МИНИСТЕРСТВО СТРОИТЕЛЬСТВА
И ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

СВОД ПРАВИЛ **СП 453.1325800.2019**

СООРУЖЕНИЯ ИСКУССТВЕННЫЕ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ЛИНИЙ

Правила проектирования и строительства

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2020

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

Сведения о своде правил

1 ИСПОЛНИТЕЛИ — Открытое акционерное общество по проектированию строительства мостов «Институт Гипростроймост» (ОАО «Институт Гипростроймост»), Общество с ограниченной ответственностью «Научно-инженерный центр Тоннельной ассоциации» (ООО «НИЦ Тоннельной ассоциации»), Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I» (ФГБОУ ВО ПГУПС)

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 465 «Строительство»

3 ПОДГОТОВЛЕН Департаментом градостроительной деятельности и архитектуры Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации (Минстрой России)

4 УТВЕРЖДЕН приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 16 декабря 2019 г. № 809/пр и введен в действие с 17 июня 2020 г.

5 ЗАРЕГИСТРИРОВАН Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт)

6 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего свода правил соответствующее уведомление будет опубликовано в установленном порядке. Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте разработчика (Минстрой России) в сети Интернет

© Минстрой России, 2019
© Стандартинформ, оформление, 2020

Настоящий свод правил не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания на территории Российской Федерации без разрешения Минстроя России

Содержание

1 Область применения . . . 1
2 Нормативные ссылки . . . 1
3 Термины и определения . . . 3
4 Обозначения . . . 5
5 Проектирование искусственных сооружений . . . 9
5.1 Общие указания . . . 9
5.2 Расположение мостов и труб . . . 12
5.3 Основные требования к конструкциям . . . 12
5.4 Габариты . . . 13
5.5 Расчет мостов и труб на воздействие водного потока . . . 15
5.6 Верхнее строение пути на мостах . . . 16
5.7 Сопряжение мостов с подходами . . . 17
5.8 Отвод воды . . . 18
5.9 Эксплуатационные обустройства . . . 18
5.10 Пожарная безопасность . . . 19
5.11 Охрана окружающей среды . . . 19
5.12 Авторский надзор, научно-техническое сопровождение и мониторинг . . . 20
5.13 Особенности эксплуатации мостовых сооружений . . . 22
6 Расчеты несущих конструкций и оснований . . . 22
6.1 Общие положения . . . 22
6.2 Основные требования к расчетам . . . 27
6.3 Динамические расчеты при движении высокоскоростных поездов. Параметры расчетных моделей . . . 28
6.4 Расчеты по предельным состояниям второй группы . . . 35
6.5 Расчеты по предельным состояниям первой группы . . . 44
6.6 Нагрузки и воздействия . . . 49
7 Бетонные и железобетонные конструкции . . . 70
8 Стальные конструкции . . . 74
8.1 Общие положения . . . 74
8.2 Материалы и полуфабрикаты . . . 74
8.3 Расчетные характеристики материалов и соединений . . . 76
8.4 Учет условий работы и назначения конструкций . . . 79
8.5 Основные положения по расчету . . . 79
8.6 Основные положения по конструированию . . . 80
9 Сталежелезобетонные конструкции . . . 81
10 Опоры, основания и фундаменты . . . 81
11 Строительство мостов и труб . . . 84
12 Проектирование транспортных тоннелей . . . 84
12.1 Общие положения . . . 84
12.2 Инженерно-геологические изыскания . . . 85
12.3 Объемно-планировочные решения . . . 86
12.4 Поперечное сечение, продольный профиль и план . . . 86
12.5 Материалы . . . 87
12.6 Конструктивные строительные требования . . . 87

12.7 Нагрузки и воздействия . . . 87
12.8 Расчет конструкций подземных сооружений . . . 88
12.9 Гидроизоляция обделок и защита от коррозии. Деформационные швы . . . 88
12.10 Притоннельные сооружения . . . 88
12.11 Эксплуатационные устройства . . . 88
12.12 Энергоснабжение, энергоустановки и электроосвещение . . . 88
12.13 Тоннельная вентиляция . . . 88
12.14 Водоснабжение и водоотведение . . . 88
12.15 Автоматика, телемеханика и связь . . . 88
12.16 Требования к сооружениям инженерной защиты . . . 89
12.17 Охрана окружающей среды при сооружении тоннелей . . . 89
12.18 Мероприятия по предотвращению чрезвычайных ситуаций . . . 89
13 Строительство тоннелей . . . 89
Приложение А Иерархия моделей взаимодействия моста с подвижным составом . . . 90
Приложение Б Определение частоты колебаний и резонансных скоростей для балочных разрезных пролетных строений . . . 91
Приложение В Диапазоны первых частот вертикальных колебаний пролетных строений . . . 92
Приложение Г Схемы нагрузок высокоскоростных поездов . . . 94
Приложение Д Эквивалентные нагрузки высокоскоростных поездов . . . 99
Приложение Е Эквивалентные нагрузки СК . . . 103
Приложение Ж Определение коэффициентов динамики . . . 105
Приложение И Дополнительное демпфирование для пролетных строений длиной до 30 м . . . 110
Приложение К Распределение нагрузок при расчетах плит проезда . . . 111
Приложение Л Последовательность расчета пролетного строения . . . 112
Приложение М Аэродинамические воздействия от высокоскоростных поездов . . . 113
Приложение Н Расчетные модели взаимодействия пути и пролетных строений мостов . . . 118
Приложение П Расчетные модели фундаментов опор . . . 121
Приложение Р Расчет осадок фундаментов опор . . . 125
Приложение С Методика расчета параметров проявления карстово-суффозионных процессов в основании сооружения . . . 130
Приложение Т Учет неровности пути . . . 133
Приложение У Параметры высокоскоростных поездов для динамических расчетов . . . 135
Приложение Ф Перечень физико-механических характеристик грунтов, дополнительно определяемых при инженерно-геологических изысканиях . . . 136
Библиография . . . 137

Введение

Настоящий свод правил разработан в соответствии с требованиями Федерального закона от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» [1] по обеспечению безопасности людей и сохранению транспортных сооружений на высокоскоростных железнодорожных линиях.

Настоящий свод правил разработан авторским коллективом: Открытое акционерное общество по проектированию строительства мостов «Институт Гипростроймост» (ОАО «Институт Гипростроймост») (*А.В. Батурин*, *А.С. Васильков*, канд. техн. наук *А.С. Улупов*, д-р техн. наук *Г.Э. Мазур*, *Э.М. Гитман*, *В.И. Кузнецов*, *В.Л. Машин*, *В.В. Негодаев*, *В.Г. Пальмов*, д-р техн. наук, проф. *Б.Ф. Перевозников,* канд. геогр. наук *М.А. Самохин, И.А. Чебыкин*), Общество с ограниченной ответственностью «Научно-инженерный центр Тоннельной ассоциации» (ООО «НИЦ Тоннельной ассоциации») (д-р техн. наук, проф. *В.Е. Меркин*, канд. техн. наук, проф. *В.В. Космин*, канд. техн. наук, доц. *А.Г. Полянкин*), Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I» (ФГБОУ ВО ПГУПС) (канд. техн. наук *Л.К. Дьяченко*).

СВОД ПРАВИЛ

СООРУЖЕНИЯ ИСКУССТВЕННЫЕ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ЛИНИЙ

Правила проектирования и строительства

Engineering structures of high speed railway lines.
Rules of design and construction

Дата введения — 2020—06—17

1 Область применения

Настоящий свод правил устанавливает правила проектирования и строительства новых капитальных искусственных сооружений (мостовых переходов, мостов, в том числе путепроводов, виадуков, эстакад и пешеходных мостов, труб под насыпями, а также транспортных тоннелей) на высокоскоростных железнодорожных линиях (колеи 1520 мм) при движении пассажирских поездов со скоростями до 350 км/ч.

Настоящий свод правил не распространяется:

- на проектирование и строительство искусственных сооружений на железных дорогах общей сети и промышленных линиях;

- на проектирование искусственных сооружений в районах распространения вечномерзлых грунтов, в районах с расчетными минимальными температурами воздуха ниже минус 50 °С и в районах с расчетной сейсмичностью более 9 баллов.

При проектировании искусственных сооружений (путепроводов, пешеходных мостов и тоннелей и др.) на дорогах, пересекающих высокоскоростные железнодорожные линии, необходимо учитывать требования настоящего свода правил.

2 Нормативные ссылки

В настоящем своде правил использованы нормативные ссылки на следующие документы:

ГОСТ 9.039—74 (СТ СЭВ 991—78, СТ СЭВ 5292—85, СТ СЭВ 6444—88) Единая система защиты от коррозии и старения. Коррозионная агрессивность атмосферы

ГОСТ 535—2005 Прокат сортовой и фасонный из стали углеродистой обыкновенного качества. Общие технические условия

ГОСТ 5632—2014 Легированные нержавеющие стали и сплавы коррозионно-стойкие, жаростойкие и жаропрочные. Марки

ГОСТ 8509—93 Уголки стальные горячекатаные равнополочные. Сортамент

ГОСТ 8510—86 Уголки стальные горячекатаные неравнополочные. Сортамент

ГОСТ 10060—2012 Бетоны. Методы определения морозостойкости

ГОСТ 10885—85 Сталь листовая горячекатаная двухслойная коррозионно-стойкая. Технические условия

ГОСТ 14637—89 (ИСО 4995—78) Прокат толстолистовой из углеродистой стали обыкновенного качества. Технические условия

ГОСТ 19281—2014 Прокат повышенной прочности. Общие технические условия

ГОСТ 26775—97 Габариты подмостовые судоходных пролетов мостов на внутренних водных путях. Нормы и технические требования

Издание официальное

ГОСТ 27751—2014 Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения

ГОСТ Р 22.1.12—2005 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Структурированная система мониторинга и управления инженерными системами зданий и сооружений. Общие требования

ГОСТ Р 51685—2013 Рельсы железнодорожные. Общие технические условия

ГОСТ Р 53664—2009 Болты высокопрочные цилиндрические и конические для мостостроения. Гайки и шайбы к ним. Технические условия

ГОСТ Р 55056—2012 Транспорт железнодорожный. Основные понятия. Термины и определения

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

ГОСТ Р ИСО 14837-1—2007 Вибрация. Шум и вибрация, создаваемые движением рельсового транспорта. Часть 1. Общее руководство

СП 14.13330.2018 «СНиП II-7-81* Строительство в сейсмических районах»

СП 20.13330.2016 «СНиП 2.01.07-85* Нагрузки и воздействия» (с изменением № 1)

СП 22.13330.2016 «СНиП 2.02.01-83* Основания зданий и сооружений» (с изменениями № 1, № 2)

СП 24.13330.2011 «СНиП 2.02.03-85 Свайные фундаменты» (с изменениями № 1, № 2, № 3)

СП 26.13330.2012 «СНиП 2.02.05-87 Фундаменты машин с динамическими нагрузками» (с изменением № 1)

СП 28.13330.2017 «СНиП 2.03.11-85 Защита строительных конструкций от коррозии» (с изменением № 1)

СП 35.13330.2011 «СНиП 2.05.03-84* Мосты и трубы» (с изменениями № 1, № 2)

СП 41.13330.2012 «СНиП 2.06.08-87 Бетонные и железобетонные конструкции гидротехнических сооружений» (с изменением № 1)

СП 46.13330.2012 «СНиП 3.06.04-91 Мосты и трубы» (с изменениями № 1, № 3, № 4)

СП 47.13330.2016 «СНиП 11-02-96 Инженерные изыскания для строительства. Основные положения»

СП 48.13330.2011 «СНиП 12-01-2004 Организация строительства» (с изменением № 1)

СП 51.13330.2011 «СНиП 23-03-2003 Защита от шума» (с изменением № 1)

СП 63.13330.2018 «СНиП 52-01-2003 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения»

СП 79.13330.2012 «СНиП 3.06.07-86 Мосты и трубы. Правила обследований и испытаний» (с изменениями № 1, № 3, № 4)

СП 116.13330.2012 «СНиП 22-02-2003 Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения»

СП 119.13330.2017 «СНиП 32-01-95 Железные дороги колеи 1520 мм»

СП 122.13330.2012 «СНиП 32-04-97 Тоннели железнодорожные и автодорожные» (с изменением № 1)

СП 131.13330.2018 «СНиП 23-01-99* Строительная климатология»

СП 246.1325800.2016 Положение об авторском надзоре за строительством зданий и сооружений

СП 338.1325800.2018 Защита от шума для высокоскоростных железнодорожных линий. Правила проектирования и строительства

СН 2.2.4/2.1.8.566—96 Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий

Примечание — При пользовании настоящим сводом правил целесообразно проверить действие ссылочных документов в информационной системе общего пользования — на официальном сайте федерального органа исполнительной власти в сфере стандартизации в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный документ, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого документа с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный документ, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого документа с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего свода правил в ссылочный документ, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный документ отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку. Сведения о действии сводов правил целесообразно проверить в Федеральном информационном фонде стандартов.

3 Термины и определения

В настоящем своде правил применены термины по ГОСТ Р 55056, ГОСТ 27751, СП 20.13330, СП 22.13330, СП 24.13330, СП 35.13330, СП 46.13330, СП 116.13330, СП 119.13330, СП 122.13330, а также следующие термины с соответствующими определениями:

3.1

аварийная расчетная ситуация: Ситуация, соответствующая исключительным условиям работы сооружения, которые могут привести к существенным социальным, экономическим и экологическим потерям.

[ГОСТ 27751—2014, пункт 3.10]

3.2 **аэродинамическое воздействие (явление):** Воздействие на искусственное сооружение воздушного потока, изменяющееся во времени.

3.3 **аэродинамическое воздействие в тоннеле:** Изменение давления на конструктивных элементах тоннеля во время проезда через него поезда с предусмотренной максимально допустимой проектной скоростью.

3.4 **безбалластное верхнее строение пути:** Конструкция верхнего строения пути на мостах с подрельсовым основанием из железобетонных плит.

3.5 **большой мост:** Мост полной длиной свыше 100 м.

3.6 **верхнее строение пути:** Часть конструкции железнодорожного пути, воспринимающая нагрузку от колес железнодорожного подвижного состава и передающая их на земляное полотно и искусственные сооружения, включающая: рельсы, промежуточные рельсовые скрепления, стыковые рельсовые скрепления, подрельсовое основание (шпалы, балластный слой или сплошное железобетонное основание), противоугонные устройства и стрелочные переводы.

3.7 **верхнее строение пути на балласте:** Конструкция верхнего строения пути на мостах с подрельсовым основанием из шпал на балластном слое.

3.8 **ВСП** (*здесь*): Набор схем высокоскоростных поездов, принимаемых в расчетах искусственных сооружений как эталонные, для описания многообразия возможных воздействий.

3.9 **ВТ** (*здесь*): Временная нагрузка от подвижного состава по схеме ВТ (26,45 тс/ось).

3.10 **выносливость:** Способность материала воспринимать переменные (циклические) нагрузки без разрушения в указанное время.

3.11 **высокоскоростная железнодорожная магистраль (линия);** ВСМ: Железнодорожная магистраль (линия), предназначенная для движения высокоскоростных поездов (ВСП).

3.12 **высокоскоростной поезд:** Пассажирский поезд, эксплуатационная скорость которого превышает 200 км/ч.

3.13 **габарит подвижного состава:** Предельное поперечное (перпендикулярное к оси пути) очертание, в которое, не выходя наружу, должен вписываться подвижной состав как в порожнем, так и в груженом состоянии на прямом горизонтальном пути.

3.14 **дополнительные сочетания:** Сочетания, в которые совместно с одной или несколькими нагрузками основных сочетаний включаются одна или несколько из остальных нагрузок, кроме особых и строительных нагрузок и воздействий.

3.15 **искусственное сооружение** (*здесь*): Общее наименование мостового сооружения (в том числе виадука, путепровода), тоннеля или водопропускной трубы.

3.16 **критическое демпфирование:** Уровень затухания собственных колебаний, при котором движение теряет колебательный характер (становится апериодическим).

3.17 **линия влияния:** График, ординаты которого выражают значения того или иного фактора напряженно-деформированного состояния в точке системы в зависимости от положения перемещаемой единичной силы вдоль пути проезда.

3.18 **малый мост:** Мост полной длиной до 25 м.

3.19 **мостовое полотно** (*здесь*): Часть конструкции мостового сооружения, включающая верхнее строение пути, служебные проходы, площадки убежищ и специальные конструктивные элементы для размещения эксплуатационных обустройств.

3.20 **надежность** (*здесь*): Гарантированная невозможность превышения предельных состояний при действии наиболее неблагоприятных сочетаний расчетных нагрузок в течение расчетного срока службы.

3.21 **несущая способность** (*здесь*): Степень сопротивляемости конструкции, а также грунтов основания действию постоянных и временных нагрузок.

3.22 **обезгруживание колес** (*здесь*): Условие ограничения величины минимального давления колеса на рельс.

3.23 **«окно» в графике движения поездов:** Время, в течение которого движение поездов по перегону, отдельным путям перегона или через станцию прекращается для производства ремонтно-строительных или монтажных работ.

3.24

опора моста: Несущий элемент мостового сооружения, поддерживающий пролетные строения и передающий нагрузки от них на фундамент.

[СП 46.13330.2012, пункт Б.17]

3.25 **отверстие трубы:** Расстояние в свету между боковыми стенками прямоугольных труб или внутренний горизонтальный диаметр круглой или овоидальной трубы.

3.26 **поезд обслуживания:** Поезд для обслуживания и ремонта пути и сооружений на высокоскоростной линии (рабочий, пожарный, снегоочистительный и т. д.).

3.27 **портал тоннеля** (*здесь*): Конструкция, ограждающая входное и выходное отверстия тоннеля и предупреждающая возможное обрушение горных пород со стороны лобового и боковых откосов выемки железнодорожного полотна, а также архитектурно оформленный вход или выход из тоннеля.

3.28 **природная поверхность (грунта)** *(здесь)*: Уровень поверхности грунта в природном залегании (до мероприятий по планировке срезкой или подсыпкой) или дна водоема до общего и местного размывов.

3.29 **проектная максимальная скорость:** Устанавливаемая в задании на проектирование наибольшая скорость движения поезда, которая допускается на проектируемом участке (но не выше 350 км/ч).

3.30 **«разгружающая» динамика:** Динамическое воздействие высокоскоростных поездов на элементы конструкции, вызванное разгрузкой пролетного строения и проявляющееся в уменьшении значений исследуемых факторов (менее соответствующих значений при статическом нагружении).

3.31 **расчетная максимальная скорость:** Верхний предел диапазона исследуемых скоростей в динамических расчетах; принимается на 20 % выше проектной максимальной скорости.

3.32 **расчетная модель (схема)** (*здесь*): Условная (часто упрощенная) конструктивная схема с параметрами для расчета в целях исследования поведения сооружения под действием статических или динамических нагрузок (определения напряженно-деформированного состояния) или динамических характеристик конструкции (форм колебаний и соответствующих частот).

3.33 **расчетный пролет (площадь ослабления) карстового провала:** Параметр проектирования конструктивной противокарстовой защиты, характеризующий вероятное воздействие карстовых провалов на проектируемое сооружение за срок его службы и представляющий длину зоны (площадь) полной потери несущей способности основания под фундаментом сооружения.

3.34 **С8:** Обозначение нагрузки от поездов обслуживания и других поездов, скорости которых не превышают 200 км/ч, заданной в виде эквивалентной нагрузки СК класса 8, с учетом понижающего коэффициента ε.

3.35 **основные сочетания:** Сочетания, в которых учитываются нагрузки: постоянные, временные вертикальные от подвижного состава, давление грунта (от воздействия временной подвижной нагрузки), а также от центробежной силы.

3.36 **особые сочетания:** Сочетания, включающие: сейсмические, техногенные и аварийные нагрузки и воздействия.

3.37 **строительные сочетания:** Сочетания нагрузок и воздействий на сооружение в период строительства.

3.38 **средний мост:** Мост полной длиной свыше 25 м и не более 100 м.

3.39 **тоннель** (*здесь*): Горизонтальное или наклонное подземное искусственное сооружение значительной протяженности, предназначенное для проезда транспорта, пропуска воды, прокладки различных коммуникаций, размещения производственных предприятий.

3.40 **уравнительный прибор:** Устройство для компенсации длины рельсовой нити.

3.41 **эксплуатационные обустройства** (*здесь*): Элементы и устройства, предназначенные для обслуживания искусственных сооружений (включая мероприятия по технике безопасности) и прокладки коммуникаций, а также устройства, связанные с обеспечением безопасности движения поездов, судоходства.

4 Обозначения

Основные обозначения в разделе 6 «Расчеты несущих конструкций и оснований»

L, l — расчетный пролет;

γ_f — коэффициент надежности по нагрузке;

γ_n — коэффициент надежности по ответственности (назначению);

γ_m — коэффициент надежности по материалу;

m — коэффициент условий работы;

δ — упругие прогибы пролетных строений;

δ_x, δ_y — смещения верха опор, горизонтальный прогиб пролетных строений;

$\delta\Theta$ — предельный угол поворота;

δH_Θ — вертикальные смещения консолей (или консоли и устоя);

δB_Θ — горизонтальное взаимное смещение на уровне головки рельса;

δR_τ — смещение рельсов относительно пролетных строений;

f_i (i = 1, 2,...) — i-я собственная частота вертикальных изгибных колебаний пролетного строения;

$f_{i,t}$ (i = 1, 2,...) — i-я собственная частота колебаний, связанная с кручением пролетного строения;

v — эквивалентная временная нагрузка;

v_h — горизонтальная поперечная нагрузка при движении поезда по кривой;

v_g — горизонтальная поперечная нагрузка от ударов подвижного состава;

V — скорость движения поезда;

A_h — непогашенное поперечное ускорение при движении поезда по кривой;

$a_{h,min}$ — минимальное отрицательное непогашенное ускорение;

λ — длина загружения линии влияния;

e, e_q, e_s — эксцентриситеты;

e_r — эксцентриситет вертикальной нагрузки, вызванный центробежной силой;

e_u — эксцентриситет вертикальной силы, вызванный наклоном поезда;

ε — понижающий коэффициент к нагрузке СК, учитывающий отсутствие перспективных вагонов и тяжелых транспортеров;

s — расстояние по головкам рельсов;

s_1 — коэффициент, учитывающий число путей;

h — высота (толщина) или расстояние по вертикали;

d — диаметр (ширина);

S — действующий фактор (усилие, напряжение или деформация) в условии предельного состояния;

R — предельный фактор в условии предельного состояния;

$1 + \mu_1 + \mu_2$ — коэффициенты динамики, учитываемые для высокоскоростной нагрузки;

μ_1 — коэффициент, отражающий долю динамического взаимодействия «поезд — пролетное строение» в коэффициенте динамики для высокоскоростной нагрузки;

μ_2 — коэффициент, учитывающий влияние дефектов пути и колес;

$1 + \mu$ — коэффициент динамики, учитываемый для нагрузок со скоростями движения до 200 км/ч;

ζ — коэффициент демпфирования;

$\Delta\zeta$ — дополнительное демпфирование для коротких пролетов (менее 30 м);

ζ_{30} — полное расчетное демпфирование для балочных разрезных пролетных строений длиной менее 30 м;

$S_{ext,II}$, $S_{ext,III}$, $S_{ext,IV}$ — пиковое значение фактора по методикам II, III и IV;

S_{stat} — значение фактора по статическому расчету;

S_{din} — динамическое значение искомого фактора;

S_{max} — экстремальное (максимальное или минимальное) значение в элементе или сечении конструкции;

S^{-}_{min1} — значение фактора, имеющее знак, противоположный знаку экстремального значения;

$P_{min,i,j}$ — минимальное давление i-го колеса j-го поезда с учетом динамики, центробежной силы, а также эксцентриситетов e_q и e_s;

$P_{stat,i,j}$ — статическое давление i-го колеса j-го поезда;

$Y_{i,j}$ — поперечная сила, передаваемая i-м колесом j-го поезда;

$P_{i,j}$ — текущее давление i-го колеса j-го поезда;

$Y_{0,k,j}$ — поперечная сила, передаваемая k-й колесной парой j-го поезда;

$P_{0,k,j}$ — статическая осевая нагрузка от k-й колесной пары j-го поезда;

Θ — угол перелома или скручивания пролетного строения или пути;

M_u — момент опрокидывающих сил относительно оси возможного поворота (опрокидывания) конструкции;

M_z — момент удерживающих сил относительно той же оси;

Q_r — сдвигающая сила, равная сумме проекций сдвигающих сил на направление возможного сдвига;

Q_z — удерживающая сила, равная сумме проекций удерживающих сил на направление возможного сдвига;

C_v — коэффициент вертикального давления;

τ_n, τ_I — коэффициент бокового давления грунта, нормативный и расчетный;

ρ_n, ρ_I — удельный вес грунта (плотности), нормативный и расчетный;

φ_n, φ_I — угол внутреннего трения грунта, нормативный и расчетный;

c_n, c_I — коэффициент сцепления грунта, нормативный и расчетный;

X_n, X — нормативное и расчетное значение характеристики грунтов;

γ_g — коэффициент надежности по грунту;

ε_n — предельная относительная деформация усадки бетона;

n — число осей в поезде;

M — масса элементов конструкции;

P_i — i-я осевая нагрузка;

a_i — i-й интервал между осями;

$f_{1,min}$, $f_{1,max}$ — нижний и верхний разрешенные пределы частоты соответственно;

Q — распределенная или сосредоточенная нагрузка;

Q_1, Q_2 — давление на нитку рельсов максимальное и минимальное соответственно;

h_b — толщина балласта под шпалой;

$p_{\gamma n}$ — вертикальное давление для опор мостов;

p_v — вертикальное давление для звеньев труб;

p_n, p_h — горизонтальное давление от веса грунта насыпи и подвижного состава соответственно;

u — возвышение наружного рельса;

h_o — высота центра тяжести состава;

q_1, q_2 — давления на плиту пролетного строения максимальное и минимальное соответственно;

F_r — центробежная сила;

F_g — горизонтальная поперечная нагрузка от ударов колес;

F_h — горизонтальная поперечная нагрузка от центробежной силы;

F_v — вертикальная составляющая нагрузки;

$t_{n\text{Т}}$ — нормативная температура воздуха в теплое время года;

$t_{n\text{Х}}$ — нормативная температура воздуха в холодное время года;

t_{R+} — нагрев рельсов, вызванный солнечной радиацией и движением поездов;

t_{R-} — охлаждение рельсов при резком понижении температуры;

$t_{o\text{Х}}$, $t_{o\text{Т}}$ — температура укладки пути в холодное и теплое время года соответственно;

t_{VII} — средняя температура самого жаркого месяца;
T — средняя суточная амплитуда температуры воздуха наиболее теплого месяца;
dT — величина перепада температуры;
S_f — нормативное усилие сопротивления трению в подвижных опорных частях;
$\mu_n, \mu_{max}, \mu_{min}$ — коэффициенты трения в опорных частях: нормативный, максимальный и минимальный соответственно;
B — длина консоли пролетного строения;
Δ — расстояние между консолями пролетных строений на уровне верха плиты;
Δ' — то же, с учетом смещений;
Δ_L — расстояние между консолями пролетных строений на уровне нейтральной оси;
Δ'_L — то же, с учетом смещений;
δL — линейное смещение пролетного строения от торможения;
η — коэффициент снижения интенсивности воздействия в рассматриваемом сочетании.

Основные обозначения в разделе 8 «Стальные конструкции»

R_{cd} — расчетное сопротивление диаметральному сжатию катков (при свободном касании в конструкциях с ограниченной подвижностью);
R_{lp} — расчетное сопротивление местному смятию в цилиндрических шарнирах (цапфах) при плотном касании;
R_p — расчетное сопротивление стали смятию торцевой поверхности (при наличии пригонки);
R_s — расчетное сопротивление стали сдвигу;
R_{th} — расчетное сопротивление стали растяжению в направлении толщины проката;
R_u — расчетное сопротивление стали растяжению, сжатию, изгибу по временному сопротивлению;
R_{un} — временное сопротивление стали разрыву;
R_y — расчетное сопротивление стали растяжению, сжатию, изгибу по пределу текучести;
R_{yn} — предел текучести стали;
m — коэффициент условий работы;
γ_n — коэффициент надежности по ответственности;
γ_m — коэффициент надежности по материалу;
γ_u — коэффициент надежности в расчетах по временному сопротивлению;
γ_{bh} — коэффициент надежности фрикционных соединений;
μ — коэффициент трения.

Основные обозначения в разделе 10 «Опоры, основания и фундаменты»

p, p_{max} — среднее и максимальное давления подошвы фундамента на грунт;
R — расчетное сопротивление грунта;
γ_n — коэффициент надежности по ответственности (назначению) сооружения;
m — коэффициент условий работы;
δ — толщина льда;
e_0 — эксцентриситет равнодействующих нагрузок;
r — радиус ядра сечения подошвы фундамента;
M — момент действующих сил на уровне подошвы фундамента;
N — равнодействующая вертикальных сил;
W — момент сопротивления подошвы фундамента для менее напряженного ребра;
A — площадь подошвы фундамента;
l_d — расчетный пролет карстового провала;
S_d — расчетная площадь карстового провала.

Основные обозначения в приложении Д «Эквивалентные нагрузки высокоскоростных поездов»

v — эквивалентная нагрузка;

λ — длина участка линии влияния;

α — положение вершины линии влияния.

Основные обозначения в приложении К «Распределение нагрузок при расчетах плит проезда»

Q — сила давления от оси поезда;

Q_n — нормативная нагрузка на ось.

Основные обозначения в приложении Н «Расчетные модели взаимодействия пути и пролетных строений мостов»

H_R — расстояние между нейтральными осями пролетного строения и рельса;

H_P — расстояние от нейтральной оси пролетного строения до верха плиты пролетного строения;

H_z — расстояние от нейтральной оси пролетного строения до центра поворота опорной части;

A_{2R} — площадь сечения двух рельсов одного пути;

A_P — площадь сечения пролетного строения;

J_p — момент инерции пролетного строения;

J_O — момент инерции ступени тела опоры;

E_R — модуль упругости материала рельсов;

E_P — модуль упругости материала пролетного строения;

E_O — модуль упругости материала опоры;

α_R — коэффициент линейного расширения рельсовой стали;

α_P — коэффициент линейного расширения материала пролетного строения;

G_τ — упруго-фрикционная связь рельса и пролетного строения;

G_{xi} — жесткость *i*-й опоры на уровне неподвижной опорной части;

Δ_τ — горизонтальное смещение рельсов относительно верха плиты пролетного строения;

$\Delta_{\tau o}$ — горизонтальное смещение соответствующей линейно-упругой части функции сдвиговой жесткости пути относительно пролетного строения;

T_R — температура рельса;

T_P — температура пролетного строения.

