8.8	10.1
7	7.97	48944	176.8	-12.9	-14.7	-14.3
6	8.56	52570	192.6	-27.4	-37.0	-37.6
5	9.15	27096	421.6	-19.9	-28.2	-29.0
4	9.74	17946	449.7	-16.4	-23.9	-24.7
3	10.33	19034	690.1	-20.5	-30.3	-31.4
2	10.92	20122	729.7	-24.8	-37.0	-38.4
1	11.51	21209	769.4	-29.2	-44.1	-45.8

Эпюры погонных нагрузок на 1 и 3 шагах расчёта

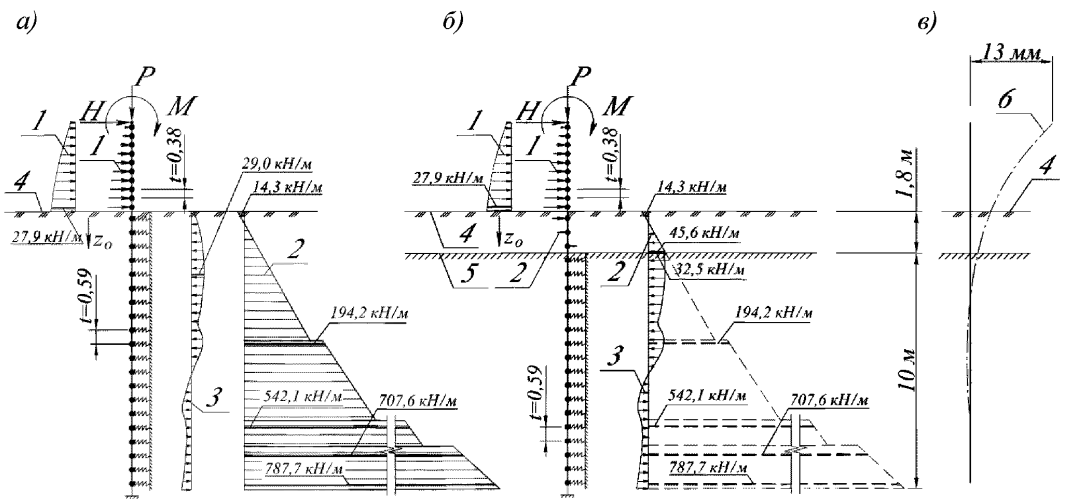


Граница защемления, определилась на уровне 3,0 м от планировочной поверхности и 9,8 м от нижнего конца ШТС. Горизонтальное перемещение верхнего конца ШТС составило 20 мм, угол поворота – $2{,}2\times10^{-3}$ рад. Наибольшие перемещения, рассчитанные в соответствии с требованиями п.В5.6

с учётом коэффициентов сочетания временных нагрузок для опорных частей и деформационных швов составили 35 мм.

Расчёт по перемещениям был закончен на третьем шаге, так как было получено соотношение $P_{zi}<P_{пред,i}=(p_{ni}-p_{ai})\times 1м$ (рисунок В15). Горизонтальное перемещение верхнего конца ШТС составило 13 мм.

Начальные и конечные результаты расчёта по ПС второй группы представлены в таблице В11 на схемах на рисунке В15.

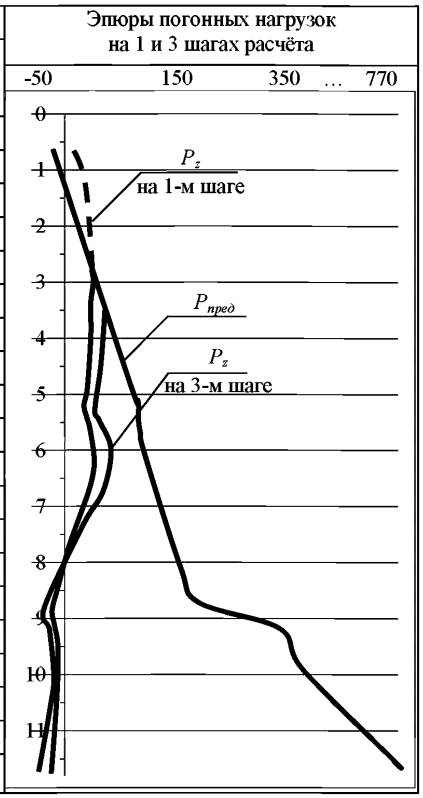


а – расчётная схема и результаты расчёта на первом шаге;
б – расчётная схема и результаты расчёта на втором шаге; в – изогнутая ось трубошпунта;
1 – эпюра активного давления и узловые силы F_{ai} в надземной части подпорной стенки;
2 – погонная нагрузка $P_{пред}$ и её замена узловыми силами $F_{пред,i}$;
3 – контактное давление $P_z = C_z y_z \times 1\,м$; 4 – планировочная поверхность; 5 – граница защемления; 6 – изогнутая ось трубошпунта