Основные обозначения в приложении П «Расчетные модели фундаментов опор»

h_p, h_s — высота подсыпки (+), глубина срезки (–);

z_i — глубина расположения *i*-го сечения сваи от уровня природной поверхности или дна водотока или водоема;

z_0 — глубина расположения подошвы сваи;

A_f — площадь плиты фундамента;

K — коэффициент пропорциональности грунта;

E_g — модуль деформации грунта;

C_{zi} — коэффициент постели грунта, нормальный к боковой поверхности сваи на глубине z_i от природной поверхности;

C_{z10} — то же, на глубине 10 м от поверхности грунта;

C_{fzi} — коэффициент постели сдвига грунта на контакте с боковой поверхностью сваи, на глубине z_i от природной поверхности;

C_N — коэффициент постели грунта при сжатии, под подошвой сваи и под плитой фундамента;

C_M — коэффициент постели грунта под плитой фундамента при повороте (наклоне);

C_Q — коэффициент постели грунта под плитой фундамента при сдвиге;

σ_{zi} — вертикальные напряжения, вычисленные на глубине z_i от природной поверхности;

γ_c — коэффициент условий работы грунта по боковой поверхности сваи и по основанию сваи или плиты фундамента;

b_p — условная ширина свай;

k_f — коэффициент формы;
k_r — коэффициент, зависящий от числа и размера сечения свай;
k_1 — коэффициент, зависящий от числа свай n_p в вертикальной плоскости, параллельной плоскости действия нагрузок (в одном ряду).

Основные обозначения в приложении Р «Расчет осадок фундаментов опор»

a_f, b_f — размеры сторон фундамента;
h_f — глубина заложения подошвы фундамента;
s — осадка фундамента;
σ_{zp} — вертикальное напряжение от внешней нагрузки;
σ_{zg} — вертикальное эффективное напряжение от собственного веса грунта;
$\sigma_{zg,0}$ — вертикальное напряжение от собственного веса грунта на отметке подошвы фундамента;
h_i — толщина i-го слоя грунта;
E_i — модуль деформации i-го слоя грунта;
z_i — глубина залегания i-го слоя грунта от подошвы фундамента;
p — среднее давление под подошвой фундамента;
u — поровое давление на рассматриваемой границе слоя;
H_c — высота сжимаемой толщи;
i — крен фундамента;
e — эксцентриситет;
v — коэффициент поперечной деформации грунта основания.

5 Проектирование искусственных сооружений

5.1 Общие указания

5.1.1 При проектировании искусственных сооружений основной задачей является обеспечение:
- надежности в течение всего срока эксплуатации (долговечности);
- бесперебойности пропуска высокоскоростного и технологического транспорта;
- комфорта перемещения пассажиров;
- удобства выполнения работ по техническому обслуживанию сооружений и их ремонтопригодности.

5.1.2 При выполнении расчетных обоснований надежности искусственных сооружений следует учитывать два расчетных случая и два типа подвижных временных нагрузок:

а) **Случай 1**. Пропуск одного или двух высокоскоростных поездов на проектной скорости (до 350 км/ч). В качестве нагрузок используют наборы сил от давления осей высокоскоростных поездов, приведенных в приложении Г, или эквивалентных нагрузок от этих поездов, приведенных в приложении Д[1)].

б) **Случай 2**. Проезд по сооружению поезда обслуживания. При расчетах надежности воздействие от этих поездов учитывается нагрузкой СК по методикам СП 35.13330. При этом класс нагрузки принимается равным 8,0 (далее — С8). Класс нагрузки СК может быть изменен на основании соответствующего технико-экономического обоснования.

5.1.3 Основной нагрузкой (воздействием) следует считать нагрузку от высокоскоростных поездов. Первоочередными задачами проектирования следует считать выполнение требований надежности пропуска высокоскоростных пассажирских поездов и комфортного проезда пассажиров. При выборе вариантов конструктивных решений следует отдавать предпочтение тем, в которых эти требования обеспечены наиболее полно.

5.1.4 В случае одновременного появления на сооружении двух высокоскоростных поездов воздействия одного из них следует учитывать с понижающим коэффициентом в соответствии с 6.6.5.1.

5.1.5 Появление на сооружении поезда обслуживания возможно только в том случае, если на том же участке магистрали отсутствует высокоскоростной поезд, движущийся со скоростью более 200 км/ч.

[1)] Поезда (приложение Г) и эквивалентные нагрузки от этих поездов, приведенные в приложении Д, следует принимать в том случае, если в задании на проектирование не указаны параметры реальных поездов, предполагаемых для обращения на линии. В противном случае в расчетах следует использовать воздействия от поездов, приведенных в задании на проектирование.

5.1.6 Одновременное появление на сооружении высокоскоростного поезда с пассажирским, контейнерным или другим поездом, допускаемым к обращению на линии[1)] (за исключением поездов обслуживания), не является расчетным случаем, поскольку интенсивность воздействий на сооружения в этой ситуации не превышает соответствующей интенсивности воздействий для расчетного случая по 5.1.4.

5.1.7 При проектировании мостов для высокоскоростного движения особое внимание должно быть уделено динамическим расчетам конструкций, в том числе контролю резонансных явлений, а при проектировании большепролетных конструкций — вопросам аэродинамического взаимодействия высокоскоростного поезда и элементов конструкций, а также вопросам ветрового воздействия.

5.1.8 При проектировании, строительстве и эксплуатации искусственных сооружений на участках, на которых максимальные скорости поездов не превышают 200 км/ч, используют существующую нормативную базу. Проектирование сооружений на этих участках выполняют в соответствии с требованиями СП 35.13330 для железнодорожных мостов. Класс нагрузки СК определяется заказчиком на основании предложений генерального проектировщика. Предложения генерального подрядчика должны учитывать специализацию данного участка железнодорожной линии, содержать достаточный анализ условий возможного обращения на таких участках иных поездов, кроме высокоскоростных, и необходимое технико-экономическое обоснование по снижению класса подвижной нагрузки по сравнению с предусмотренным СП 35.13330. При проверке требований комфортного проезда пассажиров высокоскоростных поездов на этих участках допускается использование положений настоящего свода правил.

5.1.9 Все искусственные сооружения, расположенные на перегонах, следует, как правило, проектировать двухпутными, расположенные на станциях — в соответствии с путевым развитием станции.

5.1.10 При проектировании малых и средних мостов и путепроводов рекомендуется применять типовые проекты конструкций искусственных сооружений для ВСМ и унифицированные конструктивные и технологические решения. Конструктивные решения типовых проектов или унифицированной серии конструкций искусственных сооружений должны быть разработаны с учетом результатов динамических расчетов на нагрузку от высокоскоростных поездов в зависимости от типа верхнего строения пути на проектируемом участке линии и обоснованы технико-экономическим сравнением вариантов. Индивидуальное проектирование допустимо при разработке проектов больших и внеклассных мостов, мостов больших пролетов, расположеных на участках со сложным продольным профилем, в случаях, когда применение типовых (унифицированных) решений является невозможным или неоптимальным, а также в иных обоснованных случаях.

5.1.11 Проектирование мостов и труб следует выполнять на основе результатов инженерных изысканий, выполненных с соблюдением требований нормативных документов, правил и инструкций, регламентирующих выполнение изыскательских работ, а также требований настоящего свода правил.

Состав и виды инженерных изысканий, методы выполнения и объемы отдельных видов работ устанавливаются программой инженерных изысканий, разработанной организацией, проводящей изыскания по техническому заданию проектной организации, составленной на основе задания заказчика в соответствии с СП 47.13330.2016 (раздел 4).

На стадии проектной документации инженерно-геологические изыскания должны обеспечивать комплексное изучение инженерно-геологических условий участка проектируемого строительства, включая рельеф, геологическое строение, геоморфологические и гидрогеологические условия, состав, состояние и свойства грунтов, геологические и инженерно-геологические процессы, изменение условий освоенных (застроенных) территорий, составление прогноза возможных изменений инженерно-геологических условий в сфере взаимодействия проектируемых объектов с геологической средой в целях получения необходимых и достаточных материалов для проектирования.

Определение прочностных и деформационных характеристик грунтов необходимо проводить различными методами (лабораторными, полевыми) для выявления взаимосвязей между характеристиками грунта, оценки их достоверности.

Для фундаментов сооружений с заглублением более 10 м от поверхности земли (на проектной стадии проведения работ) определения прочностных и деформационных характеристик грунтов допу-

---

[1)] Допуск к обращению на линии того или иного поезда совместно с высокоскоростными должен приниматься эксплуатирующими организациями только в том случае, если воздействия от этого поезда и соответствующие прогибы, углы поворота, а также интенсивности силовых факторов в элементах конструкций и элементах пути не превышают соответствующих значений от высокоскоростного поезда, а также в том случае, когда взаимные аэродинамические воздействия этого поезда и высокоскоростного на соседнем пути не превышают аналогичных воздействий двух встречных высокоскоростных поездов.

скается проводить на основании лабораторных испытаний в приборах трехосного сжатия и по данным статического зондирования.

Полевые испытания грунтов штампами, натурной и эталонной сваями для определения несущей способности свай фундаментов опор следует проводить на припостроечной стадии проведения работ с применением строительного оборудования, привлечением мостостроительных организаций.

Для прогноза осадки сооружения во времени, при наличии слабых грунтов в интервале сжимаемой толщи основания под подошвой фундамента сооружения следует предоставлять в составе отчетных материалов по инженерно-геологическим изысканиям результаты определений значений первичной и вторичной консолидации этих грунтов при нагрузках, включающих дополнительные нагрузки от сооружения, а также детальную гидрогеологическую характеристику разреза с результатами опытно-фильтрационных работ.

В случаях выявления вероятности проявления на площадке строительства карстово-суффозионных процессов необходимо проводить комплексную оценку опасности их проявления и развития. Если в результате данной оценки на основе анализа инженерно-геологических и гидрогеологических условий (с учетом их возможных изменений за время эксплуатации сооружения) наличие на площадке строительства карстово-суффозионных процессов признается возможным, то отчетная документация по инженерно-геологическим изысканиям должна содержать исходные данные для разработки противокарстовых мероприятий и рекомендации по их применению:

1) В случаях глубокого залегания кровли закарстованных грунтов (более 35 м) и их мощности, превышающей 5 м, следует выполнить прогноз проявления карстово-суффозионных процессов в основании сооружения с определением параметров этого проявления. Основным параметром для разработки противокарстовых мероприятий конструктивного характера при проектировании свайно-ростверковых фундаментов опор мостов являются: или расчетный пролет карстового провала l_d в случае фундаментов с однорядным расположением свай, или расчетная площадь карстового провала S_d — в остальных случаях. Данные параметры определяют с использованием вероятностно-статистических методов на основании данных по карстово-суффозионному районированию участка строительства (интенсивность провалообразования, средний и максимальный диаметры карстового провала) в соответствии с приложением С.

2) При относительно неглубоком залегании закарстованных грунтов, допускающем технико-экономическую обоснованность возведения сооружения на свайных фундаментах, прорезающих эти грунты, а также при l_d > 3 м или при S_d > 7 м^2 глубина исследования геологического разреза должна определяться, как правило, мощностью закарстованной зоны с заглублением не менее чем на 5 м в подстилающие незакарстованные породы.

Не допускается проектирование искусственных сооружений без соответствующих данных инженерных изысканий.

5.1.12 Принимаемые проектные решения должны предусматривать меры по охране окружающей среды, поддержанию экологического равновесия и охране флоры и фауны, минимизации шумового и иного негативного воздействия строительства и эксплуатации ВСМ в районах жилой застройки, а также обеспечивать рациональное расходование строительных материалов, экономию топливных и энергетических ресурсов при минимальной стоимости и трудоемкости строительства и эксплуатации.

5.1.13 При проектировании мостов необходимо предусматривать безопасный пропуск под ними максимальных расходов воды требуемой вероятностью превышения (независимо от генезиса их формирования и искусственного регулирования), а также ледохода, карчехода и селевых потоков.

На водных путях необходимо учитывать требования судоходства, лесосплава и требования других водопользователей.

5.1.14 При проектировании труб следует предусматривать безопасный пропуск и режим протекания паводковых вод требуемой вероятности превышения независимо от генезиса их формирования и техногенного регулирования.

Не допускается проектирование водопропускных труб при ледоходе, карчеходе, заторном наледеобразовании, селевых потоках.

Не допускается применение железобетонных водопропускных труб на постоянных водотоках при январской изотерме ниже минус 13 °С.

5.1.15 При проектировании и строительстве следует учитывать перспективы развития сети ВСМ и иной дорожной сети, освоения земель в сельскохозяйственных и иных целях.

5.1.16 Основные технические решения, принимаемые в проектах искусственных сооружений, следует обосновывать путем сравнения технико-экономических показателей конкурентоспособных вариантов.

5.2 Расположение мостов и труб

5.2.1 Выбор места мостового перехода, назначение положения сооружения в плане и профиле, назначение схемы моста (разбивку на пролеты) следует проводить с учетом:

- технико-экономического обоснования вариантов;
- требований трассирования магистрали;
- русловых, геологических, гидрогеологических, экологических, ландшафтных и других местных условий, влияющих на технико-экономические и иные показатели соответствующего участка дороги;
- обеспечения безопасности и бесперебойности движения поездов;
- требований по содержанию и эксплуатации сооружений;
- предполагаемых этапов проведения строительных работ.

5.2.2 При выборе места мостового перехода через водотоки, включая судоходные реки, необходимо учитывать возможные русловые переформирования и смещения русла за расчетный период службы моста. При этом следует соблюдать соответствующие требования СП 35.13330.2011 (пункт 5.5).

5.2.3 Число и размеры водопропускных сооружений на пересечении водотока следует определять на основе результатов инженерных изысканий и гидравлико-гидрологических расчетов, при этом необходимо учитывать последующее влияние сооружений на окружающую среду.

Пропуск вод нескольких водотоков через одно сооружение должен быть обоснован, а при наличии селевого стока, лессовых грунтов и возможности образования заторов и наледи — не допускается.

5.2.4 Мостовые сооружения и трубы разрешается располагать на участках ВСМ с любыми профилем и планом, принятыми для проектируемой линии.

5.2.5 Толщину засыпки над звеньями или плитами перекрытия труб, а также пешеходными тоннелями или другими сооружениями в теле насыпи следует обосновывать расчетами. При этом не требуется выполнение проверок комфортности и безопасности, а также могут не учитываться динамические воздействия от высокоскоростных поездов (см. таблицу 6.6) при толщине засыпки от подошвы рельса до верхней точки конструкции:

≥ 2,5 м — при грунтах основания скальных и нескальных с нормативным значением модуля деформации ≥ 40 МПа [допускается определять по СП 22.13330.2016 (приложение А)], а также при свайной конструкции фундамента;

≥ 1,5 м — при нескальных грунтах основания с нормативным значением модуля деформации < 40 МПа по СП 22.13330.2016 (приложение А).

В других случаях выполнение требований надежности по первой и второй группам предельных состояний (в том числе требований комфортности и безопасности) должно быть подтверждено результатами динамических расчетов согласно 6.3.10, методика Б. При выполнении таких расчетов в расчетной модели следует учитывать (кроме конструкции самого сооружения):

- участки примыкающих насыпей — не менее 25 м с каждой стороны;
- форму и характеристики грунтов укрепленной зоны примыкающих насыпей;
- параметры фундаментов и основания.

5.2.6 С обеих сторон от труб в насыпи должны устраиваться участки переменной жесткости. Конструкция, параметры и характеристики этих участков: длина, форма (в том числе в плане), физико-механические характеристики грунтов засыпки должны назначаться по расчету на основании действующих нормативных документов по проектированию земляного полотна для ВСМ.

Цель расчета — обоснование конструктивного решения, обеспечивающего выполнение требований надежности конструкции, а также комфортного проезда и безопасности движения (см. таблицу 6.6). Расчет должен учитывать упругие и неупругие деформации участков, их градиенты по длине, жесткость конструкции трубы и ее основания, а также мероприятия для регулировки неупругих осадок. При этом длину участков переменной жесткости следует назначать не менее 25 м.

5.2.7 Проектирование водопропускных труб и пешеходных тоннелей, расположенных в пределах железнодорожных станций под путями, скорость движения по которым не превышает 200 км/ч, производят в соответствии с требованиями СП 35.13330.2011 (пункт 5.1).

5.3 Основные требования к конструкциям

5.3.1 Основные требования к конструкциям искусственных сооружений высокоскоростных железных дорог следует принимать согласно СП 35.13330.2011 (раздел 5) и настоящему своду правил.

5.3.2 При назначении конструкций опорных частей, деформационных швов и размеров оголовков опор следует учитывать горизонтальные и вертикальные перемещения верха опор. Определять перемещения в деформационных устройствах следует с учетом требований 6.4.6—6.4.11.

5.3.3 Для неразрезных пролетных строений рекомендуется на каждой опоре устанавливать опорную часть или иное устройство, ограничивающее поперечные деформации.

5.3.4 На мостовых переходах при необходимости регулирования направления водного потока для предотвращения размывов конусов мостов и прилегающих к ним береговых линий следует предусматривать регуляционные и берегоукрепительные сооружения. Регуляционные сооружения (струенаправляющие дамбы, грушевидные уширения конусов, траверсы и др.) применяют при соответствующем обосновании и с учетом ситуационных особенностей расположения мостового перехода (при пойменной многорукавности, активных русловых переформированиях предгорных рек, косых пересечениях, большом пойменном расходе воды и относительно сжатом отверстии моста и пр.). При расчетных скоростях воды под мостом до размыва менее 1,0 м/с регуляционные сооружения не предусматриваются.

Для труб и мостов на основании гидравлико-гидрологических расчетов допускается предусматривать спрямление, планировку и укрепление русел.

5.3.5 Отверстия (и высоту в свету) труб на ВСМ следует назначать не менее 1,5 м.

Для обеспечения связи между территориями, пересекаемыми железнодорожной линией, следует устраивать искусственные сооружения для пропуска пешеходов, прохода скота и пропуска сельскохозяйственных машин. Габариты искусственных сооружений следует принимать не менее указанных в СП 119.13330. Полевая дорога или дорога для прогона скота, проходящая под пролетом моста или в трубе под насыпью, должна быть укреплена по всей ее ширине и на участках длиной не менее 10,0 м в каждую сторону от сооружения. При необходимости у сооружений устраивают направляющие ограждения.

5.3.6 Для водопропускных труб следует предусматривать безнапорный режим работы. Допускается предусматривать полунапорный режим работы водопропускных труб для пропуска только наибольшего расхода воды. При этом под оголовками и звеньями следует предусматривать фундаменты, а при необходимости — противофильтрационные экраны. Для труб, расположенных в районах со средней температурой наружного воздуха наиболее холодной пятидневки ниже минус 40 °С, полунапорный режим работы не допускается.

5.3.7 Расстояние между осями главных путей на искусственных сооружениях на прямых и кривых участках следует определять так же, как на подходах к ним.

5.3.8 Основные требования к гидроизоляции конструкций следует принимать согласно СП 35.13330.2011 (раздел 7).

5.4 Габариты

5.4.1 Габариты приближения конструкций проектируемых сооружений должны соответствовать габариту приближения строений $С_{400}$ (см. рисунок 5.1).

5.4.2 На путепроводах через железные дороги общей сети расстояние от низа конструкций до головки рельса должно быть не менее 6,9 м.

5.4.3 На путепроводах через автомобильные дороги общего пользования расстояние от низа конструкций до проезжей части должно удовлетворять требованиям СП 35.13330.

5.4.4 Габариты сооружений для пропуска полевых дорог и прогона скота (миграции диких животных) должны удовлетворять требованиям СП 119.13330.

5.4.5 Габариты подмостовых судоходных пролетов на внутренних водных путях следует принимать в соответствии с ГОСТ 26775.

5.4.6 Возвышение элементов искусственных сооружений над расчетными и наибольшими уровнями воды и ледохода на несудоходных и несплавных водотоках, а также в несудоходных пролетах мостов на судоходных водных путях следует определять в соответствии с указаниями СП 35.13330.2011 (раздел 5). Кроме того, следует обеспечивать возвышение низа пролетных строений выше уровня высокой воды с учетом ее набега на опоры мостов от динамического воздействия речного потока. Набег воды на опоры мостов от расчетного уровня воды заданной вероятности превышения следует принимать по таблице 5.1 в зависимости от средней русловой бытовой скорости течения набегающего речного потока.

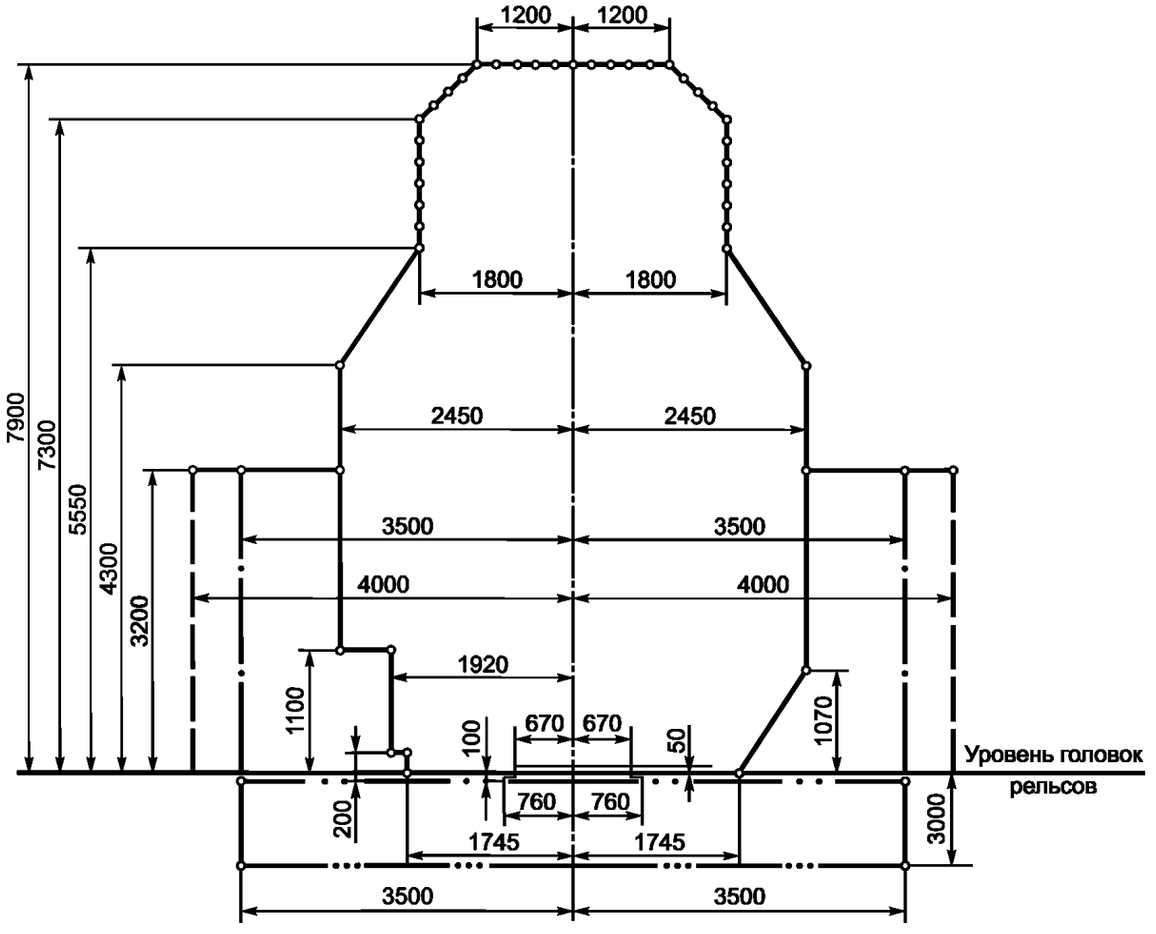
Таблица 5.1 — Набег воды на опоры мостов от расчетного уровня воды

Скорость течения V, м/с	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
Набег воды ΔH, м	0,2	0,6	1,2	1,9	2,5	3,2

5.4.7 Минимальные отметки низа пролетных строений мостов, расположенных в несудоходных и несплавных зонах водохранилища, должны быть не менее отметок кривой свободной поверхности (кривой подпора) пересекаемого водохранилища при пропуске расчетного паводка с учетом расчетной высоты ветровой волны и запаса, равного 0,25 м.

Наименьшее возвышение низа пролетных строений при наличии наледи необходимо назначать с учетом ее высоты.

5.4.8 Расстояние между промежуточными опорами в свету при наличии карчехода следует назначать с учетом размеров карчей, но не менее 15,0 м, за исключением береговых пролетов мостов с обсыпными устоями.



— линия приближения пролетных строений мостов, платформ, настилов переездов, механизмов стрелочных переводов и расположенных в их пределах устройств СЦБ, а также устройств, располагаемых на междупутьях;

— линия, ограничивающая пространство для размещения устройств контактной сети и токоприемника;

— размер 3500 мм — линия приближения мачт светофоров, опор контактной сети, а также зданий, сооружений и устройств (кроме пролетных строений мостов, платформ), расположенных с внешней стороны крайних путей перегонов и отдельно лежащих путей на станциях;

— линия приближения опор путепроводов, перил на мостах, шумозащитных экранов;

— линия, выше которой на перегонах и в пределах полезной длины путей на станциях не должно подниматься ни одно устройство, кроме настилов переездов, индукторов локомотивной сигнализации, а также механизмов стрелочных переводов и расположенных в их пределах устройств СЦБ;

— линия приближения фундаментов зданий и опор, кабелей, трубопроводов и других, не относящихся к пути сооружений на перегонах и станциях, за исключением инженерных сооружений и устройств СЦБ в местах расположения сигнальных и трансляционных точек

Рисунок 5.1 — Габарит приближения строений C_{400}

При наличии ледохода расстояние между промежуточными опорами в свету следует назначать не менее максимальных размеров льдин или из условия их беззаторного пропуска под мостом.

5.5 Расчет мостов и труб на воздействие водного потока

5.5.1 Расчет мостов, труб и пойменных насыпей на воздействие водного потока следует производить по максимальным расходам воды и соответствующим им уровням расчетных (вероятностью превышения 1 %) и наибольших паводков (вероятностью превышения 0,33 %) с учетом указаний СП 35.13330.2011 (раздел 5). При обследовании и изучении гидрологических условий функционирования близлежащих объектов различного предназначения (железные, автомобильные дороги и мосты, плотины, гидроузлы, водозаборы, мелиоративные и другие сооружения) возникает необходимость оценки критериев вероятности превышения, на которые они были запроектированы. Эти критерии должны быть определены по соответствующим нормативным документам и другими обоснованными методами.

При наличии в створе мостового перехода проявлений уровней воды, не обусловленных паводковыми расходами воды и вызванных нагонными ветрами, приливами и отливами, заторами, изменениями дна, подпорами в устьях рек и у гидротехнических сооружений и другими опасными явлениями, высотные размеры сооружений следует устанавливать по этим уровням требуемой вероятности превышения, если они выше уровней, обусловленных паводковыми расходами воды той же вероятности превышения.

5.5.2 В гидравлико-гидрологических расчетах следует учитывать опыт водопропускной работы близко расположенных сооружений на одном водотоке, взаимное влияние водопропускных сооружений, а также влияние на проектируемые водопропускные сооружения существующих или намечаемых к строительству гидротехнических или других сооружений.

5.5.3 При наличии вблизи мостов и труб инженерных сооружений, зданий и сельскохозяйственных угодий необходимо проверить безопасность их функционирования от подтопления вследствие подпора воды перед сооружением, размывов береговых линий или других факторов.

Для водопропускных сооружений, расположенных вблизи плотин, построенных с меньшей степенью ответственности, чем проектируемое сооружение (некапитального типа), необходимо учитывать возможность прорыва этих плотин.

5.5.4 На мостах, расположенных на водных объектах, имеющих рыбохозяйственное значение, необходимо определять гидравлико-гидрологические характеристики водного потока с 5 %-ной вероятностью превышения.

5.5.5 Расчеты временных и вспомогательных сооружений (устройств) следует производить на вероятность превышения, равную 10 % или 50 %, при необходимом обосновании.

5.5.6 Рекомендации по определению максимальных расходов и уровней воды весенних половодий, дождевых и смешанных паводков, а также селевых потоков с требуемой вероятностью превышения при наличии ряда длительных гидрометрических наблюдений приведены в [9] и [10].

5.5.7 В качестве расчетного следует принимать наибольший из вычисленных расходов воды снегового, смешанного, дождевого или селевого генезиса.

5.5.8 Построение расчетных гидрографов максимального стока воды весеннего половодья и дождевых паводков следует осуществлять по криволинейной схематизации ветвей подъема и спада гидрографа с применением парабол второй или третьей степени, сходящихся в точке максимума расчетного расхода воды. Определение основных расчетных гидрологических характеристик приведено в [9].

5.5.9 Определение расчетных уровней высокого ледохода, первой подвижки льда, меженных уровней воды, месячных уровней воды строительного периода, максимальных толщин льда, а также других уровней воды и гидрологических характеристик зимнего, весеннего и летне-осеннего периодов при наличии ряда длительных гидрометрических наблюдений рекомендуется производить по эмпирическим кривым распределения вероятности превышения этих уровней и характеристик с применением лекальных параболических кривых полного или комбинированного очертания с круговыми или прямолинейными вставками в нижней или верхней частях этих кривых.

5.5.10 Основным критерием надежности экстраполяции принятых к расчету кривых распределения вероятности превышения максимальных расходов и уровней воды, а также других уровней и гидрологических характеристик, указанных в 5.5.9, следует считать их наибольшее соответствие эмпирическим кривым и их точкам, особенно находящимся в их серединной и верхней частях.

5.5.11 Учет аккумуляции перед водопропускными сооружениями не допускается.

5.5.12 Требования к определению размеров отверстий больших и средних мостов, в том числе с учетом природного, сосредоточенного, общего и местного размывов у опор, конусов и регуляционных

сооружений, приведены в [10]. Отверстие моста в свету не должно быть меньше устойчивой ширины русла.

5.5.13 Размеры мостов, сооружаемых в городах, следует назначать с учетом намечаемого регулирования реки и требований планировки территорий, набережных, очистных сооружений, водозаборов и других сооружений.

5.5.14 Глубину природного размыва в подмостовом русле следует определять по результатам анализа русловых переформирований в верхнем слое современных аллювиальных отложений.

5.5.15 Требования к определению глубин местного размыва у промежуточных опор моста, подошв подмостовых конусов и регуляционных сооружений приведены в [8].

При морфометрической основе расчета вычисленные максимальные глубины общего размыва следует увеличивать на 15 %.

5.5.16 Рекомендации по определению глубины общего размыва подмостовых русел с учетом скоростей динамического равновесия речного потока приведены в [10].

5.5.17 Значение коэффициента общего размыва, как правило, следует принимать не более 2,0. Для мостов через распластанные русла предгорных рек и неглубокие водотоки допускается принимать коэффициенты общего размыва более указанного значения.

5.5.18 При построении линии суммарных размывов в подмостовом русле надлежит учитывать кроме природного, общего размывов и местных размывов у опор моста влияние регуляционных сооружений, а также естественные и техногенные переформирования русла и особенности его геологического строения в подмостовом и в предмостовом пространствах.

5.5.19 Срезку грунта в пойменной части отверстия моста на равнинных реках допускается принимать как исключение и только при достаточном обосновании. Такая необходимость может возникнуть в эксплуатационный период при недостаточности отверстия существующего моста.

Не допускается срезка в русле побочней, отмелей при расчете площади живого сечения под мостом.

5.5.20 Малые и средние мосты через периодически действующие водотоки допускается проектировать с укрепленным руслом при соответствующем технико-экономическом обосновании.

5.5.21 Минимальное возвышение бровок земляного полотна на подходах к большим и средним мостам над расчетными уровнями высокой воды наибольших паводков следует определять с учетом набега волны на откосы, возможного подпора воды и запаса, равного 0,5 м для земляного полотна, регуляционных сооружений и берм насыпей.

Возвышение бровки земляного полотна на подходах к малым мостам и трубам над расчетными подпорными уровнями воды наибольших паводков следует принимать не менее 0,5 м, а для труб при полунапорном режиме работы — не менее 1,0 м.

В пределах воздействия льда на пойменную насыпь отметка ее бровки должна быть не ниже отметок верха навала льда, а также отметок наивысшего заторного или зажорного льда с учетом полуторной толщины льда.

5.5.22 Подмостовые конуса и подтопляемые откосы подходов к мосту должны быть надежно защищены от возможных продольных течений, волновых и ледовых воздействий, а также от размывов, способных возникать у их подошв, указанных в 5.7.3.

5.6 Верхнее строение пути на мостах

5.6.1 Конструкция верхнего строения пути на мостах должна разрабатываться по индивидуальному проекту и соответствовать нормам проектирования верхнего строения пути на ВСМ. Мостовое полотно на мостах может устраиваться на безбалластных железобетонных плитах или на балласте. Конструкция верхнего строения пути должна быть одинаковой по всей длине сооружения.

5.6.2 При устройстве езды на балласте минимальная толщина балластного слоя под шпалой, измеренная под ниткой рельса, должна быть не менее 40 см. Подошва шпал должна быть утоплена в балласт на 15 см ниже верха бортов балластного корыта. Внутренние размеры балластных корыт пролетных строений должны позволять проводить ремонт пути на сооружениях с помощью путеремонтных машин при минимальном приближении борта корыта к оси пути 2,25 м.

5.6.3 Конструкция мостового полотна должна обеспечивать возможность прохода колес подвижного состава в случае схода их с рельсов. Вне зависимости от типа мостового полотна на мостовых сооружениях следует предусматривать установку контруголков. При устройстве пути на балласте контруголки устраиваются по длине моста и за его пределами, не менее 10 м в каждую сторону от

задней грани устоев, после чего их сводят «челноком» длиной не менее 20 м. При устройстве пути на безбалластном полотне контруголки сводят «челноком» длиной на протяжении не менее 20 м сразу за задними гранями устоев.

5.6.4 При езде на балласте допускается обеспечивать стабильность балластной призмы при высоких скоростях движения путем связывания верхнего слоя балласта специальным полимерным составом или иными методами при обязательном подтверждении расчетами.

5.6.5 Возможность устройства на мостовом сооружении непрерывного бесстыкового пути следует определять расчетом, учитывающим продольные взаимодействия пути и элементов сооружения при температурных и силовых воздействиях, независимо от конструкции пути и схемы сооружения в соответствии с указаниями 6.6.3.25—6.6.3.30.

Целями расчета являются обеспечение устойчивости пути и целостность рельсовых плетей во всем диапазоне изменений расчетных температур и от вертикальных и горизонтальных (торможение и тяга) воздействий поездной нагрузки. Критериями применимости решений являются предельные напряжения в рельсах и предельные взаимные смещения пролетных строений.

При невозможности обеспечить указанные требования для непрерывных в пределах сооружения рельсовых плетей в последних устраиваются разрывы в зонах максимальных расчетных напряжений. В местах разрывов необходимо устанавливать уравнительные приборы.

5.6.6 При назначении схемы сооружения, расстановке опорных частей и температуры закрепления рельсовых плетей следует стремиться к уменьшению дополнительных напряжений в рельсовом пути от воздействия температуры и поездной нагрузки.

5.6.7 Силы, возникающие при совместной работе конструкций моста и рельсовых путей, должны быть учтены при расчете пролетных строений, неподвижных опорных частей, опор, а также при определении усилий в рельсовом пути.

5.6.8 Плавность движения транспортных средств по искусственным сооружениям должна обеспечиваться путем ограничения упругих прогибов пролетных строений и углов перелома от подвижной временной вертикальной нагрузки (см. 6.4.5), а также назначением продольного профиля пути соответствующего очертания.

5.6.9 Необходимое очертание рельсовому пути на мостах следует придавать за счет строительного подъема пролетных строений и изменения толщины балластного слоя или других способов регулировки высоты подрельсового основания. Стрелу строительного подъема после учета деформаций от постоянной нагрузки рекомендуется назначать равной 50 % упругого прогиба пролетного строения от нормативной нагрузки высокоскоростного поезда при $\gamma_f = 1$ и коэффициенте динамики $1 + \mu_1 + \mu_2 = 1{,}0$. При езде без балласта установленная величина строительного подъема должна поддерживаться в эксплуатации предусмотренными конструктивными мероприятиями.

5.6.10 Прогиб от постоянной нагрузки вычисляется от нормативных постоянных вертикальных нагрузок с учетом долговременных процессов усадки и ползучести бетона, потерь натяжения арматуры и других факторов, приводящих к нарастанию прогибов во времени.

5.6.11 Если прогиб пролетного строения при загружении всех путей статической нагрузкой от высокоскоростного поезда не превышает 50 % максимально допустимого значения, строительный подъем предусматривается только для компенсации деформаций от постоянной нагрузки.

5.7 Сопряжение мостов с подходами

5.7.1 При сопряжении конструкций мостов с насыпями подходов необходимо выполнять требования СП 35.13330.2011 (раздел 5) с учетом указанных ниже ограничений.

5.7.2 В зонах примыкания насыпи подходной насыпи к мосту необходимо устраивать участки переменной жесткости, обеспечивающие постепенное возрастание жесткости основания пути от насыпи к устоям. Конструкцию и параметры участка переменной жесткости: длину, форму (в том числе в плане), физико-механические характеристики грунтов засыпки принимают по расчету на основании действующих нормативных документов по проектированию земляного полотна для ВСМ. Цель расчета — обоснование конструктивного решения, обеспечивающего выполнение требований комфортного проезда и безопасности движения (см. таблицу 6.6). Расчет должен учитывать упругие и неупругие деформации участка, их градиенты по длине, жесткость и осадки устоя, мероприятия для регулировки неупругих осадок, а также жесткость и массовые характеристики опирающегося на устой пролетного строения. При этом длину участков переменной жесткости принимают не менее 25 м.

5.7.3 Откосы конусов у мостов и путепроводов должны быть укреплены по всей высоте. Типы укреплений откосов и подошв конусов и насыпей в пределах подтопления на подходах к мостам и у труб, а также откосов регуляционных сооружений следует назначать в зависимости от их высоты и крутизны, длительности подтопления, условий ледохода и карчехода, воздействия волн и скоростей течения воды при скоростях, соответствующих максимальным расходам во время наибольших паводков. Превышение отметки верха укреплений над уровнем воды в паводок с учетом подпора и наката волны на насыпь у мостов и труб должно быть не менее 0,5 м.

5.7.4 Минимальную длину насыпи между мостами не следует принимать менее 150 м.

5.8 Отвод воды

5.8.1 При проектировании отвода воды с мостовых сооружений следует выполнять требования СП 35.13330.2011 (раздел 5) и настоящего свода правил.

5.8.2 Организованный отвод воды с мостового полотна выполняется только на участках мостовых сооружений, расположенных над эксплуатируемыми территориями (железными, автомобильными и пешеходными дорогами, застроенными территориями). В остальных случаях отвод воды с мостового полотна осуществляется через водоотводные трубки и сбросом на рельеф.

5.9 Эксплуатационные обустройства

5.9.1 При проектировании эксплуатационных обустройств следует выполнять требования СП 35.13330.2011 (пункты 5.80, 5.86, 5.92) в части, не противоречащей указаниям настоящего подраздела.

5.9.2 Все мосты и путепроводы должны иметь двухсторонние служебные проходы шириной не менее 1 м, располагаемые вне габарита приближения строений.

Для проведения работ по надзору за сооружением и его ремонту мосты должны иметь устройства, предназначенные для безопасного обслуживания самих сооружений и путей: специальные смотровые устройства и приспособления, тротуары, мостовой настил, лестницы, перильные ограждения (высотой не менее 1,10 м), сходы с перилами, оповестительную сигнализацию, средства энергоснабжения для ремонтного оборудования, механизированный инструмент, стационарные воздухопроводы, средства электроосвещения объекта, контрольно-габаритные устройства, судоходную сигнализацию и др.

Проведение работ по надзору за мостовыми сооружениями и их ремонту во время возможного движения высокоскоростного транспорта не допускается.

5.9.3 Эксплуатационные обустройства следует проектировать с учетом аэродинамического воздействия высокоскоростного подвижного состава.

5.9.4 Под всеми путепроводами ВСМ, проходящих через автомобильные, хозяйственные дороги и скотопрогоны, следует предусматривать контрольно-габаритные устройства. На автодорожных и пешеходных мостах через ВСМ следует предусматривать защитные ограждения, исключающие воздействие электрического тока и воздушных потоков на людей и транспортные средства, а также попадание посторонних предметов на магистраль.

5.9.5 У каждого конца мостового сооружения или трубы при высоте насыпи свыше 2 м следует устраивать по откосам постоянные лестничные сходы шириной 0,75 м.

5.9.6 На мостах и эстакадах длиной более 3 км следует предусматривать аварийно-спасательные сходы на землю.

5.9.7 На мостах не допускается прокладка каких-либо инженерных коммуникаций, кроме предназначенных для обслуживания ВСМ. При этом на больших и средних мостах коммуникации должны иметь устройства для выключения этих линий и коммуникаций с обеих сторон мостов.

5.9.8 У охраняемых мостов следует предусматривать помещения для службы охраны моста и соответствующие устройства.

Вблизи больших мостов следует предусматривать служебные, бытовые помещения, мастерские и помещения компрессорных станций, перечень и размеры которых устанавливаются заданием на проектирование.

На больших мостах для механизации работ по текущему содержанию и ремонту следует предусматривать устройство линий подачи сжатого воздуха и воды, а также линий продольного электроснабжения с токоразборными точками.

5.9.9 Для обеспечения безопасности высокоскоростного движения по большим мостам, а также по сооружениям, расположенным на местности типа А по СП 20.13330.2016, пункт 11.1.6, следует

предусматривать устройство гидрометеорологических постов на обеих берегах пересекаемой реки или в начале и конце сооружения.

5.9.10 При необходимости на мостовых сооружениях в пределах городов и населенных пунктов устраиваются шумозащитные экраны в соответствии с 5.11.7—5.11.13.

5.10 Пожарная безопасность

Пожарная безопасность искусственных сооружений на ВСМ обеспечивается в соответствии с действующими нормативными правовыми актами Российской Федерации и нормативными документами по пожарной безопасности.

5.11 Охрана окружающей среды

5.11.1 Разработку природоохранных разделов и мероприятий необходимо выполнять в соответствии с требованиями действующего законодательства в части охраны всех компонентов окружающей среды [2], [3].

Технические требования по охране поверхностных вод

5.11.2 Расчет и конструирование водопропускных сооружений следует осуществлять с учетом обеспечения полного отвода поверхностного стока с верховой стороны прилегающей к участку территории для предотвращения ее заболачивания.

5.11.3 Откосы земляного полотна для предупреждения размыва их поверхностными водами и выноса загрязнений в водные объекты должны быть укреплены посевом многолетних трав.

5.11.4 При сооружении береговых и промежуточных опор мостовых переходов через реки необходимо соблюдать следующие требования:

- гравийно-галечный материал не должен вывозиться за пределы русла и поймы реки, а должен равномерно располагаться по берегу;
- при производстве дноуглубительных и других работ в русле участок проведения работ следует оградить плавающей завесой для предотвращения распространения взвеси вниз по течению;
- для размещения механизмов и производства работ в русле необходимо применять свайные эстакады, мосты или островки с последующей их разборкой, при этом в русле с рыбохозяйственным ресурсом водопользования не допускается перегораживать более 2/3 живого сечения, а сроки и виды выполнения вышеуказанных работ должны быть согласованы с органами рыбоохраны;
- заправку машин и механизмов горючим и смазочными материалами следует осуществлять за пределами водоохранных зон;
- для мойки колес автотранспорта следует применять установки оборотного водоснабжения;
- при нанесении гидроизоляции на элементы мостовых конструкций, а также очистки перед окраской должны быть приняты меры от попадания вредных веществ в водные объекты;
- качество сточных вод перед выпуском их в водный объект должно соответствовать требованиям санитарных норм и правил, допускается определять качество опытным путем.

Технические требования по охране воздушного бассейна

5.11.5 Все работы, связанные с перегрузкой грунта (сооружение насыпей подходов, укладка балласта), следует выполнять с грунтом, имеющим влажность, исключающую пыление. В необходимых случаях грунт увлажняют.

5.11.6 Для оценки воздействия процесса строительства и эксплуатации объектов в составе ВСМ необходимо провести инвентаризацию всех источников выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух в рамках конкретного проекта, определить степень их воздействия и по результатам оценки назначить защитные мероприятия, обеспечивающие соблюдение нормативных значений выбросов загрязняющих веществ.

Технические требования по снижению уровней шума и вибрации

5.11.7 В проекте мостового сооружения на трассе ВСМ в районах жилой застройки в необходимых случаях должны быть предусмотрены мероприятия для снижения уровней шума и вибрации до уровней, допустимых санитарно-гигиеническими нормами.

5.11.8 Контроль уровней шума и вибрации от высокоскоростных поездов следует выполнять в соответствии с требованиями ГОСТ Р ИСО 14837-1, с учетом положений СН 2.2.4/2.1.8.566 и СП 338.1325800. При уровнях шума и вибрации, превышающих допустимые значения, следует предусматривать защитные мероприятия согласно указанным выше нормативным документам.

5.11.9 Мероприятия по защите территорий жилой застройки от шума ВСМ разрабатываются в составе проектной документации при проектировании трассы ВСМ. В проекте мостового сооружения, расположенного на трассе ВСМ, в рамках указанных мероприятий разрабатывают и обосновывают соответствующие конструктивные решения (шумо- и виброизоляция пути на мосту, устройство шумозащитных экранов и т. п.).

5.11.10 Шумозащитные экраны рекомендуется размещать на минимально возможном расстоянии от оси пути. Размеры шумозащитных экранов устанавливают на основании соответствующих расчетов, обосновывающих их акустическую эффективность.

5.11.11 Конструкции шумозащитных экранов следует рассчитывать на восприятие аэродинамических нагрузок от высокоскоростных поездов, а также на действие ветровых и снеговых нагрузок. Нагрузки на шумозащитные экраны следует учитывать при проектировании пролетных строений, на которых они расположены.

5.11.12 Шумозащитные экраны на мостовых сооружениях, расположенные в пределах деформационных швов, должны обеспечивать свободные перемещения элементов, соответствующие конструктивным параметрам швов.

5.11.13 При проектировании шумозащитных экранов следует:

- использовать долговечные и коррозионно-стойкие материалы, предполагающие низкие эксплуатационные расходы по уходу и ремонту;
- предусматривать возможность замены отдельных элементов в случае повреждения;
- учитывать архитектурные требования.

Технические требования по защите почвы

Для защиты почвы в районе строительной площадки необходимо выполнять требования 5.11.14—5.11.21.

5.11.14 Стоянка, заправка и ремонт землеройной и транспортной техники должны быть организованы на специально подготовленных площадках, имеющих бетонное или асфальтовое непроницаемое покрытие, в пределах полосы отвода, за границей водоохранных зон водных объектов.

5.11.15 Планировку территории строительной площадки следует осуществлять с организацией сбора поверхностного стока использованных вод для хозяйственно-бытовых и производственных нужд в специальные накопительные емкости или централизованную сантехническую и хозяйственно-бытовую канализацию, или централизованную ливневую канализацию.

5.11.16 Снятие плодородного почвенного слоя перед началом работ на всю глубину залегания для последующего использования при рекультивации следует осуществлять по окончании строительных и планировочных работ.

5.11.17 Места временного хранения снятого плодородного слоя почвы должны быть оборудованы таким образом, чтобы не допустить его размыва атмосферными осадками, дефляции, смешивания с нижележащим грунтом и загрязнения строительным мусором.

5.11.18 Протяженность временных дорог и временного отвода земель на период строительства следует минимизировать в целях уменьшения негативного воздействия на почву.

5.11.19 Необходима реализация мер, обеспечивающих минимизацию рубки деревьев и кустарников при устройстве строительных и технологических площадок и рабочих проездов.

5.11.20 Необходима организация водопропускных или водоотводных сооружений на строительной площадке для сохранения естественного поверхностного стока и предотвращения подтопления почв.

5.11.21 Следует обеспечить своевременное проведение технической и биологической рекультивации использованных территорий в соответствии с почвенно-растительными условиями местности.

Технические требования по охране животного мира

5.11.22 Необходимо предусматривать дополнительные искусственные сооружения или другие виды переходов через железнодорожную линию с направляющими заграждениями для обеспечения жизнедеятельности диких животных с учетом ареалов их распространения, путей миграции и других ситуационных условий, а также, при соответствующих обоснованиях, скотопрогоны для домашних животных.

5.11.23 Водозабор и сброс очищенных сточных вод на водотоках и водоемах рыбохозяйственного значения не допускается размещать в нерестилищах, местах нагула молоди, зимовальных ямах и т. п.

5.12 Авторский надзор, научно-техническое сопровождение и мониторинг

5.12.1 Требования к осуществлению авторского надзора приведены в [7] и СП 246.1325800.

5.12.2 Проектирование и строительство мостовых сооружений на ВСМ должно осуществляться при обязательном научно-техническом сопровождении, обеспечивающем на основании исследований и поверочных расчетов гарантированные надежность и безопасность проектируемых сооружений. Объем и состав программы научно-технического сопровождения для стадий проектирования и строительства утверждаются заказчиком по представлению генеральной проектной организации.

5.12.3 Проектирование искусственных сооружений, предусматривающих пропуск пассажирских поездов со скоростью свыше 350 км/ч, возможно только после выполнения научно-исследовательских работ, разработки соответствующих инженерных решений, их строительства и опытной эксплуатации.

5.12.4 Для оценки фактической работы мостовых конструкций и сооружений, а также обделок тоннелей в проектах следует предусматривать мониторинг — систему длительного контроля за напряженно-деформированным состоянием и его изменением в процессе строительства и эксплуатации.

Систему мониторинга мостовых сооружений и обделок тоннелей следует проектировать как составную часть общей системы мониторинга инфраструктуры участка ВСМ. Технические требования к системе мониторинга принимаются заказчиком проекта (владельцем инфраструктуры) по представлению обоснованных предложений генеральной проектной организации.

5.12.5 Проектирование системы мониторинга должно осуществляться совместно с проектированием конструкций искусственных сооружений. Проектная документация по искусственным сооружениям должна учитывать установку элементов системы мониторинга на этапе строительства.

В проекте производства работ (ППР) рекомендуется предусматривать возможность использования штатной системы мониторинга на стадии монтажа и при испытаниях сооружения.

5.12.6 Проектом должна быть предусмотрена возможность использования подсистемы мониторинга каждого мостового сооружения или его конструктивных элементов (пролетного строения/опоры) и обделки тоннелей для снятия результатов измерений без подключения данного сооружения к общей системе мониторинга.

5.12.7 Подсистема мониторинга искусственных сооружений проектируется как интегрированная часть системы мониторинга инфраструктуры проектируемой ВСМ в составе комплексной системы безопасности в соответствующих разделах проектной документации. Точки контроля, измеряемые (контролируемые) параметры, а также методы и способы измерений назначаются в проекте подсистемы мониторинга искусственных сооружений в зависимости от конструктивных особенностей мостовых сооружений и их расположения на линии в увязке с проектными решениями системы мониторинга инфраструктуры и комплексной системой безопасности проектируемой ВСМ.

При проектировании системы мониторинга искусственных сооружений следует предусматривать три вида мониторинга: контрольный, эксплуатационный и исследовательский.

Контрольный мониторинг должен обеспечивать в автоматическом режиме контроль за безопасностью эксплуатации мостового сооружения или тоннеля и решать задачи по предупреждению возникновения аварийных состояний конструктивных элементов и сооружения в целом, которые могут быть вызваны чрезвычайными обстоятельствами:

- природными явлениями — паводками, ураганами, землетрясениями и т. п.;
- антропогенной деятельностью, а также вследствие опасного развития дефектов, имеющихся в эксплуатируемой конструкции. В случае опасных отклонений от нормальной работы моста система должна автоматически формировать сигнал тревоги и передавать его ответственному персоналу.

В проектах мостов больших пролетов следует указывать требования по обеспечению синхронной регистрации метеорологической обстановки в режиме прямой и обратной связи с системой управления высокоскоростного движения поездов (параметры механической структуры ветра: мгновенная скорость и направления, снеговые и гололедо-изморозевые отложения).

Системой контрольного мониторинга оснащают все искусственные сооружения.

Эксплуатационный мониторинг должен обеспечивать автоматизацию работ по обследованию сооружения в целях планирования эксплуатационных ремонтных мероприятий и предупреждения необратимых изменений состояния моста или тоннеля. При эксплуатационном мониторинге следует осуществлять наблюдения за длительными процессами, происходящими в сооружении, такими как:

- реологические процессы;
- релаксация;
- накопление дефектов и усталостных повреждений;
- вибродинамические воздействия;
- изменение характеристик материалов, вмещающего массива и др.

Эксплуатационной системой мониторинга оснащаются следующие сооружения:

- типовые пролетные строения и опоры каждого типоразмера в количестве, достаточном для получения объективной картины поведения таких конструкций на линии [рекомендуется эксплуатационной системой мониторинга оснастить каждое десятое пролетное строение (опору) каждого типоразмера];
- типовые конструкции обделок в пределах каждой литологической разности и каждого тектонического нарушения в количестве, достаточном для получения объективной картины работы обделки тоннеля;
- неразрезные пролетные строения;
- мостовые сооружения с пролетами более 100 м.

Исследовательский мониторинг следует выполнять для накопления данных о работе моста и тоннеля при воздействии реальных подвижных нагрузок и природных факторов (ветер, температура, геологическая обстановка, ледоход, сейсмика и др.) в целях совершенствования и оценки эффективности новых конструктивно-технологических решений, применяемых при проектировании, строительстве, эксплуатации, ремонте или реконструкции мостов и тоннелей, а также для изучения возможности повышения скорости движения поездов по искусственным сооружениям свыше 350 км/ч.

Оснащению средствами исследовательского мониторинга подлежат все уникальные сооружения и объекты — представители типовых конструкций в различных условиях применения.

5.12.8 В проектах с целью обеспечения сохранения окружающей среды и благополучной среды обитания населения следует предусматривать мониторинг за всеми компонентами окружающей среды. Контроль по выполнению требований экологической безопасности (мониторинг) следует осуществлять на всех стадиях строительства и последующей эксплуатации сооружения.

5.13 Особенности эксплуатации мостовых сооружений

5.13.1 Для обеспечения безопасности высокоскоростного движения по мостовым сооружениям на ВСМ их эксплуатацию следует регламентировать отдельным нормативным документом — инструкцией по эксплуатации.

5.13.2 Особое внимание должно быть уделено эксплуатации больших мостов. Для каждого из них должна быть разработана инструкция по эксплуатации, учитывающая конструктивные особенности сооружения.

5.13.3 При эксплуатации мостовых сооружений не допускаются отклонения от проектной конструктивной формы как несущих, так и всех без исключения ограждающих конструкций на период подготовки и проведения ремонтно-восстановительных работ на пролетном строении и верхнем строении пути.

5.13.4 Для исключения аэроупругой неустойчивости пролетных строений больших мостов и их отдельных элементов не допускается устройство не предусмотренных проектом специальных вспомогательных устройств и сооружений, устанавливаемых непосредственно на конструкциях или вблизи них, таких как ограждения, строительные леса, навесы, строительно-монтажная техника и др.

5.13.5 Проекты подготовки и проведения ремонтно-восстановительных работ мостовых сооружений без ограничения движения высокоскоростных поездов подлежат согласованию с разработчиками проекта сооружений.

6 Расчеты несущих конструкций и оснований

6.1 Общие положения

Надежность

6.1.1 Расчеты следует выполнять по предельным состояниям в соответствии с требованиями ГОСТ 27751. Требования к расчету по первой и второй группам предельных состояний следует принимать по СП 35.13330 с учетом настоящего свода правил.

6.1.2 Основным критерием надежности является невозможность превышения предельных состояний при действии наиболее неблагоприятных сочетаний расчетных нагрузок в течение расчетного срока службы.

6.1.3 Надежность должна быть обеспечена на стадии разработки общей концепции сооружения, при его проектировании, изготовлении его конструктивных элементов, в процессе строительства, при штатной эксплуатации, при особых воздействиях, а также при реконструкции, ремонте и обслуживании.

6.1.4 При расчете должны быть рассмотрены следующие расчетные ситуации:

- установившаяся — эксплуатация;
- переходная — строительство, капитальный ремонт или реконструкция;
- аварийная — соответствующая исключительным условиям работы сооружения (в том числе и при особых воздействиях), которые могут привести к существенным социальным, экологическим и экономическим потерям.

6.1.5 В соответствии с [1] и ГОСТ 27751 для несущих элементов мостов и труб следует устанавливать класс КС-3 (повышенный уровень ответственности). Для элементов пути, конструкций сопряжения пути с пролетным строением и уравнительных приборов следует устанавливать класс КС-2 (нормальный уровень ответственности).

6.1.6 При выполнении проверок прочности и устойчивости несущих элементов конструкций по первой группе предельных состояний на основные сочетания нагрузок стадии эксплуатации следует учитывать коэффициент надежности по ответственности (назначению) γ_n, который следует принимать не менее 1,1.

Примечания

1 На коэффициент γ_n следует умножать левую часть условия надежности (6.1), как множитель к усилиям или напряжениям, вызываемым нагрузками и воздействиями, входящими в расчетные сочетания (или знаменатель правой части) только в том случае, если в условии отсутствует коэффициент, учитывающий ответственность сооружения. Если такой коэффициент присутствует, то его значение следует принимать не ниже приведенного в 6.1.6.

2 При выполнении проверок надежности элементов пути, конструкций сопряжения пути с пролетным строением и уравнительных приборов следует принимать коэффициент $\gamma_n = 1{,}0$.

6.1.7 Коэффициент надежности по ответственности несущих элементов сооружения γ_n следует принимать равным 1,0 в следующих случаях:

- расчеты по первой группе предельных состояний на дополнительные сочетания нагрузок;
- расчеты на сочетания, включающие особые нагрузки и воздействия (сейсмика, сход поезда с рельсов, навал судов);
- расчеты по выносливости;
- проверки надежности по второй группе предельных состояний;
- расчеты надежности при строительных сочетаниях нагрузок.

6.1.8 В расчетах на особые сочетания нагрузок необходимо учитывать допустимость локальных разрушений несущих конструкций. Эти разрушения согласно ГОСТ 27751 не должны приводить к прогрессирующему обрушению сооружения.

6.1.9 При особых воздействиях надежность следует обеспечивать за счет проведения одного или нескольких специальных мероприятий:

- предотвращение или снижение возможности реализации подобных воздействий;
- использование конструктивных решений и материалов, которые при аварийном выходе из строя или локальном повреждении отдельных несущих элементов не приводят к прогрессирующему обрушению сооружения;
- использование комплекса специальных организационных мероприятий, обеспечивающих ограничение и контроль доступа к основным несущим конструкциям сооружения.

Долговечность

6.1.10 Для обеспечения требуемой долговечности на стадии проектирования необходимо учитывать:

- условия эксплуатации;
- влияние окружающей среды;
- свойства применяемых материалов, возможные средства их защиты от негативных воздействий среды, а также возможность деградации их свойств.

6.1.11 Расчетный срок службы основных конструкций мостов, труб и тоннелей на ВСМ принимается равным 100 лет.

Расчетный срок службы конструкций пути принимается из экономических соображений и менее сроков службы несущих конструкций.

Примечание — При соответствующем обосновании сроки службы других конструкций (ограждающих конструкций, смотровых приспособлений и т. п.) могут быть приняты отличными от сроков службы сооружения в целом.

Предельные состояния

6.1.12 При проектировании строительных объектов необходимо учитывать следующие предельные состояния согласно таблице 6.1.

Таблица 6.1 — Группы предельных состояний

Первая группа	Вторая группа
Состояния, превышение которых ведет к потере несущей способности строительных конструкций: - разрушение любого характера (например, пластическое, хрупкое, усталостное); - потеря устойчивости; - явления, при которых возникает необходимость прекращения эксплуатации (например, чрезмерные деформации в результате деградации свойств материала, пластичности, сдвига в соединениях, чрезмерные смещения в опорных частях, образование продольных трещин в бетоне); - особые и аварийные ситуации, наступление которых может приводить к катастрофическим последствиям; - прогрессирующее обрушение	Состояния, при превышении которых нарушается нормальная эксплуатация, исчерпывается ресурс долговечности или нарушаются условия комфортности: - достижение предельных деформаций (например, предельных прогибов, углов поворота) или предельных деформаций оснований; - достижение предельных уровней колебаний, вызывающих вредные для здоровья людей физиологические воздействия; - образование трещин, не нарушающих нормальную эксплуатацию; - достижение предельной ширины раскрытия трещин; - другие явления, при которых возникает необходимость ограничения пропускной способности или снижение расчетного срока службы
Примечание — Предельные состояния могут быть отнесены как к конструкции в целом, так и к отдельным элементам и их соединениям.	