Рисунок В15 – Схемы к расчёту устоя по ПС второй группы

Таблица В11 – Результаты расчёта по второй группе ПС

№№ узлов	Глубина z_o, м	Жёсткость связей, B_{z_i}, кН/м	$P_{пред.i}$, кН/м	P_{zi}, кН/м		
				1-й шаг	2-й шаг	3-й шаг
20	0.3	634	-23.1	**8.0**		
19	0.89	1903	-6.4	**21.0**		
18	1.48	3172	10.4	**29.9**		
17	2.07	4441	27.1	**35.3**		
16	2.66	5710	43.8	37.4	**55.5**	
15	3.25	6979	60.6	36.9	55.3	57.4
14	3.84	8248	77.3	34.3	51.8	53.9
13	4.43	9517	94.1	30.1	46.0	47.9
12	5.02	10786	110.8	24.7	38.4	40.1
11	5.61	25035	113.6	39.0	61.8	64.8
10	6.2	38068	129.4	36.2	59.2	62.5
9	6.79	41693	145.2	19.0	33.5	35.8
8	7.38	45319	161.0	2.5	8.8	10.1
7	7.97	48944	176.8	-12.9	-14.7	-14.3
6	8.56	52570	192.6	-27.4	-37.0	-37.6
5	9.15	27096	421.6	-19.9	-28.2	-29.0
4	9.74	17946	449.7	-16.4	-23.9	-24.7
3	10.33	19034	690.1	-20.5	-30.3	-31.4
2	10.92	20122	729.7	-24.8	-37.0	-38.4
1	11.51	21209	769.4	-29.2	-44.1	-45.8



Расчёт несущей способности свай по грунту был выполнен в соответствии с СП 24.13330. Погонные нагрузки на устой путепровода из таблицы В8 были приложены к свае устоя в соответствии с шагом расположения свай. Основные расчётные параметры свай и основания представлены в таблице В12 и на рисунке В16.

Таблица В12 – Основные параметры сваи

Наружный диаметр	D	м	1,22
Площадь поперечного сечения	A	$м^2$	1,17
Периметр поперечного сечения	u	м	3,83
Коэффициент условия работы сваи в грунте	g_c		0,8
Коэффициент условия работы грунта под острием	$g_{R,R}$		1,0
Коэффициент условия работы грунта по боковой поверхности	$g_{R,f}$		0,7
Коэффициент надежности	$\gamma_{c,g}$		1,65
Коэффициент надежности по ответственности	g_n		1,0

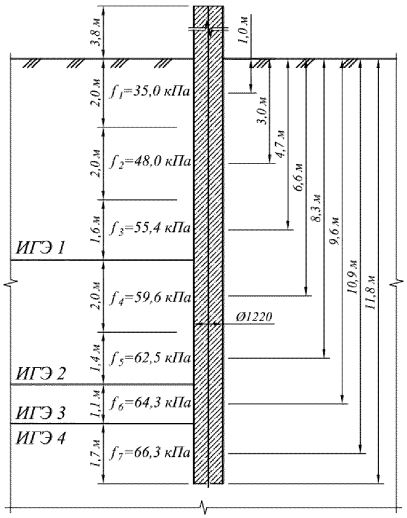


Рисунок В16 – Схема геологического разреза

$$F_d=g_c\,(g_{R,R}AR+g_{R,f}\,u\Sigma g_{R,fi}f_i l)=$$
$$=0,8\times(1,0\times1,17\times1525+0,7\times3,83\times$$
$$\times[2,0\times35,0+2,0\times48,0+1,6\times55,4+$$
$$+2,0\times59,6+1,4\times62,5+1,1\times64,3+$$
$$+1,7\times66,3)]=2810\text{ кН}$$

P=384,4×2,8=1076 кН – вертикальная нагрузка на голову сваи.

N=1076,3+1,1×(3,8+11,8)×1,17×24,53= =1569 кН

$$\frac{F_d}{\gamma_n\times\gamma_{c.g}}=\frac{2810}{1,0\times1,65}=$$
$$=1703\text{ кН}>N=1569\text{ кН}$$

Несущая способность сваи по грунту **обеспечена.**

Приложение Г

Указания по расчёту дорожных инженерных сооружений из ШТС методом конечных элементов (МКЭ) с использованием упругопластической модели грунта

Г.1 Для расчётов следует выбирать верифицированную или протестированную программу, допущенную к применению (или широко применяемую) на территории Российской Федерации. Примерами таких программ являются *PLAXIS 2D*, *Midas GTS*. К выполнению расчётов следует привлекать специалистов, знакомых с методами выполнения нелинейных расчётов геотехнических объектов или прошедших специальную подготовку.