6.1.13 В соответствии с требованиями ГОСТ 27751 обоснование надежности элементов пути следует выполнять по второй группе предельных состояний, а критерии надежности — рассматривать как критерии эксплуатационной пригодности.

Примечания

1 Нарушение работоспособности пути прерывает нормальную эксплуатацию и не приводит к потере несущей способности сооружения и прекращению его эксплуатации.

2 При расчетах взаимодействия пути и сооружения рассматриваются только случаи стадии нормальной эксплуатации и этап строительства. Особые случаи (землетрясение или авария) не учитывают.

6.1.14 Для каждого учитываемого предельного состояния устанавливают расчетные модели сооружения, его конструктивных элементов и оснований, описывают их поведение при наиболее неблагоприятных условиях их возведения и эксплуатации с обоснованными допущениями.

6.1.15 Для каждого предельного состояния, которое необходимо учитывать при проектировании, должны быть установлены соответствующие расчетные значения нагрузок и воздействий, характеристик материалов и грунтов, а также геометрические параметры конструкций зданий и сооружений (с учетом их возможных наиболее неблагоприятных отклонений), коэффициенты надежности, предельно допустимые значения усилий, напряжений, прогибов, перемещений и осадки фундаментов.

6.1.16 Расчет искусственных сооружений по предельным состояниям должен производиться с учетом:

- их расчетного срока службы;
- прочностных и деформационных характеристик материалов, устанавливаемых в нормах, а для грунтов — по результатам инженерно-геологических изысканий;
- наиболее неблагоприятных вариантов распределения нагрузок, воздействий и их сочетаний;
- неблагоприятных последствий в случае достижения строительным объектом предельных состояний;
- возможной деградации свойств материалов;
- условий изготовления, сооружения и особенностей эксплуатации.

6.1.17 Условия обеспечения надежности конструкций или оснований состоят в том, чтобы расчетные значения усилий, напряжений, деформаций, перемещений, раскрытий трещин не превышали соответствующих им предельных значений, устанавливаемых нормативными документами на проектирование.

Условия предельного состояния принимаются в виде

$$S \le \frac{m}{\gamma_n} R, \tag{6.1}$$

где S — действующий фактор (усилие, напряжение или деформация), вычисленный от сочетания нагрузок или воздействий по соответствующему предельному состоянию (нормативный или расчетный);

m — коэффициент(ы) условий работы;

γ_n — коэффициент надежности по ответственности (назначению) сооружения;

R — значение соответствующего предельного фактора с обеспеченностью, соответствующей данному предельному состоянию.

Компоненты действующего фактора, входящие в левую часть условия надежности, вычисляются с коэффициентами:

- сочетаний (таблицы 6.26—6.29);
- ответственности (6.1.5—6.1.7);
- надежности (6.4.2, 6.5.1.3);
- учитывающими число путей (таблица 6.25);
- динамики (6.3.17, 6.3.18).

Расчетные сочетания нагрузок

6.1.18 Условие предельного состояния [см. формулу (6.1)] должно быть выполнено для каждого из элементов при всех возможных вариантах сочетаний учитываемых нагрузок и воздействий (левая часть условия).

6.1.19 Для каждой расчетной ситуации учитывают все возможные неблагоприятные расчетные сочетания (комбинации) нагрузок, которые следует устанавливать на основе результатов анализа всех возможных реальных вариантов одновременного действия различных нагрузок и с учетом возможности реализации различных схем приложения нагрузок.

6.1.20 Вероятность одновременного достижения несколькими нагрузками их расчетных значений, соответствующая вероятности достижения одной нагрузкой ее расчетного значения, учитывается коэффициентами сочетаний нагрузок, значение которых не должно превышать 1,0.

Нормативные и расчетные нагрузки

6.1.21 Основными характеристиками нагрузок являются их расчетные или нормативные значения. Расчетное значение нагрузки определяют умножением нормативного значения на коэффициент надежности по нагрузке, учитывающий возможное отклонение нагрузки в неблагоприятную (большую или меньшую) сторону от ее нормативного значения.

6.1.22 Коэффициент надежности по нагрузке γ_f устанавливают в зависимости от изменчивости ее значения, числа определений и доверительной вероятности. Доверительные вероятности расчетных значений принимают равными:

- при расчетах устойчивости формы первой группы предельных состояний — 0,98;
- во всех других расчетах по первой группе — 0,95;
- по второй группе — 0,90.

Примечание — При выполнении проверок надежности элементов пути, конструкций сопряжения пути с пролетным строением и уравнительных приборов следует принимать коэффициент $\gamma_f = 1{,}0$.

6.1.23 Расчетные значения температуры (воздействий, зависящих от территориальных климатических условий) допускается определять непосредственно по расчетному периоду их повторяемости в зависимости от расчетного срока службы сооружения.

6.1.24 Расчетные значения особых нагрузок устанавливают в соответствии с ГОСТ 27751—2014 (пункт 6.2.6).

Нормативные и расчетные характеристики материалов

6.1.25 Основными характеристиками прочности материалов и грунтов служат нормативные значения их прочностных характеристик.

6.1.26 Расчетное значение характеристики материала или грунта определяют делением нормативного значения этой характеристики на коэффициент надежности по материалу.

6.1.27 Коэффициент надежности по материалу γ_m при вычислении расчетного значения устанавливают в зависимости от изменчивости этих характеристик, числа определений и доверительной ве-

роятности. Обеспеченность нормативных значений их деформативных и прочностных характеристик должна быть не ниже:

0,95 — для расчетов по первой группе предельных состояний;

0,85 — для расчетов по второй группе предельных состояний.

Примечание — При выполнении проверок надежности элементов пути, конструкций сопряжения пути с пролетным строением и уравнительных приборов следует принимать коэффициент $\gamma_m = 1,0$.

6.1.28 При соответствующем обосновании расчетные значения характеристик материалов допускается определять непосредственно по экспериментальным данным.

6.1.29 При назначении расчетных характеристик материалов следует учитывать отличия свойств материала в образцах и реальных конструкциях (размерные эффекты, изменение свойств во времени, различия температурных условий и т. п).

6.1.30 При расчете конструкций, работающих при повышенной влажности, в агрессивных средах, при повторных воздействиях, следует учитывать возможные изменения их свойств во времени, в первую очередь деградацию физических свойств материала (прочности, упругости, вязкости, ползучести, усадки).

6.1.31 Указания по определению расчетных и нормативных физико-механических характеристик грунтов приведены в 6.6.1 и СП 22.13330.

Условия работы материалов, конструкций и грунтов оснований

6.1.32 Возможные отклонения расчетной модели от условий реальной работы объекта или конструкции следует учитывать, используя коэффициенты условий работы. Их необходимо устанавливать:

- согласно действующим нормативным документам;
- на основании экспериментальных и теоретических данных;
- на основании данных о действительной работе материалов, конструкций и оснований в условиях производства работ и эксплуатации.

Геометрические параметры

6.1.33 При расчетах следует учитывать возможные неточности в определении геометрических размеров (например, значительные эксцентриситеты, отклонения оси элемента от первоначальной формы, изменение размеров сечений вследствие воздействий агрессивных сред). Геометрические параметры конструкций, изменчивость которых незначительна (допуски на геометрию сечений, размеры проката и т. п.), допускается принимать по проектным значениям.

Общие требования к расчетным моделям

6.1.34 Расчетные модели (расчетные схемы) искусственных сооружений должны отражать действительные условия их работы, соответствовать рассматриваемой расчетной ситуации и учитывать последовательность и технологию их возведения. При этом должны быть учтены конструктивные особенности сооружений, характер их поведения вплоть до достижения рассматриваемого предельного состояния, а также действующие нагрузки и воздействия, в том числе влияние на строительный объект внешней среды, а также, при необходимости, возможные геометрические и физические несовершенства.

6.1.35 В зависимости от постановки задачи, цели расчета и искомых результатов расчетные модели сооружения или его частей могут быть плоскими и пространственными, стержневыми и континуальными, учитывать статическое или динамическое приложение нагрузок и воздействий. Результаты расчета по разным схемам могут суммироваться, могут уточнять друг друга. Результаты могут быть использованы для вычисления коэффициентов или других целей. Расчетные модели должны назначаться в каждом конкретном случае таким образом, чтобы результаты расчета наиболее полно соответствовали целям расчета, а искомые значения были максимально достоверны.

6.1.36 Расчетная схема включает в себя:

- модели нагрузок и воздействий;
- модели конструкции, ее элементов и оснований, описывающие напряженно-деформированное состояние;
- модели сопротивления материалов и грунтов.

6.1.37 Модели нагрузок должны включать их интенсивность (величину), место приложения, направление и продолжительность действия. Для динамических нагрузок, кроме этого, должны быть заданы зависимости их параметров от времени.

В некоторых случаях необходимо учитывать зависимость воздействий от реакции сооружения (например, при расчетах взаимодействия сооружения и высокоскоростного поезда или аэроупругие эффекты при взаимодействии ветрового потока с сооружением).

6.1.38 Модели напряженно-деформированного состояния должны включать определяющие соотношения, описывающие:

- реакцию сооружений и их конструктивных элементов при динамических и статических нагрузках;
- условия взаимодействия конструктивных элементов между собой и с основанием.

При этом должны быть установлены:

- упругие или неупругие характеристики конструктивных элементов и основания;
- параметры, характеризующие геометрически линейную или нелинейную работу конструкций;
- физические и реологические свойства, эффекты деградации.

6.1.39 Вероятностно-статистические методы используют для обоснования нормативных и расчетных характеристик материалов и оснований, нагрузок и коэффициентов сочетаний. Использование указанных методов допускается при наличии достаточных данных об изменчивости основных параметров в случае, если объем данных (длина ряда) позволяет проводить их статистический анализ (в частности, эти данные должны быть однородными и статистически независимыми).

Применение таких методов допускается при наличии эффективных вероятностных методик учета случайной изменчивости основных параметров, соответствующих принятой расчетной схеме.

6.2 Основные требования к расчетам

6.2.1 Для искусственных сооружений должны быть рассмотрены два случая сочетания временных нагрузок от поездов на стадии нормальной эксплуатации, особый случай (землетрясение или авария), а также этап строительства.

Кроме того, динамические характеристики конструкции должны удовлетворять установленному набору требований.

При расчетах следует рассматривать две ситуации стадии эксплуатации: проезд по сооружению высокоскоростного поезда (основная нагрузка) и пропуск поезда, соответствующего нагрузке СК (альтернативная нагрузка).

6.2.2 Для всех элементов конструкций мостов и труб должны быть выполнены расчеты и проверки надежности по первой и второй группам предельных состояний (см. таблицу 6.2).

Таблица 6.2 — Перечень необходимых проверок и соответствующих пунктов настоящего свода правил

Проверки	Случаи сочетания			
	Нормальная эксплуатация		Этап строительства	Землетрясение или авария
	Высокоскоростные поезда	Поезда СК		
Ограничение динамических характеристик				
Ограничение частот колебаний пролетных строений по первой вертикальной форме[1)]	6.3.13		—	
Вторая группа предельных состояний (комфортность, безопасность и эксплуатационная пригодность)				
Предельные: прогибы в плане и профиле, смещения верха пролетных строений, углы перелома пути опор	6.4.4—6.4.14	6.4.4—6.4.14	—	—
Предельные ускорения на уровне верхнего строения пути и в вагоне	6.4.15 и 6.4.16	—	—	
Образование и раскрытие трещин в железобетоне	6.4.2, 6.4.18 [см. также СП 35.13330.2011 (пункты 7.95—7.111)]			
Предельные эксцентриситеты и давление на грунт[2)]	6.4.2, 6.4.19, разделы 7, 10			
Осадки основания, ползучесть и усадка бетона пролетных строений[1)]	6.4.2, 6.4.20, раздел 10			
Первая группа предельных состояний (устойчивость, прочность, выносливость)				
Устойчивость положения[2)]	6.5.2			—

Окончание таблицы 6.2

Проверки	Случаи сочетания			
	Нормальная эксплуатация		Этап строительства	Землетрясение или авария
	Высокоскоростные поезда	Поезда СК		
Требования прочности и устойчивости элементов	6.5.1, 6.5.3, разделы 7—9			
Расчеты выносливости	6.5.1, 6.5.4, разделы 7—9			
[1] Только от постоянных нагрузок. [2] В том числе от постоянных нагрузок.				

6.3 Динамические расчеты при движении высокоскоростных поездов. Параметры расчетных моделей

Общие положения

6.3.1 При решении динамической задачи прохождения высокоскоростного поезда по сооружению следует определять законы изменения и пиковые значения факторов напряженно-деформированного состояния (деформации и напряжения в элементах сооружений), прогибов, переломов и смещений, а также ускорений на уровне верхнего строения пути и в вагоне поезда.

Должны быть учтены следующие динамические явления:

1) высокая скорость изменения интенсивности прикладываемой нагрузки и соответствующий инерционный отклик конструкции;

2) возможные резонансы, возникающие при кратности частот возбуждения (последовательное прохождение по сооружению тележек поезда) собственным частотам колебаний конструкции;

3) динамическое изменение нагрузок от колесных пар, возникающее вследствие дефектов рельсового пути и колес.

При выполнении динамических расчетов следует моделировать поведение конструкции в ситуациях реальной эксплуатации.

Примечание — Если при расчетах прочности рассматривают воздействия и их сочетания, которые могут происходить редко (как правило, один раз за срок службы), то в расчетах динамики при нормальной эксплуатации и при движении поездов на максимальных расчетных скоростях такие случаи рассматривать не следует.

Например, не следует рассматривать случаи ремонта, когда на соседнем пути находится поезд обслуживания или на проходах расположена дополнительная нагрузка. В этом случае скорость движения на участке может быть ограничена.

Скорости также могут быть снижены: при штормовом ветре, при движениях составов ненормативных длин (буксировке) или с дефектными тележками (в ремонт).

6.3.2 При формировании расчетной модели сооружения для вычисления:

- динамических характеристик сооружения;
- значений динамических нагрузок;
- деформаций и реакций в элементах

должны быть учтены следующие основные параметры:

1) обязательные:

- скорость движения поезда — V,
- длина пролета или линии влияния того или иного фактора элемента — L,
- масса элементов конструкции (включая мостовое полотно) — M,
- жесткость элементов конструкции — EA, EJ и др.,
- собственные частоты колебаний конструкции по формам колебаний — f_1, f_2, ... ,
- число осей в поезде, осевые нагрузки и интервалы между осями — n, P_i, a_i,
- коэффициент демпфирования конструкции (элементов) — ζ,
- дефекты рельсового пути и колес (выбоины, некруглость, дефекты подвески) — μ_2;

2) параметры, учитываемые при выполнении расчетов типов III и IV (см. приложение А):

- неподрессоренная/подрессоренная массы вагонов и тележек, а также жесткостные и вязкостные характеристики вагонов, подвески и сочленений вагонов,

- элементы, расположенные под верхним строением пути и локально изменяющие жесткость пути (поперечные балки, диафрагмы и т. п.),

- жесткость и вязкость элементов верхнего строения пути (только для модели IV).

В процессе динамических расчетов подлежит обязательному контролю ряд параметров. Некоторые из экстремальных значений ограничиваются явно, некоторые являются косвенными ограничениями области инженерных решений.

Прямые требования:

- ограничение вертикальных и горизонтальных максимальных ускорений вагона — комфорт пассажиров;

- минимальные силы давления колес поездов на рельс (обезгруживание) — надежность контакта «колесо—рельс»;

- ограничение ускорений на уровне верхнего строения пути — устойчивость балласта и недопущение расстройства соединений верхнего строения пути;

- обеспечение требований прочности и выносливости элементов сооружения с учетом динамики движения поездов — через коэффициент динамики или прямыми методами.

Косвенные требования:

- ограничение упругих прогибов, углов перелома профиля и закручивания сечений;

- рекомендации по диапазону первых частот колебаний пролетных строений.

Примечания

1 Дефекты пути и колес допускается учитывать коэффициентом динамики μ_2 (см. приложение Ж).

2 Соблюдение требований предельных прогибов недостаточно для утверждения об отсутствии резонансных явлений. Для исследования возможных резонансов требуется выполнение динамических расчетов.

6.3.3 Динамические расчеты выполняют при действии только вертикальных нормативных подвижных нагрузок. Расчеты следует проводить на возможный проход по искусственному сооружению высокоскоростных поездов А1—А10 и Б1—Б11 (схемы осевых нагрузок этих поездов приведены в приложении Г), а также реальных высокоскоростных поездов, планируемых для эксплуатации на линии.

6.3.4 При выполнении динамических расчетов (вычисления динамических характеристик) однопутных и двухпутных пролетных строений высокоскоростными поездами загружается один путь.

Скорости, подлежащие рассмотрению

6.3.5 Для каждого поезда, указанного в задании, следует рассматривать ряд значений скоростей от 120 км/ч до расчетной максимальной скорости. Расчетную максимальную скорость следует принимать на 20 % выше проектной максимальной скорости на соответствующем участке магистрали [кроме расчетов комфортности и выносливости (см. 6.4.16 и 6.5.4.6)]. При выполнении динамических расчетов для проверок комфортности и выносливости за верхний предел скоростей принимают проектную максимальную скорость на участке.

6.3.6 Шаг изменения скоростей при расчетах должен устанавливаться таким образом, чтобы исключить вероятность пропуска зон резонанса и занижения пиковых значений амплитуд, скоростей и ускорений. В связи со значительным объемом вычислений шаг изменения скоростей может назначаться переменным. В области резонансных скоростей следует уменьшать шаг рассматриваемых скоростей. Порядок определения резонансных скоростей для балочных разрезных пролетных строений приведен в приложении Б.

Демпфирование конструкции

6.3.7 Величина пикового отклика конструкции зависит от демпфирования. Для несущих конструкций пролетных строений следует использовать нижние предельные значения коэффициентов демпфирования, приведенные в таблице 6.3.

Таблица 6.3 — Демпфирование несущих конструкций пролетных строений

Тип пролетного строения	Нижнее предельное значение ζ, % от критического демпфирования	
	$L < 20$ м	$L \geq 20$ м
Стальные и сталежелезобетонные	$\zeta = 0{,}5 + 0{,}125\ (20 - L)$	$\zeta = 0{,}5$
Железобетонные предварительно напряженные	$\zeta = 1{,}0 + 0{,}07\ (20 - L)$	$\zeta = 1{,}0$
Балки из обычного железобетона и с бетонным наполнителем	$\zeta = 1{,}5 + 0{,}07\ (20 - L)$	$\zeta = 1{,}5$

При применении специальных конструктивных решений или устройств, повышающих демпфирующие свойства конструкции или ее элементов, коэффициенты демпфирования могут быть приняты отличными от приведенных в таблице 6.3. Использование в расчетах таких коэффициентов должно быть подтверждено результатами исследований.

Для балочных разрезных пролетных строений длиной менее 30 м при расчетах по методике А в соответствии с 6.3.10 должно быть учтено дополнительное демпфирование (приложение И).

Примечание — В настоящем своде правил используется коэффициент демпфирования (затухания) ζ, удобство которого для описания затухающих колебаний состоит в том, что при критическом значении $\zeta = 1$ движение теряет колебательный характер (становится апериодическим).

Существуют и другие коэффициенты, характеризующие затухание колебаний: коэффициент неупругого сопротивления γ и логарифмический декремент затухания δ.

Преимущество логарифмического декремента затухания заключается в его наглядности — он определяется как натуральный логарифм отношения двух последовательных амплитуд одного знака:

$$\delta = \ln(A_0/A_1).$$

Эти три коэффициента связаны соотношениями:

$$\gamma = 2\zeta \text{ и } \delta = 2\pi\zeta.$$

Массы элементов конструкции

6.3.8 При формировании динамической модели сооружения следует уделять особое внимание массовым характеристикам элементов.

При выполнении динамических расчетов следует рассматривать две расчетные модели: с минимально возможной и максимально возможной массами конструкций (включая массу мостового полотна, элементов контактной сети, коммуникаций, шумозащитных экранов, а также других конструкций, которые могут быть расположены на пролетном строении):

- случай минимальной массы — для оценки максимальных ускорений;
- случай максимальной массы — для прогнозирования самых низких резонансных скоростей.

Примечания

1 Максимальные динамические эффекты, как правило, возникают на резонансных пиках на определенных скоростях, когда совпадают кратные значения частоты возбуждения и собственных частот конструкции или поезда. Вследствие резкого изменения значений (градиентов) амплитуд, скоростей и ускорений в зонах резонанса, даже незначительные отклонения параметров модели от реально возможных (в том числе и необоснованные «запасы») могут привести к серьезным ошибкам как в сторону недооценки этих факторов, так и к неоправданной их переоценке и, как следствие, к перерасходу материалов и увеличению стоимости сооружения.

Недооценка массы приводит к завышению частот конструкции и, соответственно, скоростей поезда, на которых происходит резонанс.

С другой стороны, максимальное ускорение конструкции в зоне резонанса обратно пропорционально массе. Переоценка массы может привести к заниженной оценке частот и ускорений.

Поэтому при формировании расчетной модели следует уделять особое внимание корректному назначению масс и жесткостей конструктивных элементов сооружения. Следует рассматривать не фиксированные значения этих характеристик и скоростей движения, а возможные диапазоны их изменения.

2 При определении минимальной массы балласта следует полагать, что толщина балласта минимальна, и он находится в сухом чистом состоянии. Плотность балласта может быть принята равной 1700 кг/м^3.

3 При назначении максимальной массы балласта следует исходить из допусков на возможный подъем пути и принимать, что балласт имеет максимальную степень уплотнения, находится во влажном состоянии, а степень его загрязнения достигла предельно допустимого значения при эксплуатации.

4 Назначение максимальных и минимальных масс конструкций производится в каждом конкретном случае исходя из условия движения по сооружению высокоскоростной нагрузки без ограничения скорости (не следует рассматривать случаи ремонта или путевых работ).

5 Если массовые характеристики основных конструкций принимают по таблицам спецификаций рабочих чертежей, вариативность масс стальных конструкций допускается не учитывать, а железобетонных — учитывать коэффициентами 1,02 и 0,98 (максимальные и минимальные соответственно), в других случаях принимают 1,05 и 0,95 для стальных и бетонных элементов.

Жесткость конструкции

6.3.9 При выполнении динамических расчетов в расчетных моделях конструкций следует учитывать как верхние, так и нижние оценки жесткости элементов. Жесткости следует определять в предположении упругой работы элементов.

Примечания

1 Переоценка жесткости конструкции приводит к завышению собственных частот конструкции, смещению резонансных пиков и, соответственно, завышению скоростей поезда, на которых происходит резонанс.

2 Неоправданное (неаргументированное) занижение жесткости может привести к перерасходу материалов и, как следствие, увеличению стоимости сооружения.

3 Возможные отклонения жесткости реальной конструкции от жесткости расчетной модели назначаются в каждом конкретном случае, исходя из особенностей конструкции (число элементов и соединений, массивность сечений и другие соображения).

4 При определении жесткости железобетонных элементов сечения следует полагать, что все потери прошли (усадка, ползучесть, потери предварительного натяжения), а ширина раскрытия нормальных трещин не превышают допустимые значения (для оценки минимальной жесткости обычного железобетона).

Моделирование возбуждения и динамического поведения конструкции

6.3.10 В зависимости от длины пролета и сложности динамического поведения системы «поезд — пролетное строение» возможно использование двух методик и двух динамических моделей (см. таблицу 6.4).

Таблица 6.4 — Методики расчета, динамические модели и критерии их применимости

<table>
<tr><th colspan="2" rowspan="2">Методика</th><th rowspan="2">Критерии применимости</th><th rowspan="2">Динамическая модель[3)]</th><th colspan="2">Учет динамики при проверках надежности[4)]</th></tr>
<tr><th>Учет взаимодействия поезда и пролетного строения</th><th>Учет дефектов пути и колес</th></tr>
<tr><td rowspan="3">А</td><td rowspan="2">А.1</td><td rowspan="2">Изгибающие моменты и прогибы в сплошностенчатых (плитных, коробчатых и ребристых) разрезных балках с расчетными пролетами ≤ 60 м</td><td rowspan="3">Модель II</td><td colspan="2">$S_{din} = S_{stat}\cdot(1 + \mu_1 + \mu_2)$ умножением статических значений:</td></tr>
<tr><td>На коэффициент динамики μ_1 (6.3.17)</td><td>На коэффициент динамики μ_2 (6.3.19)</td></tr>
<tr><td>А.2</td><td>Все компоненты внутренних усилий в сечениях пролетных строений конструктивных решений:
- разрезные балки при пролетах > 60 м;
- неразрезные, рамные и арочные при любых приведенных длинах пролета[1)];
- опорные реакции и усилия в опорах[2)]</td><td colspan="2">$S_{din} = S_{ext,II}\cdot(1 + \mu_2)$</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Б</td><td rowspan="2">Б.1</td><td rowspan="3">Пролетные строения, не удовлетворяющие критериям применимости А.1 и А.2 (сквозные фермы и арки, пролетные строения с поперечными балками проезжей части и др.)</td><td rowspan="2">Модель III</td><td>Учтен в пиковых значениях фактора динамического расчета (6.3.18)</td><td>На коэффициент динамики μ_2 (6.3.19)</td></tr>
<tr><td colspan="2">$S_{din} = S_{ext,III}\cdot(1 + \mu_2)$</td></tr>
<tr><td>Б.2</td><td>Модель IV</td><td colspan="2">$S_{din} = S_{ext,IV}$
Пиковые значения из динамического расчета (6.3.19)</td></tr>
</table>

1) Приведенные длины пролетных строений принимаются по В.5 (приложение В).
2) С учетом требований приложения Ж.
3) По приложению А.
4) Порядок учета коэффициентов динамики приведен в приложении Ж.

Примечания

1 В настоящей таблице применены следующие обозначения:

S_{stat} — значение искомого фактора по статическому расчету;

$S_{ext,II}$, $S_{ext,III}$, $S_{ext,IV}$ — пиковые значения фактора при динамических расчетах.

2 Основным критерием, определяющим допустимость применения методики А (модель II, см. приложение А), является отсутствие под плитой проезда мест локального изменения жесткости, то есть элементов проезжей части, местная работа которых может вносить существенный вклад в картину динамического взаимодействия поезда и конструкции.

3 Необходимо учитывать «разгружающую» динамику согласно Ж.3 (приложение Ж).

Методика А

При расчетах по данной методике динамическое воздействие может быть представлено набором сосредоточенных сил (см. приложение Г), перемещающихся по сооружению с заданной скоростью (модель II, приложение А). Методика может быть применена в случаях, перечисленных ниже, при отсутствии под плитой проезда мест существенного локального изменения жесткости (поперечных балок или других элементов, местная работа которых может вносить существенный вклад в картину динамического взаимодействия поезда и конструкции пролетного строения):

1) для расчетов плитных, сплошностенчатых (коробчатых и ребристых) разрезных балок пролетами до 60 м;

2) для разрезных балок при длинах пролета, превышающих 60 м, а также неразрезных, рамных и арочных систем при любых приведенных длинах пролета (см. В.3 и В.5 приложения В).

Методика Б

Для мостов других конструктивных решений (пролетные строения со сквозной решеткой: фермы, арки и др.), а также в случаях, когда под полотном проезжей части расположены элементы, местной работой которых нет оснований пренебрегать, следует производить динамические расчеты с учетом взаимодействия поезда и конструкции (с учетом подрессоренных/неподрессоренных масс, а также характеристик вагонов и тележек поезда) с использованием модели III (приложение А). В случаях, если необходимо учесть в расчете жесткости конструкции пути и его взаимодействие с несущей частью [например, если коэффициент динамики μ_2 не может быть вычислен по Ж.7 (приложение Ж)], следует использовать модель IV (приложение А).

6.3.11 Методика расчета должна учитывать следующие динамические характеристики конструкции:

- взаимодействие между изгибными и крутильными формами;
- близость соседних частот и формы соответствующих колебаний;
- влияние отдельных элементов пролетных строений (поперечные балки и т. д.).

6.3.12 Представление динамического воздействия сосредоточенными силами (см. таблицу 6.4, А.1 и А.2) при малых длинах загружения приводит к переоценке динамических эффектов (пикового отклика при резонансе). В этом случае:

- при длинах менее 10 м — должно быть учтено распределение давления от осей поезда на плиту проезда согласно приложению К. При расчетах железобетонных пролетных строений с ездой на балласте по методике А допускается вместо учета распределения нагрузки шпалами увеличивать дополнительное демпфирование на величину, равную $0{,}00176\cdot(10 - L)^3$ %;

- при длинах менее 30 м — необходим учет динамического взаимодействия массы транспортного средства и моста одним из указанных способов:

  - прямыми динамическими расчетами по модели III или IV (приложение А);

  - увеличением коэффициента демпфирования согласно приложению И при расчетах по модели II (приложение А).

Ограничение частот колебаний пролетных строений по первой форме вертикальных колебаний

6.3.13 При проектировании по методике А следует назначать параметры пролетных строений, перечисленных в таблице 6.4, А.1 и А.2, такими, чтобы выполнялись следующие условия:

1) первая собственная частота вертикальных колебаний находилась в пределах

$$f_{1,min} \le f_1 \le f_{1,max}; \qquad (6.2)$$

2) соотношение первых частот колебаний по форме изгиба и по форме кручения удовлетворяло условию

$$f_{1,t} \ge 1{,}2\, f_1, \qquad (6.3)$$

где f_1 — первая собственная частота вертикальных изгибных колебаний, Гц;

$f_{1,min}$ — нижний разрешенный предел частоты, Гц;

$f_{1,max}$ — верхний разрешенный предел частоты, Гц;

$f_{1,t}$ — первая собственная частота колебаний, связанная с кручением, Гц.

Предельные значения частот в зависимости от длины пролета приведены в приложении В.

В случаях, если расчетная длина пролета превышает 60 м, а также при расчетах пролетных строений, схема работы которых отлична от балочной разрезной, при выборе методики расчета следует руководствоваться указаниями, приведенными на рисунке 6.1:

- при невыполнении первой части условия (6.2) (если $f_1 < f_{1,min}$) пролетное строение должно быть запроектировано по методике Б (Б.1 или Б.2);

- при невыполнении второй части условия (6.2) (если $f_1 > f_{1,max}$) пролетное строение должно быть запроектировано по методике Б.2, при этом должны быть учтены неровности пути и дефекты колес (и соответствующее обоснование методов их учета).

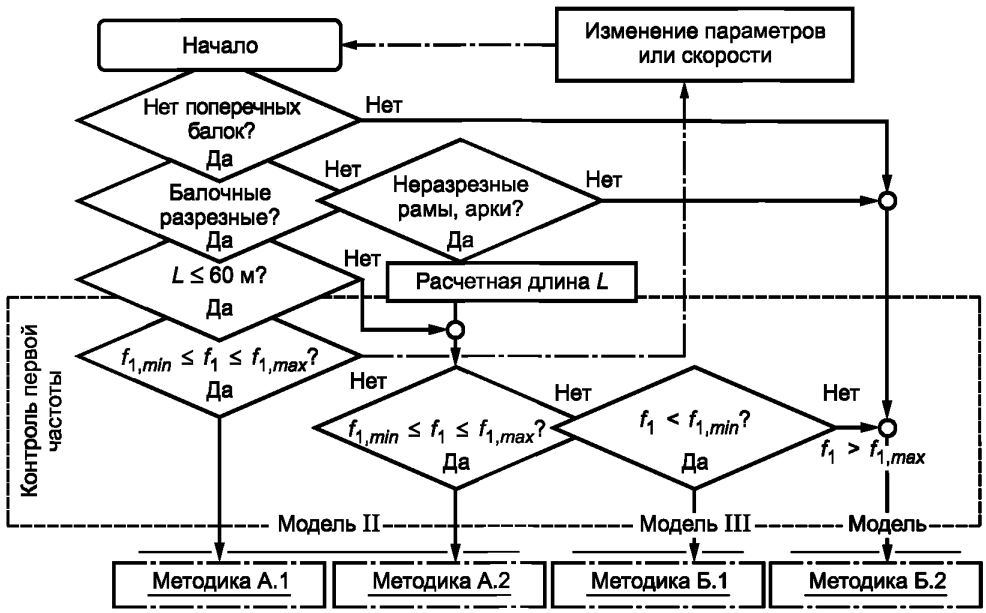


Рисунок 6.1

Значение коэффициента динамики μ_2 может быть вычислено по формуле (Ж.3) только в том случае, если первая частота находится ниже верхнего предела $f_{1,max}$.

Результаты динамического расчета

6.3.14 В процессе выполнения динамических расчетов следует изучать динамическое поведение конструкции при прохождении высокоскоростных поездов. Следует обращать внимание на следующие особенности:

- взаимодействие между изгибными и крутильными формами;
- близость соседних частот и форм соответствующих колебаний;
- влияние отдельных элементов пролетных строений (поперечные балки и т. д.);
- скорости, на которых происходят резонансные явления и связанные с ними формы;
- поведение конструкции при расчетной максимальной скорости;
- зависимость характера динамического поведения от параметров поезда.

Варьируя параметрами сооружения (длина пролета, жесткость, масса, схема работы), следует добиваться снижения влияния резонансных явлений, а также более высокой достоверности результатов и меньшей их зависимости от вариации физико-механических и геометрических параметров сооружения.

Примечание — Реальное динамическое поведение конструкции всегда будет отличаться от теоретического. Это связано с несовершенством методики, условностями расчетной модели конструкции и поезда, а также неточностями значений различных характеристик модели. Все это может привести к тому, что влияние резонансных явлений в реальной конструкции может оказаться выше полученного в результате расчета. При назначении параметров сооружения следует добиваться, чтобы влияние возможных неточностей параметров, имеющих относительно низкую достоверность (например, весов и жесткостей элементов конструкции), оказывало меньшее влияние на результаты (изменив, например, схему работы или длину пролета).

6.3.15 В случае выполнения динамического анализа по методике А.1 (см. таблицу 6.4) результатами динамического расчета, используемыми для выполнения проверок надежности, являются:

- вертикальные ускорения на уровне верхнего строения пути (предельные значения ускорений приведены в 6.4.15);

- амплитуды колебаний (по всем рассматриваемым поездам), необходимые для вычисления коэффициента динамики (см. 6.3.17).

6.3.16 Результатами динамического анализа по методикам А.2 и Б (см. таблицу 6.4) являются пиковые значения факторов напряженно-деформированного состояния элементов сооружения в объеме, необходимом для выполнения проверок надежности по первой и второй группам предельных состояний.

Кроме того, при выполнении расчетов по методике Б с использованием моделей III и IV приложения А определяются максимальные вертикальные и горизонтальные ускорения на уровне вагонов (предельные значения ускорений приведены в 6.4.16).

Учет динамического взаимодействия поезда и пролетного строения

6.3.17 В случае выполнения динамического анализа по методике А.1 (см. таблицу 6.4) динамические эффекты, вызванные взаимодействием поезда и пролетного строения, следует учитывать умножением результатов статического расчета на коэффициент динамики μ_1 (совместно с μ_2 — см. 6.3.19). Значение коэффициента μ_1 следует вычислять согласно приложению Ж.

6.3.18 В случае динамического анализа по методикам А.2 и Б (см. таблицу 6.4) динамические эффекты (пиковые значения усилий, напряжений, ускорений, прогибов и др.) являются результатами расчета. В этом случае учитывать коэффициент μ_1 не следует.

Учет дефектов рельсового пути и колес поезда

6.3.19 Динамические эффекты, вызванные дефектами рельсового пути и несовершенствами колес поезда, учитываются в расчетах по методикам А.1, А.2 и Б.1 (см. таблицу 6.4) путем умножения результатов расчета (усилий, напряжений, ускорений, прогибов) на коэффициент μ_2.

В случае динамического анализа по методике А.1 (см. таблицу 6.4) на этот коэффициент следует умножать результаты статического нагружения пролетного строения высокоскоростными поездами (совместно с μ_1 — см. 6.3.17); в случае использования методик А.2, а также методики Б.1 и модели III (приложение А) — пиковые значения результатов динамического расчета.

При использовании методики Б.2 и модели IV (приложение А) динамические эффекты учитывают в пиковых значениях факторов, и умножать результаты на μ_2 не следует.

При выполнении динамических расчетов по методике Б.2 при моделировании несовершенств пути следует руководствоваться приложением Т.

Значение коэффициента динамики μ_2 следует вычислять согласно приложению Ж.

Продольный профиль пути

6.3.20 Предельные отклонения профиля пути от проектного положения, приведенные в таблице 6.5, связаны с обеспечением требований комфорта, предельного обезгруживания колес поезда и сохранности конструкций пути.

Продольный профиль пути следует моделировать при расчетах по методикам Б.1 и Б.2 (см. таблицу 6.5). Профиль должен соответствовать проектному и учитывать строительный подъем, углы перелома и мероприятия по регулировке профиля пути. Кроме этого, необходимо учитывать: неровности пути в соответствии с 6.3.19, изменения профиля при температуре, осадки опор, устоев и участков насыпей подходов, а для железобетонных и сталежелезобетонных пролетных строений — также усадку[1)] и ползучесть бетона.

Осадки оснований опор и ползучесть бетона пролетных строений следует учитывать только за время эксплуатации.

При выполнении требований по предельным изменениям профиля следует учитывать положения 6.4.22.

[1)] Деформации пролетных строений, вызванные усадкой бетона, происходят сразу после бетонирования. Процесс усадки, как правило, заканчивается до начала эксплуатации и учитывается при разработке ППР и назначении строительного подъема.

Таблица 6.5 — Предельные изменения профиля, вызванные осадкой оснований опор и ползучестью бетона пролетных строений

Тип значения		Предельные значения[1)]	
		при пути на балласте	при безбалластном пути
Абсолютные осадки опор		30 мм[2)]	20 мм[2)]
Прогибы пролетных строений, вызванные ползучестью бетона		40 мм	30 мм
Углы перелома профиля	вызванные разными осадками соседних опор и ползучестью бетона пролетных строений	1,5 ‰	1,0 ‰
	вызванные разностью осадок устоя, переходного участка и примыкающей насыпи	0,75 ‰	0,5 ‰

[1)] Приведены предельные допустимые изменения профиля, не скомпенсированные строительным подъемом, предусмотренным в проекте сооружения.

[2)] Для промежуточных опор неразрезных пролетных строений предельные значения осадок допускается увеличивать на 20 %.

Ускорения при динамических расчетах

6.3.21 Следует рассматривать проверки максимальных пиковых ускорений пролетного строения, гарантирующих устойчивость рельсового пути (см. 6.4.15), как требование предельного состояния второй группы — безопасности железнодорожного движения согласно 6.4.2.

Ограничение вертикальных и горизонтальных ускорений в вагоне связано с обеспечением комфорта пассажиров (см. 6.4.16). Проверку предельных ускорений в вагоне поезда необходимо выполнять в том случае, если параметры пролетного строения не удовлетворяют условиям А.1, А.2 и Б.1 (см. таблицу 6.4) и, кроме этого, не выполнены критерии предельных вертикальных прогибов. При расчетах по методике Б.2 проверка ускорений в вагоне обязательна.

Контроль обезгруживания колес

6.3.22 В случае использования методик Б.1 и Б.2 (см. таблицу 6.4) необходимо выполнять прямые проверки предельного обезгруживания колес высокоскоростных поездов согласно 6.4.17.

Данное требование следует рассматривать как требование безопасности железнодорожного движения.

6.4 Расчеты по предельным состояниям второй группы

6.4.1 Конструкции искусственных сооружений и их элементы должны удовлетворять требованиям предельных состояний второй группы и для них должны быть выполнены условия, перечисленные в таблице 6.6.

Требования таблицы 6.6 по предельным углам перелома пути в профиле и плане, взаимному смещению торцов пролетных строений, смещению верха опор и дополнительным напряжениям в рельсах являются критериями безопасности движения и обеспечивают стабильность работы конструкций верхнего строения пути (рельсов, скреплений и др.).

6.4.2 При вычислении значений левой части условия надежности в соответствии с 6.1.17 по предельным состояниям второй группы коэффициенты надежности по нагрузке γ_f и по ответственности γ_n принимаются равными 1,0.

6.4.3 Проверки надежности по предельным состояниям второй группы не выполняются при особых сочетаниях нагрузок.

Таблица 6.6 — Условия надежности по предельным состояниям второй группы. Учитываемые нагрузки и воздействия, число загружаемых путей и коэффициенты динамики

Условия надежности по предельным состояниям второй группы	Постоянные нагрузки	Вертикальная подвижная нагрузка				Горизонтальные компоненты подвижной нагрузки			Прочие нагрузки и воздействия		
		ВСП		Поезда СК							
		Число путей[8]	Коэффициент динамики[1]	Число путей	Коэффициент динамики	Центробежная сила	Поперечные удары	Торможение	Ветер	Лед	Температура
Критерии комфортного проезда пассажиров											
Вертикальные и горизонтальные прогибы, скручивание пути	—	—	—	1	1+μ	—			—		
Ускорения в вагоне[2]	Да[4]	1	1,0	—		—			—		
Критерии безопасности движения											
Углы перелома профиля, взаимное смещение консолей пролетных строений от поворота — 6.4.7	—	2	$1+1/2\mu_1$[5]	1	1+2/3μ	—			—		
Взаимное линейное смещение пролетных строений, а также пролетных строений и пути — 6.4.8	—	2	1,0	1	1,0	—		Да	—		
Дополнительные напряжения в рельсах — 6.4.14	—	2	$1+1/2\mu_1$[6]	1	$1+2/3\mu_1$[6]	—		Да	—		Да
Смещение верха опор и углы перелома пути в плане	—	1	$1+\mu_1+\mu_2$	1	1+μ	Да	Да	—	Да	Да	Да
Осадки основания, ползучесть и усадка бетона пролетных строений[3]	Да	—							—		
Ускорения на уровне верхнего строения пути	Да[4]	1	—	—		—			—		
Обезгруживание колес	Да[4]	1	$1-\mu_2$[7]	—		—			—		
Критерии эксплуатационной пригодности											
Образование и раскрытие трещин в железобетоне	Да	2	$1+1/2\mu_1$	1	1,0	—		Да	—		

[1] Приведены коэффициенты динамики, учитываемые при расчетах по методике А.1, при других методиках следует руководствоваться указаниями 6.3.18 и 6.3.19.

[2] Выполнять по методике Б.1 в случае, если не выполнены критерии предельных вертикальных прогибов, а также при расчетах по методике Б.2.

[3] Осадки основания, ползучесть и усадка бетона вычисляются без учета временных нагрузок.

[4] Учитываются в расчетной модели через массы элементов конструкции.

[5] Приведены коэффициенты динамики, учитываемые при расчетах разрезных балок.

[6] Для усилий от торможения — 1 + μ = 1,0.

[7] Приведено для методик А и Б.1; при методике Б.2 — μ_2 учитывается в результатах.

[8] При вычислении «разгружающей» динамики по Ж.3 приложения Ж, в случае учета динамики после прохода поезда по сооружению, следует полагать, что колебания вызваны поездом на одном пути.

Прогибы, смещения и углы поворота

6.4.4 Прогибы, смещения и углы поворота не должны превышать значений, приведенных в таблице 6.7.

Таблица 6.7 — Предельные значения упругих прогибов, смещений и углов поворота

Критерии условий надежности	Предельные значения	
	От высокоскоростных поездов	От поездов обслуживания С8
Критерии комфортного проезда пассажиров		
1 Предельный вертикальный прогиб[1)]	Согласно 6.4.5	$\delta \le L/800$[6)]
2 Горизонтальный прогиб пролетных строений[2)]	$\delta_y \le L/5000$[5)]	—
3 Скручивание пути на пролетном строении (изменение перепада отметок рельсов)[1)]	$\Theta \le 1$ мм на 3 м пути	
Критерии безопасности движения		
4 Углы перелома профиля, взаимное смещение консолей пролетных строений от поворота[3)]	Согласно 6.4.7	
5 Взаимное линейное смещение пролетных строений, а также пролетных строений и пути от поворота[3)]	Согласно 6.4.8	
6 Смещения верха опор[4)]	$\delta_x, \delta_y \le 0{,}005 \cdot \sqrt{L}$ [5)]	
7 Переломы оси пути в плане[4)]	$\Theta \le 1{,}0$ %	

[1)] От вертикальных нагрузок.

[2)] На уровне ездового полотна; от ветровой нагрузки, поперечных ударов и неравномерного нагрева поясов ферм ($dT = 15$ °С).

[3)] От вертикальных нагрузок поездов и торможения.

[4)] От центробежной силы (горизонтальных ударов), ветра, льда и температуры.

[5)] L — расчетная длина пролетного строения; для разрезных, рамных и арочных пролетных строений определяется в соответствии с указаниями В.5 (приложение В).

[6)] При проектной скорости ≤ 80 км/ч.

Предельные значения прогибов и углов поворота приведены на рисунке 6.2 и в таблицах 6.8—6.13.

6.4.5 Требования упругих предельных прогибов пролетного строения и скручивания пути (см. пункты 1—3 таблицы 6.7), а также углов перелома профиля обеспечивают минимальную жесткость пролетного строения и являются критериями комфортного проезда пассажиров и безопасности движения[1)].

Требования пунктов 1—3 таблицы 6.7 должны выполняться при учете вертикальных и горизонтальных компонент нагрузок от поездов класса С8 (эталонная нагрузка), а также от прочих нагрузок и воздействий. Нагрузки и коэффициенты следует учитывать согласно 6.4.2.

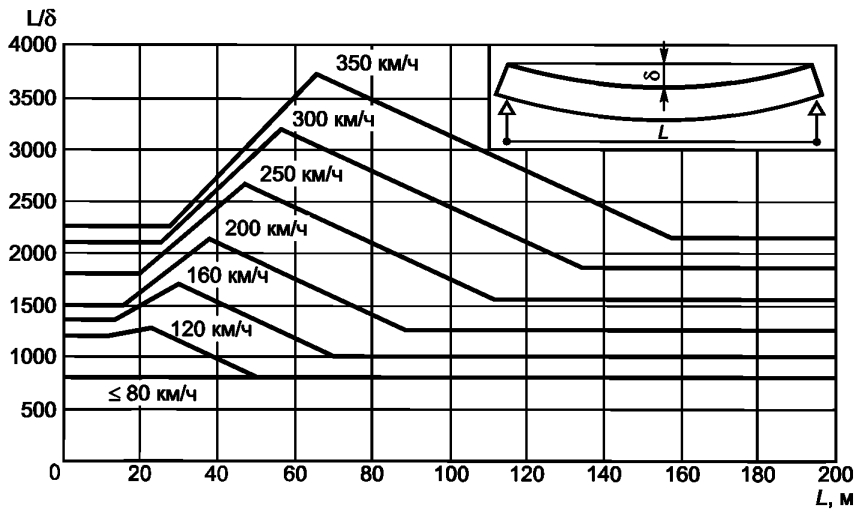
Для пролетных строений, удовлетворяющих условиям А.1 и А.2 (см. таблицу 6.4), критерии комфортности обеспечиваются косвенно при выполнении требований по вертикальным прогибам, углам перелома и скручиванию, а также диапазону собственных частот (6.3.13). Для других пролетных строений необходимо выполнять динамические расчеты по моделям III и IV приложения А и проводить проверки предельных ускорений в вагоне (см. 6.4.16).

Предельные прогибы определяются от вертикальной эталонной нагрузки. В качестве эталонной нагрузки принимают эквивалентную железнодорожную нагрузку С8 на одном пути с учетом коэффициента динамики (таблица Ж.4 приложения Ж).

[1)] Требования по предельным углам перелома пути в профиле наряду с другими требованиями (смещения в плане, взаимное смещение торцов пролетных строений, а также пролетных строений и пути, смещения верха опор и дополнительные напряжения в рельсах) являются критериями безопасности движения и обеспечивают надежность работы конструкций верхнего строения пути (рельсов, скреплений и др.) и одновременно являются критериями комфортного проезда пассажиров.

Таблица 6.8 — Предельные вертикальные прогибы

Проектная скорость на участке, км/ч*													
≤ 80		120		160		200		250		300		350	
L	L/δ	L	L/δ	L	L/δ	L	L/δ	L	L/δ	L	L/δ	L	L/δ
0	800	0	1200	0	1350	0	1500	0	1800	0	2100	0	2250
280	800	10	1200	12,5	1350	15	1500	20	1800	25	2100	27,5	2250
		22,5	1300	30	1700	38	2150	47	2675	56	3200	65	3725
		50	800	71	1000	89	1250	112	1550	135	1850	158	2150
* Промежуточные значения — по интерполяции.													



L — расчетная длина пролетного строения; для неразрезных, рамных и арочных пролетных строений определяется в соответствии с указаниями В.5 приложения В

Рисунок 6.2 — Предельные вертикальные прогибы

Предельные прогибы (см. таблицу 6.8 и рисунок 6.2) приведены для разрезных двухпутных пролетных строений и для тех случаев, если сооружение содержит три и более одинаковых расположенных друг за другом пролетных строений.

Для сооружений с другими статическими схемами работы, удовлетворяющих условиям А.1 и А.2 (см. таблицу 6.4), отношение длины пролета к предельному прогибу (L/δ) следует умножать на поправочные коэффициенты, приведенные в таблице 6.9.

Скручивание пролетного строения определяется от вертикальной железнодорожной эталонной нагрузки С8 и контролируется скручиванием одного из путей как изменение перепада отметок ниток рельсов.

Перепад отметок двух рельсов одного пути не должен превышать 1 мм на 3 м пути.

Таблица 6.9 — Поправочные коэффициенты предельного прогиба для сооружений разных схем

Особенности конструкции мостового сооружения	Коэффициент
Однопутное пролетное строение	1,10
Однопролетный мост	0,85
Мост из двух разрезных пролетных строений	0,90
Неразрезные пролетные строения, а также сооружения рамных или распорных схем	0,90

Коэффициенты, приведенные в таблице 6.9, могут быть применены одновременно. При этом отношение L/δ с учетом поправочных коэффициентов не должно быть менее 800.

6.4.6 Требования по предельным углам перелома пути в профиле и плане, взаимному смещению торцов пролетных строений, смещению верха опор и дополнительным напряжениям в рельсах в соответствии с пунктами 4—7 таблицы 6.7 являются критериями безопасности движения и обеспечивают надежность работы конструкций верхнего строения пути (рельсов, скреплений и др.).

6.4.7 Требования по предельному повороту опорного сечения $\delta\Theta$ и соответствующим предельным вертикальным δH_Θ и горизонтальным δB_Θ смещениям консоли пролетного строения должны быть выполнены при учете только вертикальных воздействий от высокоскоростных поездов и поездов класса С8 с коэффициентами, указанными в 6.4.2.

При типовом проектировании пролетных строений, в тех случаях, когда неизвестно будущее положение пролетного строения в составе мостового сооружения, следует использовать предельные углы поворота консоли $\delta\Theta$, приведенные в таблице 6.10.

При индивидуальном проектировании в зависимости от расположения перелома профиля следует использовать предельные взаимные смещения (см. рисунок 6.3) примыкающих элементов конструкций по таблице 6.11.

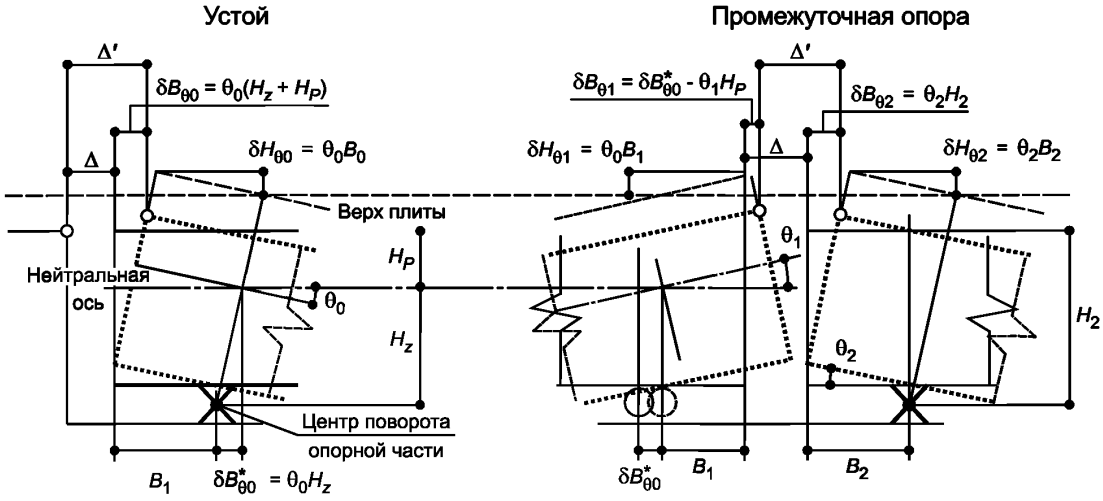


Рисунок 6.3 — Смещение консоли пролетного строения и ограничение углов перелома профиля

Таблица 6.10 — Предельный угол поворота консоли $\delta\Theta$ (Θ_0, Θ_1, Θ_2)[1)], ‰

Консоль B, м	Высота H, м		
	≤ 2,0	3,0	≥ 4,0
Путь на балласте			
≤ 0,5	2,00	1,25	1,00
≥ 0,8	1,25	1,25	1,00
Безбалластный путь			
≤ 0,5	1,50	1,00	0,75
≥ 0,8	1,00	1,00	0,75

[1)] Промежуточные значения — по интерполяции.

Таблица 6.11 — Предельные взаимные смещения консолей пролетных строений

Направления смещений и случаи расположения перелома профиля	Обозначение[1)]	Путь	
		на балласте	без балласта
Вертикальные смещения консолей или консоли и устоя	$\lvert\delta H_{\Theta 1} - \delta H_{\Theta 2}\rvert$	≤ 2,0 мм	≤ 1,5 мм
Горизонтальное взаимное смещение на уровне верха плиты Δ' — Δ: - между смежными пролетными строениями - между пролетным строением и устоем	 $\lvert\delta B_{\Theta 1} - \delta B_{\Theta 2}\rvert$ $\lvert\delta B_{\Theta 0}\rvert$	 ≤ 8,0 мм (≤ 10,0 мм)[2)]	 ≤ 6,0 мм (≤ 8,0 мм)[2)]
Угол перелома профиля между двумя смежными пролетными строениями или пролетным строением и шкафной стенкой устоя	$\Theta_1 + \Theta_2$	≤ 2,0 ‰	≤ 1,5 ‰

[1)] $\delta H_{\Theta 1} - \delta H_{\Theta 2}$ — взаимные вертикальные смещения консолей соседних пролетных строений, а $\delta B_{\Theta 1} - \delta B_{\Theta 2}$, $\delta B_{\Theta 0}$ — взаимные горизонтальные смещения консолей соседних пролетных строений от поворота опорных сечений. Данные смещения вычислены, как максимальные при различных положениях подвижной нагрузки.

[2)] Значения в скобках приведены для расчетов, в которых взаимодействие пути и элементов сооружения не учитывается.

Примечания

1 Приведенные предельные прогибы и углы — упругие. Они являются дополнительными к соответствующим параметрам продольного профиля пути на стадии эксплуатации.

2 При расчетах по методикам Б.1 и Б.2 следует моделировать продольный профиль пути в соответствии с 6.3.20.

6.4.8 Требования по предельным взаимным линейным смещениям пролетных строений δx, а также взаимным смещениям рельсов и плиты пролетного строения от торможения (тяги) должны быть выполнены при устройстве на сооружении бесстыкового пути.

Ограничения по взаимным горизонтальным смещениям могут не выполняться в случаях, когда устройство компенсации удлинения рельсов (уравнительный прибор) установлено на конце одного из смежных пролетных строений, а в случае устройства пути на балласте последний конструктивно разорван между смежными пролетными строениями (или пролетным строением и устоем).

Требования по предельным взаимным линейным смещениям должны быть выполнены от торможения (тяги) высокоскоростных поездов (с двух путей) и поездов класса С8 (с одного пути) в соответствии с 6.6.2.17—6.6.2.24 с коэффициентами сочетаний по 6.6.5 (для второго предельного состояния, как для критерия безопасности движения).

Повороты опорного сечения и соответствующие вертикальные и горизонтальные смещения консоли пролетного строения, взаимные линейные смещения и дополнительные напряжения в рельсах должны быть вычислены как максимальные при расчетах совместной работы конструкции пути и несущих элементов моста по 6.6.3.25—6.6.3.29 при различных положениях временной нагрузки на мосту.

Чрезмерные взаимные смещения пути и пролетного строения могут привести к разуплотнению балласта и изменению параметров взаимодействия пути и сооружения.

Предельные смещения также косвенно ограничивают дополнительные продольные напряжения в рельсах.

Следует контролировать расчетом следующие взаимные смещения от сил торможения (тяги) (рисунок 6.4).

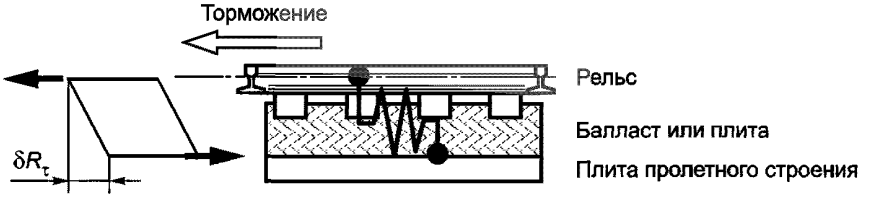


Рисунок 6.4 — Взаимные смещения пути и пролетного строения от торможения (тяги)

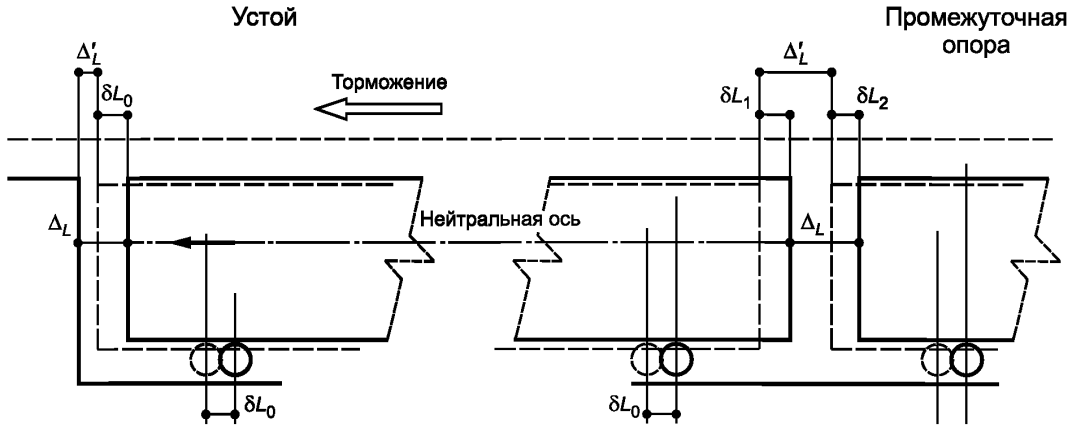


Рисунок 6.5 — Взаимные смещения пролетных строений от торможения (тяги) и температуры

Таблица 6.12 — Предельные взаимные линейные смещения от торможения (тяги)

Тип пути	Наличие уравнительных приборов с обоих концов пролетного строения	
	отсутствуют	установлены
Смещение рельсов относительно пролетных строений δR_τ [1] (см. рисунок 6.4)		
Любой тип пути	≤ 4,0 мм	Не ограничены
Взаимное смещение пролетных строений $\delta L = \Delta'_L - \Delta_L$ (см. рисунок 6.5)		
Путь на балласте	≤ 5,0 мм	≤ 30,0 мм [2]
Безбалластный путь	≤ 5,0 мм	Не ограничены

[1] Смещение между рельсом и основанием балласта на пролетном строении, на устое или примыкающей насыпи.

[2] В случае если в зоне сопряжения пролетных строений или пролетного строения и устоя балласт конструктивно разорван, смещения не ограничиваются.

6.4.9 При превышении предельных смещений (см. таблицы 6.11 или 6.12), а также в случаях, указанных в 5.6.6, следует соответствующим образом обосновать надежность и эксплуатационную пригодность конструкций верхнего строения пути (устойчивость балласта, разрыв и излом рельсов, надежность скреплений, стыков и других элементов), а также конструкций пролетных строений и опорных частей.

6.4.10 Угол перелома профиля в зоне примыкания насыпи подходов к устою моста, вычисленный по линии упругих прогибов при проходе поездов ВСП и С8, не должен превышать 1 ‰.

6.4.11 Если сооружение расположено на уклоне в профиле, следует во взаимных вертикальных смещениях δH_Θ (таблица 6.11) также учитывать смещения, возникающие при температурных удлинениях пролетных строений (в том случае, если не предусмотрены мероприятия, исключающие вертикальные смещения).

Взаимодействие пути и сооружения

6.4.12 При взаимодействии пути и пролетных строений при изменении температур, торможении или разгоне поезда возникают смещения и усилия в элементах пути и пролетных строениях, опорных частях и опорах, а также в основаниях опор.