Г.2 Расчёты выполняются по ПС первой (по прочности и устойчивости) и второй (по перемещениям) групп.

Задача расчёта решается как плоская (плоская деформация). Форма и размеры расчётной области, граничные условия принимаются в соответствии со схемой на рисунком Г1. Размеры расчётной области определяются в зависимости от высоты h засыпки за устоем или высоты дорожной подпорной стенки. На контакте шпунтовой стенки и грунта засыпки учитываются только горизонтальные связи (неразрывность по горизонтали) и не учитываются вертикальные связи. На контакте грунта и заглублённой части шпунтовой стенки учитываются горизонтальные связи, а вертикальные связи – в размере, не превышающем сопротивление грунта основания по боковой поверхности ШТС. Вертикальная связь нижнего конца шпунтовой стенки с основанием неразрывная.

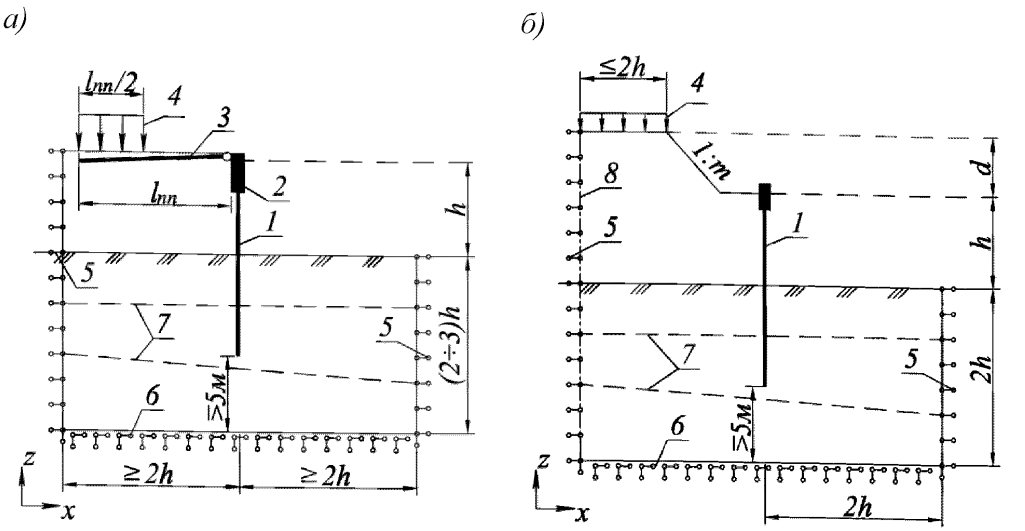
Г.3 Из моделей грунта, содержащихся в программах, для расчётов подпорных стенок из ШТС следует выбирать модель, сочетающую физические уравнения закона Гука и условия прочности Мора-Кулона.

Примечание – В алгоритмах и программах МКЭ сжатие считается отрицательным направлением напряжений. В связи с этим в описаниях и решениях упругопластических задач уравнение Мора-Кулона используется в записи

$$\frac{\sigma_1-\sigma_2}{2}+\frac{\sigma_1+\sigma_2}{2}sin\varphi - c\cdot cos\varphi = 0, \qquad (Г1)$$

где σ_1 (σ_2) – меньшее (большее) по абсолютной величине отрицательное (сжимающее) главное напряжение ($\sigma_1 \geq \sigma_2$, $|\sigma_1| \leq |\sigma_2|$).

Стенка из ШТС моделируется на расчётной схеме упругими плоскими стрежневыми конечными элементами с жёсткостью при изгибе E_sI, при растяжении сжатии E_sA, где E_s – модуль упругости стали конструкций ШТС, A, I – площадь и момент инерции сечения 1-го погонного метра шпунтовой стенки, определяемые в соответствии с указаниями п. 9.3.



а – устой мостового сооружения; *б* – дорожная подпорная стенка;

1 – подпорная стенка из ШТС; *2* – оголовок устоя; *3* – переходная плита; *4* – нагрузка на переходной плите (временная нагрузка на земляном полотне); *5* – связи по направлению *X*; *6* – связи по направлениям *X* и *Z*; *7*– границы геологических слоёв; *8* – плоскость симметрии земляного полотна

Рисунок Г1 – Размеры расчётных областей и граничные условия

Континуальные конечные элементы (КЭ), изображающие на расчётной схеме грунты насыпи (засыпки за устоем) и основания описываются следующими механическими характеристиками: удельным весом, углом внутреннего трения, удельным сцеплением, модулем деформации, коэффициентом поперечной деформации, параметром дилатансии.