Эти смещения и усилия должны учитываться при обоснованиях надежности опорных частей, опор и фундаментов.

6.4.13 Смещения, полученные в результате расчетов совместной работы пути и моста, должны быть использованы при проектировании уравнительных приборов.

6.4.14 Дополнительные напряжения в рельсах должны быть определены по всей длине сооружения и за его пределами в соответствии с Н.3.4 приложения Н. Напряжения определяются от сочетаний

вертикальных нагрузок, торможения, тяги и температуры согласно таблице 6.6 пункта 6.4.2 с учетом коэффициентов s_1 (см. 6.6.5.1) и коэффициентов сочетаний таблицы 6.28.

Дополнительные напряжения в рельсах не должны превышать предельных значений, приведенных в таблице 6.13.

Таблица 6.13 — Предельные дополнительные напряжения в рельсах

Дополнительные напряжения	При устройстве пути на балласте, МПа	При безбалластном пути, МПа
Сжатие	72	92
Растяжение	92	
Примечание — Предельные напряжения приведены для рельсов Р65 и при радиусах пути более 1500 м. В других случаях эти напряжения должны быть обоснованы соответствующим расчетом.		

Контроль ускорений при динамических расчетах

6.4.15 Проверки максимальных пиковых ускорений пролетного строения, контролируемые на уровне рельсового пути и гарантирующие его устойчивость, следует рассматривать как требование предельного состояния второй группы — безопасности железнодорожного движения. Предельные вертикальные ускорения на уровне верхнего строения пути не должны превышать:

- при устройстве пути на балласте — 0,35g м/с^2;
- при жестком основании пути (плиты) — 0,50g м/с^2.

6.4.16 Ограничение вертикальных и горизонтальных ускорений в вагоне связано с обеспечением комфортности пассажиров (см. 6.4.1—6.4.5). Вертикальные ускорения на уровне расположения пассажиров в вагоне не должны превышать:

1,3 м/с^2 — если в расчете учитываются неровности пути и дефекты колес;

1,0 м/с^2 — если неровности пути и дефекты колес в расчете не учитываются.

Горизонтальные ускорения не должны превышать 1,0 м/с^2.

При расчетах по методикам А.1 и А.2 выполнение проверок предельных ускорений в вагоне не требуется, комфортность обеспечивается выполнением условия предельных прогибов, указанных в 6.4.4—6.4.5, и разрешенного диапазона частот (приложение В).

При расчетах по методикам Б.1 и Б.2 (см. 6.3.10) пиковые значения ускорений в вагоне являются результатом динамического расчета по моделям III и IV (приложение А). Динамические расчеты следует проводить в диапазоне скоростей от 120 км/ч до проектной максимальной скорости на участке (6.3.5). Горизонтальные ускорения на уровне расположения пассажиров в вагоне необходимо контролировать расчетом в случаях косого в плане расположения поперечных балок (диафрагм) или опорных частей.

Допускается проверять выполнение критерия комфортного проезда пассажиров иными методами, согласующимися с действующими нормативными документами, при этом расчет должен выполняться по методике Б при параметрах поезда, заданных в соответствии с приложением У.

Обезгруживание колес

6.4.17 Требование контроля вертикальных и поперечных усилий в зоне контакта колес поезда и рельсов следует рассматривать как требование безопасности железнодорожного движения.

В случае использования методик Б.1 и Б.2 необходимо выполнять прямые проверки предельного обезгруживания колес высокоскоростных поездов, контролируя соблюдение следующих условий:

$$\frac{P_{stat,i,j} - P_{min,i,j}}{P_{stat,i,j}} \le 0{,}6, \tag{6.4}$$

$$\frac{Y_{i,j}}{P_{i,j}} \le 0{,}8, \tag{6.5}$$

$$\frac{Y_{0,k,j}}{10 + P_{0,k,j}/3} \le 1{,}0, \tag{6.6}$$

где $P_{min,i,j}$ — минимальное давление i-го колеса j-го поезда с учетом динамики, центробежной силы, а также эксцентриситетов e_q и e_s (см. 6.6.2.6);

$P_{stat,i,j}$ — статическое давление i-го колеса j-го поезда;

$Y_{i,j}$ — поперечная сила, передаваемая i-м колесом j-го поезда;

$P_{i,j}$ — текущее давление i-го колеса j-го поезда;

$Y_{0,k,j}$ — поперечная сила, передаваемая k-й колесной парой j-го поезда, кН;

$P_{0,k,j}$ — статическая осевая нагрузка от k-й колесной пары j-го поезда, кН.

При расчетах по методике Б.1 минимальное давление $P_{min,i,j}$ в (6.4) следует определять с учетом коэффициента динамики $(1 - \mu_2)$.

Расчеты трещиностойкости бетона

6.4.18 Расчеты, контролирующие недопущение отказов конструкций по признаку трещинообразования, приведены в разделах 7 и 9 и включают проверки:

- нормальных сжимающих напряжений для исключения возможности продольного трещинообразования;
- главных напряжений в тонкостенных элементах между поперечным армированием;
- образования и раскрытия трещин (если допускается для данного элемента) в зонах растягивающих напряжений для исключения возможности коррозии арматуры и снижения сроков службы.

Предельные эксцентриситеты и давление на грунт

6.4.19 Для контроля растягивающих напряжений в бетонных элементах опор и непревышения средних по подошве и краевых напряжений в грунте, расположенном под подошвой фундамента (в том числе условного), в условиях нормальной эксплуатации следует выполнять проверки, указанные в разделе 10 и СП 35.13330.2011 (пункты 7.66—7.68; 11.7—11.15 и приложение 3). Для расчетов давлений на грунт в случаях, не предусмотренных в СП 35.13330, следует руководствоваться указаниями СП 22.13330.

Осадки основания, ползучесть и усадка бетона

6.4.20 Осадки оснований опор, а также усадку и ползучесть бетона пролетных строений следует учитывать раздельно: за время строительства (до ввода сооружения в эксплуатацию) и за время эксплуатации (после начала движения).

При проектировании следует применять такие инженерные решения по конструкциям и по производству работ, которые позволяют минимизировать возможные необратимые процессы осадок и кренов оснований и ползучести бетона, как во время строительства, так и продолжающиеся после пуска сооружения в эксплуатацию.

Необходимо минимизировать также неравномерность осадок, как по ширине фундамента (крены), так и соседних опор.

Необходимо учитывать, что полная конечная осадка включает две составляющие: начальную (мгновенную) и замедленную (запаздывающую) (см. 10.10—10.12).

6.4.21 Влияние осадок, усадки и ползучести бетона, реализация которых происходит в период строительства и до начала эксплуатации сооружения, на расчетные геометрические параметры конструкции может быть частично или полностью нивелировано: последовательностью организации работ, предусмотренным проектом завышением (по отношению к проектному положению) контрольных отметок или другими мероприятиями.

6.4.22 Конструктивные решения, применяемые при проектировании фундаментов опор и пролетных строений мостовых сооружений, должны обеспечивать значения изменений профиля в процессе эксплуатации не более указанных в таблице 6.5.

Эти требования могут не соблюдаться, если проектом предусмотрены конструкции или мероприятия по регулировке профиля в требуемых для компенсации осадок диапазонах (например, корректировкой толщины балласта).

Для неразрезных, рамных и арочных конструкций больших пролетов, когда выполнение требований таблицы 6.5 приводит к нерациональным проектным решениям, допускается превышать предельные значения, указанные в таблице 6.5, но не более чем в два раза. В этом случае обязательно выполнение динамических расчетов по методике Б.2 с контролем ускорений в вагоне и обезгруживания колес.

6.4.23 В необходимых случаях для оценки напряженно-деформированного состояния конструкций сооружений с учетом длительных процессов и прогноза времени консолидации основания следует проводить расчет осадок во времени согласно СП 22.13330.2016 (пункт 5.6.5).

6.4.24 В случаях, если выполнение требований по контролю предельных осадок приводит к технически или экономически нерациональным решениям, следует рассматривать варианты возможного изменения как расчетных, так и предельных значений деформаций основания за счет применения мероприятий, указанных в СП 22.13330.2016 (подраздел 5.9).

6.5 Расчеты по предельным состояниям первой группы

6.5.1 Общие положения

6.5.1.1 Расчеты по предельным состояниям первой группы производят по:
- устойчивости против опрокидывания;
- прочности и устойчивости элементов конструкции;
- выносливости элементов.

Расчеты производятся на следующие сочетания нагрузок:
- основные;
- дополнительные;
- особые;
- строительные.

6.5.1.2 Состав расчетов по первой группе предельных состояний и учитываемые при этом коэффициенты приведены в таблице 6.14.

Таблица 6.14 — Расчеты по предельным состояниям первой группы. Коэффициенты

Сочетания нагрузок	Прочность, устойчивость формы элементов и положения	Выносливость элементов
Основные	$\gamma_n = 1,1$[1)] γ_f — таблицы 6.9, 6.10 $1 + \mu_1 + \mu_2 \geq 1,20$[2)] – ВСП $1 + \mu \geq 1,15$ – СК	$\gamma_n = 1,0$ $\gamma_f = 1,0$ $1 + 1/2\ \mu_1 + \mu_2 \geq 1,125$[2)] – ВСП
Дополнительные	$\gamma_n = 1,0$ γ_f — таблицы 6.9—6.11 $1 + \mu_1 + \mu_2 \geq 1,20$[2)] – ВСП $1 + \mu \geq 1,15$ — СК	Расчеты не производятся
Особые	$\gamma_n = 1,0$ $\gamma_f = 1,0$ — постоянные γ_f — воздействия — таблица 6.12 $1 + \mu_1 + \mu_2 = 1,0$ – ВСП $1 + \mu = 1,0$ – СК	
Строительные	$\gamma_n = 1,0$ γ_f — таблица 6.13	

[1)] Коэффициент надежности по ответственности (назначению) принимается равным:
- при расчетах на основные сочетания нагрузок:
- при проверках прочности и устойчивости — $\gamma_n = 1,1$;
- при проверках устойчивости положения — γ_n по 6.5.2;
- в остальных случаях — $\gamma_n = 1,0$.

[2)] Для «разгружающей» динамики (см. Ж.3 приложения Ж) — $\leq -1,20$ или $\leq -1,15$ соответственно.

6.5.1.3 При расчетах по первой группе предельных состояний в случаях, перечисленных в таблице 6.14, коэффициенты надежности по нагрузкам γ_f и коэффициенты динамики следует принимать согласно таблицам 6.15—6.19.

Таблица 6.15 — Постоянные нагрузки. Коэффициенты надежности по нагрузке

Нагрузки и воздействия	Коэффициент надежности по нагрузке γ_f
Все, не указанные в настоящей таблице	1,1 (0,9)
Вес мостового полотна с ездой на балласте	1,3 (0,9)
Вес мостового полотна под путем на железобетонных плитах	1,2 (0,9)
Предварительное напряжение или регулирование усилий при контроле по деформациям	1,2 (0,8)

Окончание таблицы 6.15

Нагрузки и воздействия	Коэффициент надежности по нагрузке γ_f
Осадки грунта	1,5 (0,5)
Давление грунта	6.6.1.13—6.6.1.14[1)]
[1)] При расчетных характеристиках грунтов.	

Таблица 6.16 — Временные подвижные нагрузки. Коэффициенты надежности по нагрузке и коэффициенты динамики

Нагрузки при расчетах	Коэффициент надежности по нагрузке γ_f	Коэффициент динамики
Вертикальные временные нагрузки СК:		
- элементов мостов	1,30 — при λ[1)] = 0 м 1,15 — при λ[1)] = 50 м 1,10 — при λ[1)] ≥ 150 м	По приложению Ж
- элементов труб	1,30	
Вертикальные временные нагрузки ВСП[2)]:		
- элементов мостов	1,20	По приложению Ж и 6.5.4.5
- элементов труб	1,40[4)]	1,00[4)]
Горизонтальные компоненты временных нагрузок СК[3)]:		
- элементов мостов	1,20 — при λ[1)] = 0 м 1,10 — при λ[1)] ≥ 50 м	1,00
- элементов труб	1,20	1,00
Горизонтальные компоненты временных нагрузок от ВСП[3)]:		
- элементов мостов	1,20	1,00
- элементов труб	1,40	1,00
Вертикальное и горизонтальное давление грунта со стороны насыпи для ВСП и СК	1,20	1,00
Нагрузка на служебных проходах	1,10	1,00
[1)] λ — длина загружения линии влияния за вычетом длины участков, загруженных порожним составом; для промежуточных значений λ следует принимать по интерполяции. [2)] При вычислении «разгружающей» динамики по Ж.3 (приложение Ж) в случае учета динамики после прохода поезда по сооружению следует принимать γ_f = 1,1. [3)] Торможение, центробежная сила, поперечные удары. [4)] При толщине засыпки более 2,5 м (1,5 м) (см. 5.2.5).		

Таблица 6.17 — Прочие нагрузки и воздействия. Коэффициенты надежности

Нагрузки и воздействия	Коэффициент надежности по нагрузке γ_f
Ветровые нагрузки:	
- на стадии эксплуатации	1,6
- на стадии строительства	1,0
Температурные и климатические воздействия	1,2
Ледовая нагрузка	1,2
Аэродинамические воздействия от проходящих поездов	1,2

Таблица 6.18 — Особые нагрузки. Коэффициенты надежности по нагрузке

Нагрузки и воздействия	Коэффициент надежности по нагрузке γ_f
Сейсмические воздействия	1,0
Сход поезда с рельсов	1,0[1)]
Столкновение судна с опорой или пролетным строением	1,2
Наезд транспорта с пересекаемой автомобильной дороги	1,0[1)]
[1)] Коэффициент учтен в нагрузке.	

Таблица 6.19 — Строительные нагрузки. Коэффициенты надежности по нагрузке

Нагрузки и воздействия	Коэффициент надежности по нагрузке γ_f
Собственный вес вспомогательных обустройств	1,1 (0,9)
Вес складируемых материалов и воздействие искусственного регулирования во вспомогательных сооружениях	1,3 (0,8)
Вес работающих людей, инструмента, мелкого оборудования	1,3 (0,7)
Вес кранов, копров и транспортных средств	1,1 (1,0)
Усилия от гидравлических домкратов и электрических лебедок при подъеме и передвижке	1,3 (1,0)
Усилия от трения при перемещении пролетных строений и других грузов:	
- на катках	1,3 (1,0)
- на салазках	1,1 (1,0)
- на тележках	1,2 (1,0)

6.5.1.4 В каждом из рассматриваемых сочетаний коэффициент надежности γ_f постоянных нагрузок и воздействий, указанных в таблицах 6.9 и 6.13 и имеющих одну природу (вес, натяжение и др.), следует принимать одинаковыми (> 1,0 или < 1,0), за исключением расчетов по устойчивости положения, в которых γ_f принимают в соответствии с 6.5.2.7 и 6.5.2.8.

6.5.2 Расчеты устойчивости положения

Общие указания

6.5.2.1 Целью расчета по устойчивости положения является недопущение опрокидывания и (или) сдвига элементов конструкции или конструкции совместно с основанием. Принимаемая в расчете схема (при достижении предельного состояния) должна быть статически и кинематически возможна.

6.5.2.2 Расчет устойчивости совместно с основанием в общем случае следует выполнять методами теории предельного равновесия, основанными на поиске наиболее опасных поверхностей скольжения. Возможные поверхности скольжения, отделяющие сдвигаемый массив грунта от неподвижного, могут быть приняты круглоцилиндрическими, ломаными, в виде логарифмической спирали или другой формы.

6.5.2.3 Для каждой возможной поверхности скольжения вычисляют предельную нагрузку. При этом используют соотношения между вертикальными, горизонтальными и моментными компонентами нагрузки, которые ожидаются в момент потери устойчивости и описывают нагрузку одним параметром. Этот параметр определяется из условия равновесия сил (в проекции на заданную ось) или моментов (относительно заданной оси). В качестве предельной нагрузки принимают минимальное значение.

6.5.2.4 В число рассматриваемых при определении равновесия сил включают постоянные вертикальные, горизонтальные и моментные нагрузки от веса элементов сооружения и грунта, фильтрационные силы, силы трения и сцепления по выбранной поверхности скольжения, нагрузки от временных воздействий, активное и (или) пассивное давление грунта на сдвигаемую часть грунтового массива вне поверхности скольжения.

6.5.2.5 Действующие и предельные нагрузки вычисляются по первому предельному состоянию, при этом коэффициенты надежности по нагрузке γ_f следует принимать:

а) действующие (опрокидывающие, сдвигающие) нагрузки:

- для постоянных и временных нагрузок — $\gamma_f > 1$ ($\gamma_m < 1$).

б) удерживающие (предельные) нагрузки:

- для постоянных нагрузок — $\gamma_f < 1$ ($\gamma_m > 1$);
- для вертикальной подвижной нагрузки (от порожнего состава) — $\gamma_f = 1$.

Примечание — При вычислении действующих и удерживающих сил трения, сцепления или нагрузок от веса грунта коэффициенты γ_m к нормативным значениям угла внутреннего трения, сцепления и плотности грунта следует назначать > 1 или < 1 в зависимости от принадлежности фактора к действующим или удерживающим нагрузкам, но одинаковыми для одного и того же слоя грунта.

При затруднениях по отнесению указанных выше сил к сдвигающим или удерживающим нагрузкам следует проводить два расчета и считать расчетным худший случай.

6.5.2.6 В соответствующих случаях, руководствуясь указаниями СП 35.13330.2011 (пункт 11.6), необходимо учитывать уменьшение веса конструкции вследствие взвешивающего действия воды.

Устойчивость против опрокидывания

6.5.2.7 Устойчивость положения против опрокидывания конструкций, опирающихся на отдельные опоры (например, при уравновешенном монтаже или надвижке пролетного строения), а также фундаментов на грунтовых основаниях следует рассчитывать по формуле

$$M_u \le \frac{m}{\gamma_n} M_z, \tag{6.7}$$

где M_u — момент опрокидывающих сил относительно оси возможного поворота (опрокидывания) конструкции;

M_z — момент удерживающих сил относительно той же оси;

m — коэффициент условий работы, принимаемый по таблице 6.20;

γ_n — коэффициент надежности по ответственности (назначению) по таблице 6.20.

Таблица 6.20

Расчетный случай		Постоянная эксплуатация	Стадия строительства
Опирание на отдельные опоры		$m = 1,0$ $\gamma_n = 1,1$	$m = 0,95$ $\gamma_n = 1,0$
Фундаменты	На скальном основании	$m = 0,9$ $\gamma_n = 1,1$	$m = 0,9$ $\gamma_n = 1,0$
	На нескальном основании	$m = 0,8$ $\gamma_n = 1,1$	$m = 0,8$ $\gamma_n = 1,0$

Коэффициенты надежности по нагрузке при вычислении опрокидывающих M_u и удерживающих M_z моментов следует принимать по таблицам 6.16—6.18 и 6.20.

Устойчивость против сдвига

6.5.2.8 Устойчивость положения конструкций против сдвига (скольжения) следует рассчитывать по формуле

$$Q_r \le \frac{m}{\gamma_n} Q_z, \tag{6.8}$$

где Q_r — сдвигающая сила, равная сумме проекций сдвигающих сил на направление возможного сдвига;

Q_z — удерживающая сила, равная сумме проекций удерживающих сил на направление возможного сдвига;

m — коэффициент условий работы, принимаемый равным 0,9;

γ_n — коэффициент надежности по назначению согласно таблице 6.20.

Коэффициенты надежности по нагрузке при вычислении сдвигающих Q_r и удерживающих Q_z сил следует принимать по таблицам 6.15—6.17 и 6.19.

Примечания

1 При расчете по плоскому сдвигу в качестве удерживающей горизонтальной силы, создаваемой грунтом, следует принимать силу, значение которой не превышает активного давления грунта.

2 Силы трения в основании определяют по коэффициентам трения, указанным в СП 35.13330.2011 (раздел 11). Коэффициент трения между блоками кладки следует принимать равным 0,55.

6.5.3 Расчеты прочности и устойчивости

6.5.3.1 Расчеты по устойчивости положения, а также по прочности и устойчивости элементов отражают случаи экстремальных нагрузок, возможных на стадии эксплуатации сооружения, вероятности появления которых отражаются коэффициентами надежности по нагрузкам $\gamma_f > 1{,}0$ с учетом ответственности сооружения γ_n.

6.5.3.2 При расчетах прочности и устойчивости следует учитывать динамический характер нагрузок от поездов в полном объеме.

В случаях выполнения расчетов по сочетаниям с ВСП по упрощенной методике А динамический характер воздействий учитывается коэффициентами динамики $(1 + \mu_1 + \mu_2)$ к статическим составляющим нагрузок (см. приложение Ж); при расчетах по методике Б — прямыми динамическими расчетами, как экстремальные (пиковые) значения с учетом коэффициента динамики $(1 + \mu_2)$.

При выполнении расчетов на нагрузки поездов обычных скоростей движения (СК) динамические воздействия поездов учитываются коэффициентом динамики $(1 + \mu)$ по Ж.10 (приложение Ж).

6.5.4 Расчеты выносливости

6.5.4.1 Расчеты выносливости (усталости, износа) отражают вероятность отказа сооружения по признаку снижения физико-механических свойств материала, а также появления дефектов в соединениях (стыках, сварных швах).

6.5.4.2 Вероятность отказов по признаку выносливости оценивают на интервале срока службы сооружения (100 лет).

6.5.4.3 Величина снижения прочностных характеристик материалов и стыков зависит от следующих факторов:

- уровня напряженного состояния (близость к предельным значениям или к пластической зоне и параметры асимметрии циклов приложения нагрузок (амплитуды и скорости возрастания нагрузок));
- деградации свойств материалов или изменения геометрии сечений, связанные с «возрастом» элементов (деградация бетона, коррозия стали и др.).

При отсутствии данных по конкретному набору поездов, эксплуатируемых на участке магистрали, характеристик этих поездов и интенсивности их обращения, а также данных по зависимостям снижения свойств материалов и расстройству стыков от динамических воздействий, характерных для поездов ВСП, следует учитывать снижение прочностных характеристик материалов по методикам разделов 7 и 8, а также СП 35.13330.2011 (раздел 9):

- для арматуры и бетона — коэффициентами m_{as1}, m_{ap1} и m_{b1} (см. СП 35.13330.2011 (пункты 7.39, 7.26)) и учетом n_1 согласно СП 35.13330.2011 (пункт 7.48);
- для стали — согласно положениям разделов 8, 9 и приложения Н.

6.5.4.4 Расчеты выносливости выполняются только от регулярно проходящих по сооружению ВСП. Влияние нагрузки СК (поезда обслуживания) на выносливость элементов конструкции не учитывается.

6.5.4.5 В отличие от расчетов прочности, где расчет производится на случаи экстремальных нагрузок (один раз на срок службы), при расчетах выносливости принимаются во внимание средние, значимые для выносливости, интенсивности воздействий от обращающейся нагрузки.

При отсутствии данных эксплуатации на линии конкретного набора поездов, их характеристик, а также интенсивности их обращения по участкам магистрали следует учитывать средний характер нагрузок при расчетах по выносливости следующим образом:

- учитывать нагрузки только с одного пути;
- рассматривать нормативные значения интенсивностей нагрузок от ВСП, принимая коэффициент надежности по ответственности $\gamma_n = 1{,}0$ и коэффициент надежности по нагрузкам $\gamma_f = 1{,}0$;
- учитывать средний характер динамических воздействий от ВСП снижением:
  - при расчетах по методике А.1 (см. 6.3.10 и Ж.4 приложения Ж) — коэффициента динамики $1 + 1/2\ \mu_1 + \mu_2$;
  - при расчетах по методикам А.2 и Б (см. 6.3.10) — пиковых откликов силовых факторов в элементах сооружения (см. Ж.5 и Ж.6 приложения Ж).

При вычислении интенсивностей вертикальных воздействий, а также при определении асимметрии циклов следует учитывать максимальные и минимальные значения соответствующего фактора, учитывая в том числе «разгружающую» динамику в соответствии с Ж.3 (приложение Ж).

6.5.4.6 При расчетах по методикам А.2 и Б (см. 6.3.10) динамические расчеты следует проводить в диапазоне скоростей от 120 км/ч до проектной максимальной скорости на участке (6.3.5).

6.5.4.7 Расчету на выносливость подлежат несущие элементы пролетных строений (включая плиты проезда), опоры и опорные части.

На выносливость не рассчитывают:

- фундаменты всех видов;
- трубы[1)];
- бетон растянутой зоны;
- арматуру, работающую только на сжатие.

6.6 Нагрузки и воздействия

6.6.1 Постоянные нагрузки и воздействия

6.6.1.1 Нормативную вертикальную нагрузку от собственного веса конструкций, а также постоянных смотровых приспособлений, опор и проводов линий электрификации и связи, трубопроводов и т. д. следует определять по проектным объемам.

6.6.1.2 Для балочных пролетных строений нагрузку от собственного веса допускается принимать равномерно распределенной по длине пролета, если величина ее на отдельных участках отклоняется от среднего значения не более чем на 10 %.

6.6.1.3 Вес сварных швов, а также выступающих частей высокопрочных болтов с гайками и двумя шайбами допускается принимать в процентах к общему весу металла по таблице 6.21.

Таблица 6.21 — Учет веса сварных швов и метизов

Металлическая конструкция	Сварные швы, %	Выступающие части высокопрочных болтов, гайки и две шайбы, %
Болтосварная	1,0	4,0
Сварная	2,0	—

6.6.1.4 Нормативное воздействие предварительного напряжения (в том числе регулирования усилий) в конструкции следует устанавливать по предусмотренному (контролируемому) усилию с учетом нормативных величин потерь, соответствующих рассматриваемой стадии работы.

В железобетонных и сталежелезобетонных конструкциях кроме потерь, связанных с технологией выполнения работ по напряжению и регулированию усилий, следует учитывать также потери, вызываемые усадкой и ползучестью бетона.

6.6.1.5 Нормативное давление грунта от веса насыпи на опоры мостов и звенья труб следует определять по формулам, кПа:

а) вертикальное давление:

- для опор мостов и подпорных стен

$$p_{\gamma n} = \rho_n \cdot h; \tag{6.9}$$

- для звеньев труб

$$p_{\gamma n} = C_v \cdot \rho_n \cdot h; \tag{6.10}$$

б) горизонтальное (боковое) давление

$$p_n = \rho_n \cdot h \cdot \tau_n - 2 \cdot c_n \cdot \sqrt{\tau_n}, \tag{6.11}$$

где h — высота засыпки, м, определяемая для устоев мостов по СП 35.13330.2011 (приложение Е), для звеньев труб по СП 35.13330.2011 (приложение Ж);

ρ_n — нормативный удельный вес грунта, кН/м³;

C_v — коэффициент вертикального давления, определяемый по СП 35.13330.2011 (приложение Ж);

c_n — нормативное значение сцепления;

---

1) При толщине засыпки над звеньями труб более 2,5 м (1,5 м) (см. 5.2.5).

τ_n — коэффициент нормативного бокового давления грунта засыпки береговых опор мостов, определяемый по формуле

$$\tau_n = \mathrm{tg}^2\left(45° - \varphi_n / 2\right), \quad (6.12)$$

где φ_n — нормативный угол внутреннего трения грунта, градусы.

Примечание — Формулы (6.11) и (6.12) неприменимы при расчетах:

- опор мостов, а также звеньев труб, смещение которых в сторону от насыпи на величину более 1/1000H невозможно кинематически или приводит к нарушению работоспособности опоры (жесткие рамы, распорные системы, основания с большой горизонтальной жесткостью и др.);
- устоев мостов с «положительным» наклоном задней грани (все углы призмы обрушения < 90°);
- оголовков и крыльев труб, а также элементов устоев и опор, расположенных на склонах насыпей;
- насыпей из армированного грунта.

6.6.1.6 При определении давления от укрепленных участков насыпи (см. 5.2.5 и 5.7.2) следует рассматривать два случая:

- случай максимального воздействия грунта — давление определяется по 6.6.1.5; характеристики грунта принимают соответствующими засыпке, используемой для укрепленного участка (например, щебень); влияние связующих растворов или других способов укрепления не учитывают;
- случай отсутствия воздействий со стороны насыпи.

Допускается проводить специальные расчеты, учитывающие характеристики грунтов укрепленной зоны, а также производство работ по ее устройству, обосновывающие предельно возможный диапазон давлений с обеспеченностью, соответствующей требованиям подраздела 6.1.

6.6.1.7 Значения ρ_n и φ_n следует, как правило, принимать на основании лабораторных исследований образцов грунтов, предназначенных для засыпки опор мостов, подпорных стен и труб (при доверительной вероятности нормативных значений 0,90).

При типовом проектировании и только для грунта песчаной насыпи при определении нормативного давления грунта допускается принимать:

а) удельный нормативный вес грунта засыпки ρ_n = 17,7 кН/м^3;

б) нормативный угол внутреннего трения φ_n = 35° (для устоев при засыпке песчаным дренирующим грунтом);

в) нормативное значение сцепления грунта c_n = 0.

Для предварительных расчетов допускается определять нормативные значения характеристик грунтов по СП 22.13330.2016 (см. таблицы А.1—А.8 приложения А).

6.6.1.8 Методика определения равнодействующей нормативного и расчетного горизонтального (бокового) давления на опоры мостов от собственного веса грунта приведена в СП 35.13330.2011 (приложение Е).

При определении давления грунтов в случаях, не попадающих под ограничения применимости формул (6.9)—(6.12), следует пользоваться указаниями СП 22.13330.2016 (раздел 9).

6.6.1.9 Нормативное гидростатическое давление (взвешивающее действие воды) следует определять в соответствии с указаниями раздела 10.

6.6.1.10 Нормативное воздействие усадки и ползучести бетона следует принимать в виде относительных деформаций и учитывать при определении перемещений и усилий в конструкциях.

Ползучесть бетона определяется только от действия постоянных нагрузок.

Значения нормативных деформаций усадки и ползучести для рассматриваемой стадии работы следует определять по значениям предельных относительных деформаций усадки бетона ε_n и удельных деформаций ползучести бетона c_n в соответствии с указаниями разделов 7 и 9.

6.6.1.11 Нормативное воздействие от осадки грунта в основании опор мостов следует принимать по результатам расчета на смещения от осадок фундаментов.

6.6.1.12 Коэффициенты надежности по нагрузке γ_f для указанных в 6.6.1.1—6.6.1.4, 6.6.1.9—6.6.1.11 постоянных нагрузок и воздействий следует принимать по таблице 6.15, расчетные давления грунта — по 6.6.1.13 и 6.6.1.14. При этом на всех загружаемых нагрузкой участках линий влияния (в одном расчетном случае) значения γ_f для каждой из нагрузок следует принимать одинаковыми во всех случаях, за исключением расчетов по устойчивости положения, в которых γ_f для разных загружаемых участков принимается в соответствии с указаниями 6.5.2.5, и расчетов на разницу осадок грунта в основании соседних опор моста.

6.6.1.13 При расчетах по первой группе предельных состояний расчетные нагрузки от вертикального и горизонтального давления грунтов на опоры мостов и трубы следует определять при расчетных значениях характеристик грунтов.

Давление грунтов следует принимать по формулам (6.9)—(6.12), подставляя в них расчетные характеристики грунтов. При этом расчетные значения характеристик грунтов принимают при доверительной вероятности 0,98. Расчетные характеристики грунтов следует определять по формуле

$$X = X_n / \gamma_g, \tag{6.13}$$

где X_n — нормативное значение данной характеристики;

γ_g — коэффициент надежности по грунту.

Примечание — Расчетные значения характеристик грунтов, соответствующие различным значениям доверительной вероятности (для расчетов по первой и второй группам предельных состояний), должны приводиться в отчетах по инженерно-геологическим изысканиям.

6.6.1.14 Для предварительных расчетов и при определении нормативных значений характеристик грунтов по СП 22.13330.2016 (приложение А) следует принимать коэффициенты надежности по грунту по таблице 6.22.

Таблица 6.22 — Коэффициенты надежности по грунту

Характеристика грунта	Коэффициенты надежности по грунту γ_g
Объемный вес грунта (плотность)	1,1 (0,9)
Угол внутреннего трения	1,2 (0,8)
Сцепление	1,5 (0,5)

При типовом проектировании допускается принимать расчетные характеристики грунтов песчаной насыпи равными:

а) расчетный удельный вес грунта засыпки ρ_I = 19,7 кН/м^3 (максимальный);

б) расчетные минимальные углы внутреннего трения φ_I = 29° (для устоев при засыпке песчаным дренирующим грунтом);

в) расчетное значение сцепления грунта насыпи c_I = 0.

6.6.1.15 При вычислении масс элементов конструкции следуют указаниям 6.3.8.

6.6.1.16 В расчетах на сочетания с особыми воздействиями (сейсмические воздействия) и аварийными нагрузками (сход поезда и наезд транспорта снизу, навал судов) коэффициенты надежности к постоянным нагрузкам следует принимать равными 1,0.

6.6.2 Временные подвижные нагрузки

Вертикальные нагрузки от подвижного состава

6.6.2.1 При проектировании искусственных сооружений на ВСМ следует учитывать возможность появления на них двух типов временных нагрузок, соответствующих двум видам поездов:

- нагрузки от высокоскоростных поездов, имеющих скорости движения ≤ 350 км/ч;
- нагрузки от поездов со скоростями движения ≤ 200 км/ч, все многообразие воздействий от которых описывается эквивалентными нагрузками СК класса 8 и набором соответствующих коэффициентов.

Примечание — Пропуск нагрузки ВТ по искусственным сооружениям не допускается.

6.6.2.2 Расчеты, связанные с воздействиями высокоскоростных поездов, следует выполнять на возможное воздействие любого поезда из указанных в приложении Г:

1) 10 поездов А1—А10;

2) 11 поездов Б1—Б11.

Поезда, указанные в приложении Г, и эквивалентные нагрузки от этих поездов, приведенные в приложении Д, следует принимать в том случае, если в техническом задании на проектирование не указаны параметры поездов. В противном случае в расчетах следует использовать воздействия от поездов, приведенных в техническом задании.

Параметры этих поездов могут быть или заданы явно (нагрузки на оси и цепочки расстояний по осям поездов), или приведены в виде эквивалентных нагрузок.

В зависимости от типа применяемой методики (типа конструктивных решений) для выполнения расчетных обоснований требуются различные характеристики этих поездов.

При расчетах по методике А необходимы лишь наборы осевых нагрузок и расстояния по осям этих поездов (аналогично поездам, указанным в приложении Г).

При расчетах по методике Б параметры поездов должны содержать данные, полнота которых определяется приложением У.

Кроме того, независимо от типа расчета, в задании на проектирование должен быть указан перечень учитываемых поездов из списка А1—А10 приложения Д.

6.6.2.3 При определении факторов напряженно-деформированного состояния элементов расчетных моделей и определении статического воздействия от наборов поездов ВСП возможно загружение линий влияния этих факторов огибающими эквивалентными нагрузками, приведенными в приложении Д.

6.6.2.4 Загружение линий влияния или элементов расчетной модели эквивалентными нагрузками от ВСП, приведенными в приложении Д, возможно только для треугольных линий влияния. В других случаях следует загружать линии влияния группами сосредоточенных сил, соответствующих расчетным поездам, указанным в 6.6.2.2, проводя поиск наиболее опасного их положения на линии влияния.

При загружении линий влияния эквивалентными нагрузками следует принимать длину поезда ВСП, не превышающую 300 м.

При расчете массивных устоев мостов с разрезными балочными пролетными строениями загружение пролета, призмы обрушения и устоя следует проводить в соответствии с указаниями СП 35.13330.2011 (пункт К.6, рисунок К.4 и таблица К.2 приложения К), принимая эквивалентные нагрузки от высокоскоростных поездов по приложению Д.

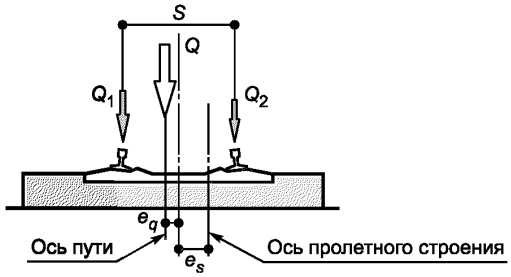
6.6.2.5 Нормативную временную вертикальную нагрузку СК следует принимать согласно приложению Е, принимая класс нагрузки СК равным 8 и длину поезда не более 300 м. При определении эквивалентных нагрузок для сложных линий влияния следует использовать методику СП 35.13330.2011 (приложение К).

С точки зрения динамических расчетов нагрузка от поездов обслуживания является тестовой (эталонной). Проверку прогибов, углов перелома и углов скручивания пути выполняют при действии этой нагрузки.

При расчетах взаимодействия пути и сооружения нагрузку на служебных проходах не учитывают.

Примечание — На ВСМ не следует учитывать перспективу увеличения нагрузок и появление тяжелых транспортеров или нагрузок новых схем, движущихся на обычных скоростях (до 200 км/ч). Во всех расчетах на нагрузку СК следует учитывать понижающий коэффициент $\varepsilon \le 1$ (приведен в приложении Е).

6.6.2.6 При расчетах основных конструкций мостов, а также элементов проезжей части и плит следует учитывать эксцентриситеты e_q и e_s приложения распределенной или осевой нагрузки поперек пути (см. рисунок 6.6).



s — расстояние по головкам рельсов — 1,6 м;

e_q — эксцентриситет нагрузки относительно оси пути;

e_s — эксцентриситет пути относительно пролетного строения;

Q — распределенная или сосредоточенная нагрузка;

Q_1 — максимальное давление на нитку рельсов;

Q_2 — минимальное давление на нитку рельсов.

Рисунок 6.6 — Эксцентриситеты приложения нагрузки поперек оси пути

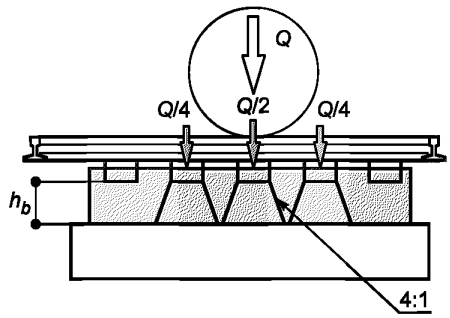
Эксцентриситет нагрузки относительно оси пути e_q, вызванный возможным смещением груза, следует принимать равным:

$$e_q = 1/18s. \quad (6.14)$$

Эксцентриситет e_s возможного смещения оси пути относительно проектной оси на пролетном строении на прямолинейных и криволинейных участках пути в плане назначается при проектировании из конструктивных соображений (радиуса кривой, ширины балластного корыта), но не менее 5 см.

Эти эксцентриситеты необходимо учитывать совместно с центробежными силами и поперечными ударами подвижного состава.

6.6.2.7 При расчетах местных воздействий от осей железнодорожной нагрузки следует считать, что давление от оси распределяется на три шпалы при устройстве пути на балласте (см. рисунок 6.7) или на три рельсовые подкладки — при безбалластном основании пути. При этом на шпалу под осью (или подкладку) приходится 1/2 часть давления, а на две соседние — по 1/4 части. При устройстве пути на балласте следует полагать, что распределение давления под шпалой происходит под углом 4:1.



Q — сила давления от оси поезда:
- СК — 24,5К кН (2,5К тс),
- ВСП — см. приложение Г;

h_b — толщина балласта под шпалой.

Рисунок 6.7 — Распределение давления от одиночной оси вдоль пути

6.6.2.8 Во всех расчетах элементов конструкций, воспринимающих временную нагрузку с нескольких путей, нагрузку от подвижного состава следует принимать в соответствии с указаниями 6.6.5.1.

Давление грунта со стороны насыпи от подвижного состава

6.6.2.9 Нормативное горизонтальное (боковое) давление грунта на устои мостов от подвижного состава, находящегося на призме обрушения, следует принимать по СП 35.13330.2011 (приложение М). Нагрузку от подвижного состава ВСП на призме обрушения допускается определять по приложению Д, выбирая один расчетный поезд, дающий максимальное значение нагрузки. Нагрузку от поездов СК следует принимать по приложению Е.

Примечания

1 Горизонтальное (боковое) давление грунта от подвижного состава, находящегося на призме обрушения, не учитывается совместно с сейсмическим воздействием на устои.

2 При определении давления грунта со стороны насыпи подходов следует учитывать характеристики уплотненных грунтов переходной зоны, а также производство работ по ее устройству (см. 6.6.1.6).

6.6.2.10 Нормативное давление грунта от подвижного состава на опоры мостов и на звенья труб (на соответствующую проекцию внешнего контура трубы) следует определять с учетом распределения давления нагрузки в грунте по формулам:

а) вертикальное давление

$$p_v = \frac{v}{2{,}7 + h}; \qquad (6.15)$$

б) горизонтальное давление

$$p_h = p_v \tau_n, \qquad (6.16)$$

где v — интенсивность временной вертикальной нагрузки от подвижного состава, принимаемая согласно 6.6.2.5, для длины загружения $\lambda = d + h$ и положения вершины линии влияния $\alpha = 0{,}5$, но не более 19,6К кН/м пути;

d — диаметр (ширина) звена (секции) по внешнему контуру, м;

h — расстояние от подошвы рельса до верха звена при определении вертикального давления или до рассматриваемого горизонта при определении горизонтального (бокового) давления, м;

τ_n — коэффициент бокового давления, определяемый по формуле (6.12) и в соответствии с указаниями 6.6.1.6—6.6.1.9 и примечанием к 6.6.1.5.

Примечание — Формулы (6.15) и (6.16) применимы при толщине засыпки:
- более 2,5 м (1,5 м) (см. 5.2.5) — от поездов С8 согласно 6.6.2.5;
- при меньшей толщине — давление определяется по результатам динамических расчетов.

Поперечная нагрузка от центробежной силы

6.6.2.11 Интенсивность нормативной горизонтальной поперечной нагрузки от центробежной силы для мостов, расположенных на кривых, следует принимать с каждого пути в виде равномерно распределенной нагрузки интенсивностью v_h, а при расчетах местных воздействий от осей железнодорожной нагрузки — силы F_h. Значения v_h и F_h необходимо принимать:

а) для нагрузок от ВСП:

$$v_h = v\,A_h,\ F_h = Q\,A_h, \tag{6.17}$$

где v — нагрузка от подвижного состава, кН/м, принимаемая по приложениям Е или Д;

Q — нагрузка на колесо или ось, кН;

A_h — безразмерный коэффициент поперечного ускорения, принимаемый:

$$A_h = \frac{V_1^2}{g \cdot R} = \frac{V^2}{127 \cdot R}, \tag{6.18}$$

где V_1 — проектная максимальная скорость на участке, м/с;

V — то же, км/ч;

R — радиус кривой, м;

б) для нагрузок от СК:

- по формулам (6.17), (6.18), принимая скорость движения V = 200 км/ч.

Во всех сочетаниях с центробежной нагрузкой следует учитывать эксцентриситеты e_q и e_s, указанные в 6.6.2.6, а также эксцентриситеты e_u и e_r, указанные в 6.6.2.14.

При расчетах элементов пролетных строений, воспринимающих, в том числе, местную нагрузку от отдельных осей поезда, следует рассматривать две ситуации: движения поезда на максимальной проектной скорости и остановки состава на кривой (в том числе на всех путях). В ситуации остановки поезда необходимо учитывать эксцентриситеты e_u, e_q и e_s (см. рисунки 6.6 и 6.8). Ситуация остановки рассматривается при расчетах по первой и второй группам предельных состояний (исключая расчеты на выносливость), при этом коэффициент динамики не учитывают.

При типовом проектировании элементов искусственных сооружений на криволинейных участках пути для всех типов поездов допускается принимать значение коэффициента поперечного ускорения A_h = 0,15. Возвышение наружного рельса допускается принимать u = 0,15 м (как при движении поезда на максимальной скорости, так и при его остановке).

Примечания

1 При проектировании трасс ВСМ назначение скоростей движения на участках и радиусов кривых следует проводить в соответствии с требованиями комфортности пассажиров и надежности крепления грузов, при величинах непогашенного ускорения:

$a_h = (A_h - u/s)\,g \le 0{,}4$ м/с^2 — для ВСП;

$a_h = (A_h - u/s)\,g \le 0{,}7$ м/с^2 — для поездов СК (при скоростях движения ≤ 200 км/ч).

2 Минимальная скорость движения поездов определяется ограничением по минимальному отрицательному непогашенному ускорению $a_{h,\min} = -0{,}3$ м/с^2 при возвышении наружной нитки рельса, ограниченном условием примечания 1 и максимальным значением u = 0,15 м. При остановке поезда это условие не выполняется. Случай остановки рассматривается как необходимое условие выполнения требований надежности (исключая расчеты на выносливость) при внештатной ситуации.

6.6.2.12 При расчетах по первой и второй группам предельных состояний нагрузку со второго пути следует принимать с коэффициентом s_1 в соответствии с 6.6.5.1.

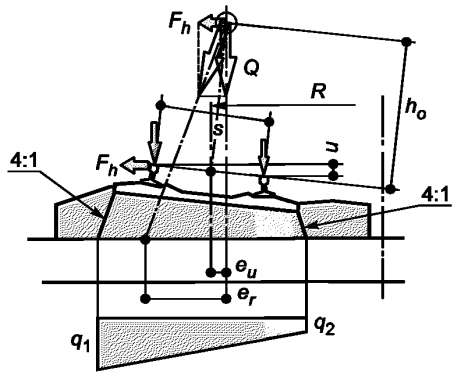
6.6.2.13 Высоту приложения нагрузки v_h, м, от головки рельса следует принимать:

1,8 — для нагрузок ВСП;

2,2 — для нагрузок СК.

6.6.2.14 Давления на плиту балластного корыта следует определять в соответствии со схемой, приведенной на рисунке 6.8.

При определении давления необходимо также учитывать эксцентриситеты e_q и e_s, указанные в 6.6.2.6.



s — расстояние по головкам рельсов — 1,6 м;

u — возвышение наружного рельса;

h_o — высота центра тяжести состава;

Q — распределенная или сосредоточенная нагрузка;

F_h — центробежная сила (распределенная или сосредоточенная);

e_r — эксцентриситет вертикальной нагрузки, вызванный центробежной силой;

e_u — эксцентриситет вертикальной силы, вызванный наклоном поезда;

q_1, q_2 — максимальное и минимальное давления на плиту.

Рисунок 6.8 — Схема приложения сил при учете центробежной силы

Поперечная нагрузка от ударов колес

6.6.2.15 Нормативную горизонтальную поперечную нагрузку от ударов подвижного состава независимо от числа путей на мосту и типа нагрузки (ВСП или СК) следует принимать в виде равномерно распределенной нагрузки v_g:

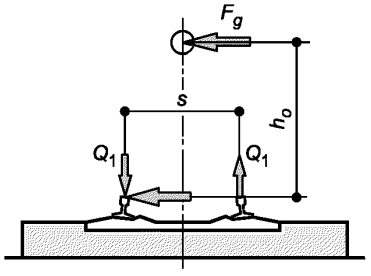
$$v_g = 6{,}0 \text{ кН/пм}. \qquad (6.19)$$

При расчетах по предельным состояниям первой группы следует учитывать коэффициент надежности по нагрузке (см. таблицу 6.16).

6.6.2.16 Высоту приложения нагрузки v_g от головки рельса следует принимать равной:

1,8 м — для нагрузок ВСП;

2,2 м — для нагрузок СК.



s — расстояние по головкам рельсов — 1,6 м;

h_o — высота центра тяжести состава;

Q — распределенная или сосредоточенная нагрузка;

F_g — сила, вызванная горизонтальными ударами подвижного состава (распределенная или сосредоточенная);

Q_1, Q_1 — дополнительная сила, увеличивающая или уменьшающая давление колеса на рельс (распределенная или сосредоточенная).

Рисунок 6.9 — Схема приложения сил при учете поперечных ударов

Продольная нагрузка от торможения или силы тяги

6.6.2.17 Интенсивность нормативной горизонтальной продольной нагрузки от торможения (тяги) подвижного состава следует принимать в долях от веса вертикальной подвижной нагрузки, равной для нагрузок от поездов:

а) высокоскоростных — 25 %;

б) класса СК — 10 %.

При загружении линий влияния эквивалентными нагрузками СК и ВСП длину участка торможения следует принимать ≤ 300 м.

6.6.2.18 Высоту приложения горизонтальных продольных нагрузок при расчетах элементов опор, опорных частей, опор и фундаментов следует принимать равной:

1,8 м — для нагрузок ВСП;

2,2 м — для нагрузок СК.

При расчетах совместной работы пути и элементов сооружения следует считать, что тормозная сила приложена на уровне головки рельса.

6.6.2.19 Продольную горизонтальную нагрузку от торможения (тяги) для нагрузки от высокоскоростных поездов следует принимать:

- при расположении на сооружении двух и более путей — в виде торможения с одного пути и силы тяги с одного из соседних путей с учетом коэффициентов s_1 (см. 6.6.5.1);

- при одном пути — торможение (тяга) с этого пути.

Продольную горизонтальную нагрузку от торможения (тяги) для нагрузки СК следует принимать с одного пути независимо от числа путей на мосту.

6.6.2.20 При определении усилий в элементах моста от торможения (тяги) следует принимать, что продольные усилия от этих воздействий полностью передаются на неподвижные опорные части.

Горизонтальное усилие на опору с неподвижной опорной части может быть принято равным продольной нагрузке от торможения (тяги) с пролетного строения за вычетом реакций трения подвижных опорных частей этого пролетного строения, вычисленных при минимальных коэффициентах трения μ_{min} (см. 6.6.3.8)[1)], но не менее доли, приходящейся на опору при распределении полного продольного усилия между всеми промежуточными опорами пропорционально их жесткости.

6.6.2.21 Продольную нагрузку от торможения (тяги) следует учитывать от подвижного состава, находящегося на пролетных строениях, а также на устоях и подходах за пределами сооружения.

6.6.2.22 В каждом расчетном случае вертикальную нагрузку и торможение (тягу) следует рассматривать одновременно и при одном и том же положении поезда на сооружении.

6.6.2.23 При определении продольной горизонтальной нагрузки от торможения (тяги) в случаях применения гибких (из отдельных стоек) стальных и железобетонных опор интенсивность временной подвижной вертикальной нагрузки v допускается принимать равной 78,5 кН/пм.

6.6.2.24 При расчете устоев продольная нагрузка от торможения подвижного состава, находящегося на призме обрушения, не учитывается[1)].

Нагрузки на служебных проходах

6.6.2.25 Нормативную временную вертикальную нагрузку на служебных проходах пролетных строений в сочетании с другими нагрузками следует принимать равной 2 кН/м^2.

При расчетах конструкций проходов и при отсутствии других нагрузок нормативную нагрузку на проходах следует принимать равной:

- при езде на балласте — 10 кН/м^2;

- при безбалластном мостовом полотне — 4 кН/м^2.

6.6.3 Прочие нагрузки и воздействия

Температурные и климатические воздействия

6.6.3.1 Нормативное температурное климатическое воздействие следует учитывать:

- при расчете перемещений в мостах всех систем;

- при определении усилий во внешне статически неопределимых системах;

- при расчете элементов сталежелезобетонных пролетных строений;

- при учете реактивных усилий трения в опорных частях;

- при расчетах взаимодействия конструкций пути и элементов сооружений;

- при моделировании профиля пути в динамических расчетах по методикам Б.1 и Б.2.

Температурные и климатические воздействия следует принимать в соответствии с СП 131.13330 с учетом требований настоящего свода правил.

6.6.3.2 Среднюю по сечению нормативную температуру элементов или их частей допускается принимать равной:

- для бетонных и железобетонных элементов в холодное время года, а также для металлических конструкций в любое время года — нормативной температуре воздуха;

- для бетонных и железобетонных элементов в теплое время года — нормативной температуре воздуха за вычетом величины, численно равной $0{,}2\delta$, но не более 10 °С, где δ – толщина элемента или его части, см.

Температуру элементов со сложным поперечным сечением следует определять как средневзвешенную по температуре отдельных элементов (стенок, полок и др.).

6.6.3.3 Нормативную температуру воздуха в холодное время года t_{nX} следует принимать: при обосновании проектных решений — равной минус 40 °С, в остальных случаях — равной температуре наружного воздуха наиболее холодной пятидневки по СП 131.13330.2018 (таблица 3.1):

- для железобетонных конструкций, включая плиты БМП, — с обеспеченностью 0,92;

- для стальных конструкций — с обеспеченностью 0,98.

[1)] За исключением расчетов взаимодействия конструкций пути и элементов сооружения (см. 6.6.3.29).

6.6.3.4 Нормативную температуру воздуха в теплое время года следует принимать:

- при обосновании проектных решений — равной 40 °С;
- в остальных случаях — по формуле

$$t_{nT} = t_{VII} + T, \quad (6.20)$$

где t_{VII} — средняя температура самого жаркого месяца по СП 131.13330.2018 (таблица 5.1);

T — средняя суточная амплитуда температуры воздуха наиболее теплого месяца по СП 131.13330.2018 (таблица 4.1).

6.6.3.5 Температуры замыкания конструкций в холодное и теплое время года, если они в проекте не указаны, следует принимать равными нормативным температурам воздуха, соответственно увеличенным или уменьшенным на 15 °С.

6.6.3.6 При расчете перемещений коэффициент линейного расширения следует принимать для стальных и сталежелезобетонных конструкций равным $1{,}2 \cdot 10^{-5} °C^{-1}$ и для железобетонных конструкций — $1{,}0 \cdot 10^{-5} °C^{-1}$.

Трение в опорных частях

6.6.3.7 Трение в опорных частях (или предельное сопротивление сдвигу) является одной из характеристик расчетной модели сооружения.

При расчетах взаимодействия пути и сооружения допускается не учитывать трение в подвижных опорных частях (при тангенциальных и плоских, каткового, секторного типа и др.).

При учете трения в подвижных опорных частях, возникающего при смещении, реактивное усилие следует учитывать как горизонтальную составляющую, рассматриваемую в сочетании с вертикальной нагрузкой на опорную часть. Реактивное усилие трения S_f вычисляется в долях вертикальной нагрузки и определяется по формуле

$$S_f = \mu F_v, \quad (6.21)$$

где μ — коэффициент трения в опорной части при перемещении;

F_v — вертикальная составляющая нагрузки на опорную часть в рассматриваемом сочетании и с соответствующими коэффициентами.

При расчетах по предельным состояниям первой и второй групп коэффициент трения следует принимать:

$$\mu = \mu_n = 0{,}5\ (\mu_{max} + \mu_{min}) \text{ — при расчетах по второй группе;} \quad (6.22)$$

$$\mu = \mu_{max} \text{ или } \mu = \mu_{min}\ ^{1)} \text{ — при расчетах по первой группе,} \quad (6.23)$$

где μ_n — нормативная величина коэффициента трения в опорных частях при их перемещении, принимаемая равной средней величине из возможных экстремальных значений;

μ_{max}, μ_{min} — максимальный и минимальный коэффициенты трения по 6.6.3.8[1)].

Примечание — Коэффициент надежности к усилиям трения учитывается в соответствующих вертикальных нагрузках.

6.6.3.8 Величины максимальных μ_{max} и минимальных μ_{min} коэффициентов трения следует принимать соответственно равными:

а) при катковых, секторных или валковых опорных частях — 0,040 и 0,010;

б) при качающихся стойках или подвесках — 0,020 и 0 (условно);

в) при тангенциальных и плоских металлических опорных частях — 0,40 и 0,10;

г) при подвижных опорных частях с прокладками из фторопласта совместно с полированными листами из нержавеющей стали — по таблице 6.23 или по данным испытаний, или другим документам, регламентирующим применение соответствующих опорных частей на железных дорогах Российской Федерации.

[1)] В зависимости от того, увеличивают или уменьшают силы трения, общее воздействие на рассчитываемый элемент конструкции в рассматриваемом сочетании — с учетом требований 6.6.3.13 и 6.6.3.14.

Таблица 6.23 — Коэффициент трения в подвижных опорных частях с прокладками из фторопласта и полированными листами из нержавеющей стали

Среднее давление в опорных частях по фторопласту, МПа	Коэффициент трения при температуре наиболее холодной пятидневки по СП 131.13330 с обеспеченностью 0,92			
	минус 10 °С и выше		минус 50 °С	
	μ_{max}	μ_{min}	μ_{max}	μ_{min}
9,81	0,085	0,030	0,120	0,045
19,6	0,050	0,015	0,075	0,030
29,4	0,035	0,010	0,060	0,020

Примечания

1 Коэффициенты трения при промежуточных значениях отрицательных температур и средних давлениях определяются по интерполяции.

2 Для подвижных опорных частей с прокладками из полимеров совместно с полированными листами из нержавеющей стали (или с полированной твердохромированной поверхностью) коэффициенты трения следует принимать по данным предприятий — изготовителей опорных частей.

6.6.3.9 Опоры (включая фундаменты) и пролетные строения мостов следует проверять при реакциях трения, возникающих от температурных деформаций, при учете в вертикальной реакции опорной части F_v только от нормативных постоянных нагрузок.

Элементы верхнего строения пути, пролетные строения, опорные части и элементы их прикреплений, а также части опор, примыкающие к опорным частям, должны быть проверены при реакциях трения, возникающих от постоянных нагрузок, а также при проверках на основные и дополнительные сочетания нагрузок. При этом коэффициент динамики принимают равным 1,0.

6.6.3.10 Интенсивности сил трения, возникающих в подвижных опорных частях каткового, секторного и валкового типов при числе опорных частей в поперечном направлении более двух, следует умножать на коэффициент условия работы, равный 1,1.

6.6.3.11 Следует полагать, что реакции трения подвижной опорной части разрезного пролетного строения или группы подвижных опорных частей неразрезного или температурно-неразрезного пролетного строения передаются на неподвижную опорную часть этого пролетного строения (с обратным знаком).

В случае если на промежуточной опоре расположено два ряда подвижных опорных частей или подвижная и неподвижная опорные части смежных пролетных строений, следует рассматривать варианты сочетаний максимальных и минимальных коэффициентов трения в этих опорных частях.

В случае если справа или слева от рассматриваемой опоры силы трения суммируются с группы подвижных опорных частей (принадлежат одному неразрезному или температурно-неразрезному пролетному строению), разницу сил трения следует определять при максимальном и минимальном коэффициентах по формулам:

$$\mu_{max,z} = 0{,}5 \cdot \left[\left(\mu_{max} + \mu_{min} \right) + \frac{1}{\sqrt{z}} \cdot \left(\mu_{max} - \mu_{min} \right) \right],$$
$$\mu_{min,z} = 0{,}5 \cdot \left[\left(\mu_{max} + \mu_{min} \right) - \frac{1}{\sqrt{z}} \cdot \left(\mu_{max} - \mu_{min} \right) \right], \quad (6.24)$$

где μ_{max}, μ_{min} — максимальные и минимальные значения коэффициентов трения для типа опорных частей в группе;

z — число опорных частей в группе (одного типа).

6.6.3.12 При расчетах взаимодействия конструкций пути и элементов сооружения в сочетании с торможением в соответствии с 6.6.3.29 коэффициент трения μ_{min} следует принимать равным 0.

6.6.3.13 При установке на промежуточной опоре двух рядов подвижных опорных частей смежных пролетных строений, а также неподвижных опорных частей в неразрезном и температурно-неразрезном пролетном строении, продольную реакцию следует принимать не более разницы реакций трения при максимальных и минимальных коэффициентах трения в опорных частях.

6.6.3.14 При расчетах по первой группе предельных состояний в случае, если в сочетании присутствует высокоскоростная нагрузка и рассматриваются минимальные значения трения, коэффициент трения μ_{min} следует принимать равным 0.

6.6.3.15 При использовании опорных частей, имеющих упругие элементы (резинометаллические и подобные), их работа должна моделироваться элементами конечной жесткости.

Ветровые нагрузки

6.6.3.16 Величину расчетного ветрового давления следует определять по СП 20.13330 и на основании статистической обработки скоростей ветра по данным метеонаблюдений с 10-минутным интервалом осреднения и вероятностью превышения один раз в 100 лет — для расчета конструкций на стадии эксплуатации и один раз в 5 лет — на стадии строительства.

В расчетах следует принимать наибольшую величину ветрового давления. На стадии разработки проектной документации величину ветрового давления допускается принимать по СП 20.13330 для соответствующего ветрового района.

6.6.3.17 Коэффициент надежности к ветровой нагрузке следует принимать равным:

1,6 — на стадии эксплуатации:

1,0 — на стадии строительства.

6.6.3.18 Увеличение давления (скорости) ветра по высоте следует принимать по СП 20.13330 для соответствующего типа местности.

6.6.3.19 Пульсационную составляющую ветрового давления следует определять по СП 20.13330.

6.6.3.20 Аэродинамические коэффициенты и площади ветровой поверхности допускается определять по СП 20.13330 и СП 35.13330.2011 (приложение Н).