В постановке упругопластической задачи принято, что деформации грунтов насыпи (засыпки за устоем) и основания включают линейную (по закону Гука) и пластическую части в соответствии с диаграммой Прандтля.

Пластическая составляющая деформаций конечных элементов, моделирующих грунт, возникает после достижения напряжённым состоянием предела прочности в соответствии с уравнением Мора-Кулона (Г1). Математическая процедура упругопластического расчёта является итерационным процессом.

Г.4 Входная информация включает следующие группы исходных данных:

– общую информацию: единицы измерения, типы КЭ;

– границы и размеры расчётной области, граничные условия, указания к построению конечно-элементной сетки;

– описание грунта засыпки за устоем (земляного полотна дороги), инженерно-геологического строения основания;

– описание стержневых КЭ (координаты, размеры, жёсткостные характеристики E_sA, E_sI);

– описание нагрузок, вес засыпки за устоем, земляного полотна;

– природное давление в основании (задаётся распределённым по гидростатическому закону):

$$p_{xg} = p_{zg}, \qquad (Г2)$$

где p_{zg} – вертикальное давление (напряжение) в основании, определяемое по формулам (В2) – (В5) п. В4 приложения В, p_{xg} – горизонтальное напряжение;

– задание этапов (стадий) изменения размеров расчётной области и приложения нагрузок.

Г.5 Программа выполняет две группы расчётов:

– описание напряжённо-деформированного состояния расчётной области, построение деформированной оси ШТС, изополей перемещений в континуальных КЭ, пластических областей;

– расчёт устойчивости системы по методу понижающей редукции прочностных характеристик ($tg\varphi$–c) грунтов с построением изополей пластических деформаций континуальных КЭ, моделирующих грунт; определение коэффициентов устойчивости.

Показателем исчерпания несущей способности подпорной стенки из ШТС совместно с насыпью (засыпкой за устоем) и основанием является завершение расчёта с несходящейся итерацией.

Требуемые значения коэффициентов устойчивости грунтово-стержневой системы с подпорными стенками из ШТС: с мостовым устоем γ_k=1,25, с дорожной подпорной стенкой из ШТС γ_k=1,20.

Г.6 В расчётах по ПС первой группы выполняются следующие проверки и определения:

– проверки прочности стенок из ШТС по изгибающим моментам и поперечным силам в соответствии с изложенным в приложении В;

– определение продольной силы в трубах шпунтовой подпорной стенки.

По результатам расчётов по ПС второй группы выполняется построение деформированной оси шпунтовой стенки, определяется горизонтальное перемещение и угол поворота верхнего конца стенки. В соответствии с указаниями приложения В выполняются проверки конструкций деформационных швов и опорных частей в узлах опирания пролётных строений мостовых сооружений на способность восприятия горизонтальных перемещений устоев.

Библиография

[1] СТО-ГК «Транстрой»-012-2007	Стальные конструкции мостов. Заводское изготовление
[2] Пособие к СНиП 3.07.02-87	Гидротехнические морские и речные транспортные сооружения
[3]	Правила по охране труда при сооружении мостов (1991 г.)
[4]	Приказ министерства транспорта РФ№402 от 16.11.2012 г. «Классификация работ по капитальному ремонту, ремонту и содержанию автомобильных дорог»
[5] ОДМ 218.3.014-2011	Методика оценки технического состояния мостовых сооружений на автомобильных дорогах
[6] ОДМ 218.3.042-2014	Рекомендации по определению параметров и назначению категорий дефектов при оценке технического состояния мостовых сооружений на автомобильных дорогах
[7] ОДМ 218.4.001-2008	Методические рекомендации по организации обследования и испытания мостовых сооружений на автомобильных дорогах
[8] ОДМ 218.3.008-2011	Рекомендации по мониторингу и обследованию подпорных стен и удерживающих сооружений на оползневых участках автомобильных дорог
[9] ОДМ 218.2.002-2008	Рекомендации по проектированию и установке полимерных опорных частей мостов
[10]	Методические рекомендации по применению конструкций температурно-неразрезных пролетных строений

ОКС _____

Ключевые слова: шпунт трубчатый сварной, расчёт, проектирование, строительство, подпорные стенки, мостовые устои

Руководитель организации-разработчика

ООО «Центр-Дорсервис»
наименование организации

Генеральный директор	_____	М.А. Карпович
должность	личная подпись	инициалы, фамилия

gost.e-ecolog.ru