6.6.3.21 При проектировании пролетных строений с ездой понизу (и посредине) со сквозной решеткой несущих конструкций следует учитывать взаимодействие аэродинамических эффектов, возникающих при движении поезда внутри конструкции, и природного ветра, проходящего через элементы конструкции. Кроме того, при обосновании безопасности движения (обезгруживание колес поезда) следует учитывать динамические эффекты взаимодействия масс поезда и пролетного строения (методика Б).

Нагрузки от давления льда

6.6.3.22 Нормативную нагрузку от давления льда на опоры мостов следует принимать по СП 35.13330.2011 (приложение П).

Аэродинамические воздействия от высокоскоростных поездов

6.6.3.23 Нагрузки от аэродинамических воздействий на конструкции, расположенные в непосредственной близости от пути, возникающие при проходе высокоскоростных поездов, следует определять по приложению М.

6.6.3.24 Дополнительные нагрузки на высокоскоростной состав от аэродинамических эффектов, возникающих при проходе поезда внутри или вблизи элементов конструкций моста (отраженная аэродинамика), принимают по результатам специальных исследований и расчетных обоснований.

Взаимодействие конструкций пути и элементов сооружения

6.6.3.25 В случае если бесстыковой рельсовый путь ограничивает свободу перемещений пролетных строений моста, то горизонтальные деформации пролетных строений и опор моста, а также рельсового пути, вызванные температурой, усадкой и ползучестью, вызывают дополнительные усилия в элементах сооружения.

6.6.3.26 Если рельсы неразрывны над промежуточной опорой или над устоем (между конструкцией моста и насыпью), то горизонтальные силы, вызванные торможением (тягой), воспринимаются (перераспределяются) между конструкциями пути, пролетными строениями, опорными частями и насыпью.

6.6.3.27 Возникающие от воздействий, указанных в 6.6.3.25 и 6.6.3.26, усилия и смещения следует учитывать:

- при обоснованиях надежности опорных частей по первой и второй группам предельных состояний;

- для контроля дополнительных напряжений в рельсах, а также линейных и угловых смещений концов пролетных строений по второй группе предельных состояний как условий безопасности движения.

6.6.3.28 Дополнительные напряжения в рельсах на мостовом сооружении (по отношению к напряжениям на земляном полотне), вызванные воздействиями, указанными в 6.6.3.25 и 6.6.3.26, должны быть вычислены по формуле (6.25) и не должны превышать значений таблицы 6.13:

$$\Sigma\sigma_R = \eta_T (\sigma T_R — \sigma T_{Rn}) + s_1 \eta_F \sigma F_R + s_1 \eta_\Theta (1+\mu) \sigma\Theta_R \le \Delta\sigma_R, \quad (6.25)$$

где $\Delta\sigma_R$ — предельные дополнительные напряжения в рельсах по таблице 6.13, МПа;

$\Sigma\sigma_R$ — дополнительные напряжения от температуры, торможения и изгиба пролетного строения, МПа;

σT_R — напряжения от температуры, МПа;
σF_R — напряжения от торможения, МПа;
$\sigma\Theta_R$ — напряжения от изгиба пролетного строения (от вертикальной нагрузки), МПа;
σT_{Rn} — условные напряжения без учета «эффектов моста», соответствуют напряжениям в рельсах на земляном полотне, МПа и вычисляются по формуле

$$\sigma T_{Rn} = -\alpha_R E_R \Delta T_R, \quad (6.26)$$

здесь α_R — коэффициент линейного расширения рельсовой стали, °С$^{-1}$;
E_R — модуль упругости материала рельса, МПа;
ΔT_R — изменение температуры рельса относительно температуры укладки, °С;
η_T, η_F, η_Θ — коэффициенты сочетаний (таблица 6.28);
s_1 — коэффициент, учитывающий появление поездов на соседних путях (таблица 6.25);
$1 + \mu$ — коэффициент динамики (таблица 6.6).

Дополнительные напряжения в рельсах от торможения σF_R и от изгиба $\sigma\Theta_R$ должны быть вычислены как максимальные при различных положениях временной нагрузки высокоскоростных поездов и поездов класса СК на мосту.

Напряжения в рельсах должны быть определены по всей длине сооружения и за его пределами — на подходах.

6.6.3.29 Расчетную модель для учета усилий и деформаций при взаимодействии конструкций пути и элементов моста следует принимать по приложениям Н и П.

6.6.3.30 При выполнении расчетов на температурные воздействия по модели приложения Н необходимо рассматривать два расчетных случая (таблица 6.24):

- нагрев рельсов и пролетных строений в теплое время года при минимальной допустимой температуре закрепления пути в холодное время года;
- охлаждение рельсов и пролетных строений в холодное время года при максимальной допустимой температуре закрепления пути в теплое время года.

Таблица 6.24 — Учитываемые в расчете изменения температуры

Время года	При известном районе проектирования		При обосновании проектных решений	
	Пролетные строения ΔT_P	Рельсы ΔT_R	Пролетные строения ΔT_P	Рельсы ΔT_R
Холодное время года	$t_{n\text{X}} - t_{o\text{T}}$	$t_{n\text{X}} - t_{o\text{T}} - t_{R-}$	–65 °С	–70 °С
Теплое время года	$t_{n\text{T}} - t_{o\text{X}}$	$t_{n\text{T}} - t_{o\text{X}} + t_{R+}$	65 °С	80 °С

Примечание — В настоящей таблице использованы следующие условные обозначения:
$t_{n\text{T}}$ — нормативная температура воздуха в теплое время года (см. 6.6.3.4);
t_{R+} — нагрев рельсов, вызванный солнечной радиацией и движением поездов;
t_{R-} — охлаждение рельсов при резком понижении температуры;
$t_{n\text{X}}$ — нормативная температура воздуха в холодное время года (см. 6.6.3.3);
$t_{o\text{X}}$, $t_{o\text{T}}$ — температура укладки пути в холодное и теплое время года.

Дополнительный разогрев рельсов t_{R+} допускается принимать равным 15 °С.

При резком понижении температуры рельсы могут охлаждаться быстрее пролетного строения. Возможное дополнительное охлаждение рельсов t_{R-} допускается принимать равным минус 5 °С.

Примечание — Если в расчетной модели учитывается температура балласта или плит пути, то влияние солнечной радиации следует учитывать в виде дополнительного нагрева освещенной солнцем поверхности балласта или плиты на 10 °С.

Температуру закрепления рельсовых плетей в проекте следует принимать такой, чтобы обеспечивались устойчивость пути и целостность рельсовых плетей во всем диапазоне изменений расчетных температур при действии вертикальных и горизонтальных компонент временных нагрузок.

В случаях, если температуры укладки пути не могут быть указаны в проекте (например, при обосновании проектных решений), в расчет следует принимать температуры:

- при расчетах на максимальные температуры, считая, что укладка проводилась в холодное время года, $-t_{o\text{X}} = t_{n\text{X}} + 15$ °С;

- при расчетах на минимальные температуры, считая, что укладка проводилась в теплое время года, $-t_{oT} = t_{nT} - 15$ °С.

6.6.4 Особые нагрузки

6.6.4.1 Несущие конструкции моста следует рассчитывать на особые сочетания нагрузок:

- сочетания с сейсмическим воздействием;
- случай возможного схода с рельсов подвижного состава;
- случай наезда транспорта снизу на опору или пролетное строение;
- случай столкновения судна с опорой или пролетным строением.

6.6.4.2 Для особых сочетаний нагрузок следует выполнять расчеты только по предельным состояниям первой группы. Коэффициент надежности по ответственности следует принимать равным 1,0.

Сейсмические нагрузки

6.6.4.3 Сейсмические нагрузки следует принимать в соответствии с требованиями СП 14.13330 с учетом требований настоящего свода правил.

6.6.4.4 Коэффициенты надежности по ответственности к сейсмическим нагрузкам не применяют.

6.6.4.5 Исходную сейсмичность района строительства для всех искусственных сооружений рекомендуется принимать на основе карты В комплекта ОСР—2015 (приложение А СП 14.13330.2018), соответствующей повторяемости землетрясения один раз в 1000 лет. Сейсмичность строительной площадки должна быть определена в результате уточнения исходной сейсмичности района строительства и сейсмического микрорайонирования.

6.6.4.6 Расчеты искусственных сооружений на сейсмическое воздействие следует проводить в соответствии с СП 14.13330. При этом коэффициент K_1 принимается равным:

0,37 — при расчетах по первой группе предельных состояний всех элементов сооружений, кроме опорных частей и антисейсмических устройств;

1,0 — при всех расчетах опорных частей и антисейсмических устройств и при определении деформаций и перемещений.

6.6.4.7 При расчете мостов на сейсмическое воздействие следует учитывать присоединенную массу воды, возможность общего и местного размывов грунта, а также возможность разжижения верхних слоев грунта.

Присоединенную массу воды допускается определять в соответствии с указаниями СП 14.13330.

Присоединенную массу грунта в разжиженном состоянии определяют аналогично с заменой плотности воды на плотность грунта.

6.6.4.8 Жесткостные характеристики свайных фундаментов следует принимать в соответствии с СП 24.13330.

6.6.4.9 При расчете мостов на стадии рабочей документации следует использовать метод прямого интегрирования уравнений движения при наличии нелинейных антисейсмических устройств, а также в иных случаях, когда требуется применение нелинейных расчетных моделей.

При наличии нелинейных антисейсмических устройств рекомендуется выполнять дополнительный расчет на сейсмическое воздействие, соответствующее повторяемости землетрясения 1 раз в 100 лет, при этом коэффициент K_1 принимают равным 1,0.

6.6.4.10 При расчетах, включающих проверку устойчивости, и при расчетах методом прямого интегрирования уравнений движения коэффициент K_1 не используется. При проверке прочности сечений допускается умножать на K_1 усилия и напряжения, полученные в результате этих расчетов.

Аварийные нагрузки. Сход поезда с рельсов

6.6.4.11 Сход с рельсов железнодорожного транспорта на мосту должен рассматриваться как аварийная расчетная ситуация.

Должны быть рассмотрены две расчетные ситуации, показанные на рисунке 6.10:

- расчетная ситуация I (рисунок 6.10, *а*) — сход с рельсов, при котором сошедший с рельсов поезд остается в пределах рельсовых путей и удерживается соседними рельсами (контррельсами или контруголками);
- расчетная ситуация II (рисунок 6.10, *а*) — сход с рельсов, при котором поезд балансирует на краю проезжей части, при этом внешний ряд колес располагается в непосредственной близости от борта балластного корыта или другого элемента конструкции, удерживающего поезд на мосту.

Расчетные ситуации I и II следует рассматривать по отдельности.

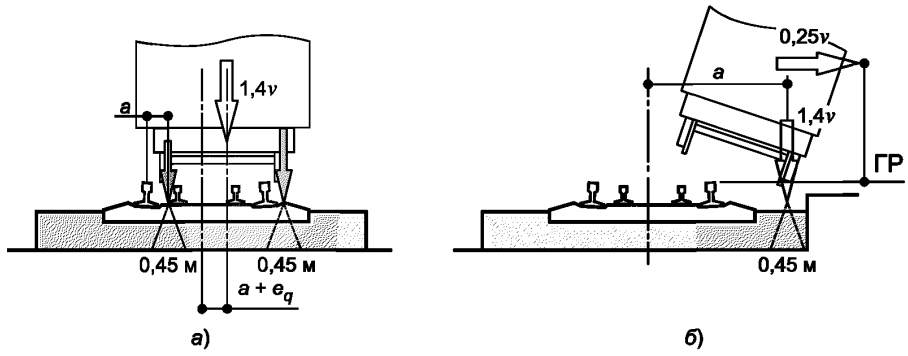


Рисунок 6.10 — Аварийные расчетные ситуации

6.6.4.12 Для расчетной ситуации I (см. рисунок 6.10, *а*) следует избегать разрушения основных несущих элементов конструкции, однако может быть допущено локальное повреждение элементов верхнего строения пути и балластной призмы или плит мостового полотна. Колесная пара при этом смещается на расстояние *a*, а равнодействующую вертикальной нагрузки следует принимать в виде нагрузки 1,4×εСК, смещенной на расстояние ($a+e_q$), указанное на рисунке, где эксцентриситет e_q = 9 см учитывает возможное смещение груза (1/18 ширины колеи). Длина загружения в этом случае не ограничивается.

6.6.4.13 В расчетной ситуации II (см. рисунок 6.10, *б*) пролетное строение не должно опрокинуться или разрушиться, а поезд должен остаться на мосту. Для определения общей устойчивости и прочности элементов проезжей части пролетное строение загружается равномерно распределенной вертикальной нагрузкой 1,4×εСК, приложенной по линии одного ряда колес. Для расчета элементов, удерживающих поезд на пролетном строении (контруголки, бортовой элемент проезжей части, ограждающие проезжую часть мостового полотна или иные конструкции), принимается горизонтальная равномерно распределенная нагрузка интенсивностью 0,25×εСК, равнодействующая которой находится на уровне центра тяжести состава (2,2 м от головки рельса). В расчетной ситуации II максимальную общую длину нагрузки следует принимать равной:

- для проверки прочности основных и удерживающих элементов — длине загружаемого участка линии влияния для проверяемого элемента, но не более 20 м;
- для проверки устойчивости конструкции (опрокидывание) — полной длине пролетного строения.

Элементы (кроме предназначенных для удерживания поезда), замена которых возможна в ходе ремонта, на нагрузку от схода подвижного состава допускается не рассчитывать, если их выход из строя не приведет к прогрессирующему разрушению конструкции.

6.6.4.14 В расчетных ситуациях I и II нагрузкой εСК загружается один путь; горизонтальные компоненты временной нагрузки (центробежная сила, поперечные удары, торможение) не учитываются.

Коэффициенты динамики нагрузки εСК, а также коэффициенты надежности нагрузки εСК и постоянных нагрузок принимают равными 1,0.

Аварийные нагрузки. Наезд транспорта снизу

6.6.4.15 В случае если сооружение пересекает автомобильную дорогу, следует учитывать силы, которые могут возникнуть при столкновении транспортных средств, находящихся под сооружением, с опорами или пролетными строениями моста.

В случае, когда существует вероятность наезда транспортных средств на опору или удара снизу по пролетному строению (при расположении опоры моста в разделительной полосе пересекаемой автомобильной дороги или на расстоянии менее 5 м от края проезжей части и в случае отсутствия жестких ограждений), необходимо проводить расчеты, исключающие потерю работоспособности опоры и (или) падения пролетного строения моста после удара транспортных средств.

Нагрузку от наезда транспортных средств на опору следует принимать в виде одной из горизонтальных сил интенсивностью:

- вдоль движения транспортных средств под мостом — 1000 кН (100 тс);
- поперек движения — 500 кН (50 тс).

Высоту приложения силы (от верха покрытия проезжей части) следует принимать равной 1,25 м.

В случае применения мероприятий, снижающих интенсивность воздействия наезда (гибкие ограждения, островок безопасности и т. д.), возможно снижение интенсивностей нагрузок при соответствующем обосновании.

Для снижения вероятности повреждения пролетных строений путепроводов от возможного удара негабаритных транспортных средств снизу следует предусматривать установки габаритных ворот. Кроме того, необходимо учитывать возможность удара негабаритных транспортных средств снизу на пролетное строение. Величину нагрузки в этом случае следует назначать по результатам соответствующего обоснования.

Аварийные нагрузки. Столкновение судна с опорой или пролетным строением

6.6.4.16 Нормативную нагрузку от навала судов на опоры мостов следует принимать в соответствии с указаниями СП 35.13330.2011 (пункт 6.26 и таблица 6.11).

6.6.4.17 В сложных случаях допускается определять нагрузку от навала судов на опоры моста как максимальное значение реакции опоры, передаваемой на судно. Величину этой реакции, как правило, следует определять из решения задачи динамического взаимодействия судна и опоры. При определении реакции следует учитывать:

- уровни воды и условия течения;
- тип и водоизмещение судна, а также его характеристики;
- косину пересечения судового хода мостовым переходом;
- тип конструкции опор и характеристику их энергопоглощения.

Параметры судна (тоннаж, осадка, скорость движения в направлении вдоль и поперек оси моста) принимают по данным пользователей водного пути.

6.6.4.18 Столкновение судна с пролетным строением следует рассматривать как случай приложения статической горизонтальной нагрузки к середине нижнего пояса пролетного строения. Величину нагрузки на пролетное строение следует принимать равной 50 % максимальной продольной нагрузки на одну из опор соответствующего пролета. Нагрузки на опоры принимают по СП 35.13330.2011 (таблица 6.11) для случая навала судна поперек оси моста с верховой стороны.

6.6.4.19 Если разница отметок низа пролетного строения и расчетного судоходного уровня превышает высоту расчетного судоходного габарита на 10 % и более, то случай столкновения судна с пролетным строением не рассматривается.

6.6.5 Сочетания нагрузок

6.6.5.1 Коэффициенты сочетаний, учитывающие снижение интенсивности нагрузки при одновременном загружении двух путей железной дороги нагрузками от ВСП и нагрузками СК, приведены в таблице 6.25.

Таблица 6.25 — Коэффициенты s_1

Число путей	Нагрузка от ВСП			Нагрузка СК		
	Один из путей	Второй путь	Проходы[1] 2 кН/м^2	Один из путей	Второй путь	Проходы[1] 2 кН/м^2
Первая группа предельных состояний. Прочность. Устойчивость						
2	1,0	0,7[2), 3)]	1,0			
	0,7[2), 3)]	1,0	1,0			
1				1,0	—	1,0
				—	1,0	1,0
Первая группа предельных состояний. Выносливость						
1	1,0	—	—			
	—	1,0	—			
Вторая группа предельных состояний						
1	1,0	0,7[2), 3)]	—			
	0,7[2), 3)]	1,0	—			
				1,0	—	—
				—	1,0	—

Окончание таблицы 6.25

[1] Нагрузка на проходах — совместно с поездами учитывается нагрузка от оборудования или балласта на проходах.

[2] При прямых динамических расчетах по методикам А.2 и Б (см. 6.3.10) коэффициент s_1 = 0,7 применяют к пиковым значениям усилий и напряжений, полученным при проходе поезда по соответствующему пути.

[3] При вычислении «разгружающей» динамики по Ж.3 приложения Ж в случае учета динамики после прохода поезда по сооружению следует принимать, что колебания вызваны поездом на одном пути.

6.6.5.2 Коэффициенты сочетаний η компонент временных нагрузок при расчетах по первой и второй группам предельных состояний и случаям расчета даны в таблицах 6.26—6.29.

Кроме указанных сочетаний для поиска экстремальных значений контролируемых факторов необходимо рассматривать следующие ситуации[1]:

- положительные или отрицательные температуры;
- различные положения поездов на сооружении;
- различные направления торможения;
- расположение поездов на одном или двух путях.

Таблица 6.26 — Коэффициенты η. Первая группа предельных состояний. Прочность. Устойчивость

Нагрузка от ВСП				Нагрузка СК				Природные воздействия				Особые и техногенные			
Вертикальная	Центробежная сила	Поперечные удары	Торможение	Вертикальная	Центробежная сила	Поперечные удары	Торможение	Ветер	Лед	Температура	Морозное пучение	Сейсмика	Навал судов и наезд снизу	Сход поезда с рельсов	Образование карстового провала
7 и 8[1]	9	10	11	7 и 8	9	10	11	12	13	15	16	18	14	—	—
Основные сочетания															
ВСП, два пути[4] γ_n = 1,1 γ_f > 1,0 1 + μ_1 + μ_2 > 1,0[2]				С8, один путь γ_n = 1,1 γ_f > 1,0 1+ μ > 1,0[2]				Не учитываются				Не учитываются			
1,0	1,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1,0	—	1,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	1,0	1,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	1,0	—	1,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Дополнительные сочетания															
ВСП, два пути γ_n = 1,0 γ_f > 1,0 1 + μ_1 + μ_2 — табл. 6.10[2, 3]				С8, один путь γ_n = 1,0 γ_f > 1,0 1 + μ > 1,0 — табл. 6.10[2]				γ_n = 1,0 γ_f > 1,0 или γ_f < 1,0				Не учитываются			
0,8	—	0,7	—	—	—	—	—	—	0,7	0,7	—	—	—	—	—
0,8	0,8	—	—	—	—	—	—	0,5	0,7	0,7	—	—	—	—	—
0,7	—	0,8	—	—	—	—	—	—	0,7	0,7	—	—	—	—	—
0,8	0,8	—	0,8	—	—	—	—	0,5	—	0,7	—	—	—	—	—
0,7	0,7	—	—	—	—	—	—	0,5	0,8	0,7	—	—	—	—	—

[1] В некоторых случаях необходимо выполнять расчеты, используя разные модели с различной детализацией, для поиска самых опасных ситуаций.

Продолжение таблицы 6.26

Нагрузка от ВСП				Нагрузка СК				Природные воздействия				Особые и техногенные			
Вертикальная	Центробежная сила	Поперечные удары	Торможение	Вертикальная	Центробежная сила	Поперечные удары	Торможение	Ветер	Лед	Температура	Морозное пучение	Сейсмика	Навал судов и наезд снизу	Сход поезда с рельсов	Образование карстового провала
7 и 8[1)]	9	10	11	7 и 8	9	10	11	12	13	15	16	18	14	—	—
0,7	—	0,7	—	—	—	—	—	—	0,8	0,7	—	—	—	—	—
0,7	0,7	—	0,7	—	—	—	—	0,5	—	0,8	—	—	—	—	—
0,7	0,7	—	—	—	—	—	—	0,5	0,7	0,8	—	—	—	—	—
0,7	—	0,7	—	—	—	—	—	—	0,7	0,8	—	—	—	—	—
—	—	—	—	0,8	—	0,7	—	—	0,7	0,7	—	—	—	—	—
—	—	—	—	0,8	0,8	—	—	0,5	0,7	0,7	—	—	—	—	—
—	—	—	—	0,7	—	0,8	—	—	0,7	0,7	—	—	—	—	—
—	—	—	—	0,8	0,8	—	0,8	0,5	—	0,7	—	—	—	—	—
—	—	—	—	0,7	0,7	—	—	0,5	0,8	0,7	—	—	—	—	—
—	—	—	—	0,7	—	0,7	—	—	0,8	0,7	—	—	—	—	—
—	—	—	—	0,7	0,7	—	0,7	0,5	—	0,8	—	—	—	—	—
—	—	—	—	0,7	0,7	—	—	0,5	0,7	0,8	—	—	—	—	—
—	—	—	—	0,7	—	0,7	—	—	0,7	0,8	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	1,0	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	0,8	0,7	0,7	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	0,8	—	0,7	0,7	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,0	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	0,5	0,8	0,7	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,0	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	0,7	0,7	0,8	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	0,7	—	0,8	0,7	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,0	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	0,2	—	0,7	0,8	—	—	—	—
Особые сочетания															
ВСП, один путь $\gamma_n = 1,0$ $\gamma_f = 1,0$ $1 + \mu_1 + \mu_2 = 1,0$				С8, один путь $\gamma_n = 1,0$ $\gamma_f = 1,0$ $1 + \mu = 1,0$				Не учитываются				$\gamma_n = 1,0$ $\gamma_f = 1,0$			
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,0	—	—	—
0,8	0,7	—	0,7	—	—	—	—	—	—	—	—	0,8	—	—	—
—	—	—	—	0,7	0,7	—	0,7	—	—	—	—	0,8	—	—	—

Окончание таблицы 6.26

Нагрузка от ВСП				Нагрузка СК				Природные воздействия				Особые и техногенные			
Вертикальная	Центробежная сила	Поперечные удары	Торможение	Вертикальная	Центробежная сила	Поперечные удары	Торможение	Ветер	Лед	Температура	Морозное пучение	Сейсмика	Навал судов и наезд снизу	Сход поезда с рельсов	Образование карстового провала
7 и 8[1)]	9	10	11	7 и 8	9	10	11	12	13	15	16	18	14	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,0	—	—
0,7	0,7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,8	—	—
0,7	—	0,7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,8	—	—
0,8	—	0,7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,7	—	—
0,7	—	0,8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,7	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,0	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,0
0,8	0,7	—	0,7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,8
—	—	—	—	0,7	0,7	—	0,7	—	—	—	—	—	—	—	0,8

[1)] В данной строке указаны номера нагрузок по таблице 6.1 СП 35.13330.2011.

[2)] Коэффициенты динамики учитываются только для вертикальных нагрузок по приложению Ж; для горизонтальных нагрузок, а также для горизонтального и вертикального давлений грунта от временной нагрузки — $1 + \mu_1 + \mu_2 = 1,0$ и $1 + \mu = 1,0$ (см. таблицу 6.10).

[3)] Для нагрузки от высокоскоростных поездов «разгружающий» коэффициент $1 + \mu$ может быть меньше 0.

[4)] При вычислении «разгружающей» динамики по Ж.3 приложения Ж в случае учета динамики после прохода поезда по сооружению следует полагать, что колебания вызваны поездом на одном пути.

Таблица 6.27 — Коэффициенты η. Первая группа предельных состояний. Выносливость

Нагрузка от ВСП				Нагрузка СК				Природные воздействия				Особые и техногенные		
Вертикальная	Центробежная сила	Поперечные удары	Торможение	Вертикальная	Центробежная сила	Поперечные удары	Торможение	Ветер	Лед	Температура	Морозное пучение	Сейсмика	Навал судов и наезд снизу	Сход поезда с рельсов
7 и 8[1)]	9	10	11	7 и 8	9	10	11	12	13	15	16	18	14	—
Основные сочетания														
ВСП, один путь $\gamma_n = 1,0$ $\gamma_f = 1,0$ $1 + 1/2\mu_1 + \mu_2 > 1,0$[2)]				Не учитываются				Не учитываются				Не учитываются		
1,0	1,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

[1)] В данной строке указаны номера нагрузок по таблице 6.1 СП 35.13330.2011.

[2)] Коэффициенты динамики учитываются только для вертикальных нагрузок по приложению Ж; для горизонтальных нагрузок, а также для горизонтального и вертикального давлений грунта от временной нагрузки — $1 + \mu_1 + \mu_2 = 1,0$ и $1 + \mu = 1,0$ (см. таблицу 6.10).

Таблица 6.28 — Коэффициенты η. Вторая группа предельных состояний

Нагрузка от ВСП				Нагрузка СК				Природные воздействия				Особые и техногенные		
Вертикальная	Центробежная сила	Поперечные удары	Торможение	Вертикальная	Центробежная сила	Поперечные удары	Торможение	Ветер	Лед	Температура	Морозное пучение	Сейсмика	Навал судов и наезд снизу	Сход поезда с рельсов
7 и 8[1)]	9	10	11	7 и 8	9	10	11	12	13	15	16	18	14	—
ВСП — таблица 6.6 γ_n = 1,0 γ_f = 1,0 1 + μ — таблица 6.6[2)]				С8, один путь γ_n = 1,0 γ_f = 1,0 1 + μ — таблица 6.6[2)]				γ_n = 1,0 γ_f = 1,0				Не учитываются		
Прогибы (вертикальные и горизонтальные), скручивание пути, ускорения на уровне пути и в вагоне, обезгружение колес[3)]														
1,0	1,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	1,0	1,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Переломы профиля и смещения консолей пролетных строений от вертикальных нагрузок (связанные с поворотом)														
1,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	1,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Взаимные линейные смещения пролетных строений, а также пути и пролетных строений от торможения (на уровне нейтральной оси)[4)]														
—	—	—	1,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Дополнительные напряжения в рельсах от вертикальных нагрузок, торможения и температуры														
0,8	—	—	0,8	—	—	—	—	—	—	0,7	—	—	—	—
0,7	—	—	0,7	—	—	—	—	—	—	0,8	—	—	—	—
—	—	—	—	0,8	—	—	0,8	—	—	0,7	—	—	—	—
—	—	—	—	0,7	—	—	0,7	—	—	0,8	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,0	—	—	—	—
Эксцентриситеты в бетонных элементах														
1,0	1,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	1,0	1,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0,8	0,8	—	—	—	—	—	—	—	—	0,7	—	—	—	—
0,7	0,7	—	—	—	—	—	—	—	—	0,7	—	—	—	—
0,7	0,7	—	—	—	—	—	—	—	—	0,8	—	—	—	—
—	—	—	—	0,8	0,8	—	—	—	—	0,7	—	—	—	—
—	—	—	—	0,7	0,7	—	—	—	—	0,7	—	—	—	—
—	—	—	—	0,7	0,7	—	—	—	—	0,8	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,0	—	—	—	—
Раскрытие трещин в железобетоне														
0,8	—	0,7	—	—	—	—	—	—	—	0,7	—	—	—	—

Продолжение таблицы 6.28

Нагрузка от ВСП				Нагрузка СК				Природные воздействия				Особые и техногенные		
Вертикальная	Центробежная сила	Поперечные удары	Торможение	Вертикальная	Центробежная сила	Поперечные удары	Торможение	Ветер	Лед	Температура	Морозное пучение	Сейсмика	Навал судов и наезд снизу	Сход поезда с рельсов
7 и 8[1)]	9	10	11	7 и 8	9	10	11	12	13	15	16	18	14	—
0,8	0,8	—	—	—	—	—	—	—	—	0,7	—	—	—	—
0,7	—	0,8	—	—	—	—	—	—	—	0,7	—	—	—	—
0,8	0,8	—	0,8	—	—	—	—	—	—	0,7	—	—	—	—
0,7	0,7	—	—	—	—	—	—	—	—	0,7	—	—	—	—
0,7	—	0,7	—	—	—	—	—	—	—	0,7	—	—	—	—
0,7	0,7	—	0,7	—	—	—	—	—	—	0,8	—	—	—	—
0,7	0,7	—	—	—	—	—	—	—	—	0,8	—	—	—	—
0,7	—	0,7	—	—	—	—	—	—	—	0,8	—	—	—	—
—	—	—	—	0,8	—	0,7	—	—	—	0,7	—	—	—	—
—	—	—	—	0,8	0,8	—	—	—	—	0,7	—	—	—	—
—	—	—	—	0,7	—	0,8	—	—	—	0,7	—	—	—	—
—	—	—	—	0,8	0,8	—	0,8	—	—	0,7	—	—	—	—
—	—	—	—	0,7	0,7	—	—	—	—	0,7	—	—	—	—
—	—	—	—	0,7	—	0,7	—	—	—	0,7	—	—	—	—
—	—	—	—	0,7	0,7	—	0,7	—	—	0,8	—	—	—	—
—	—	—	—	0,7	0,7	—	—	—	—	0,8	—	—	—	—
—	—	—	—	0,7	—	0,7	—	—	—	0,8	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,0	—	—	—	—
Смещение верха опор и углы перелома пути в плане														
0,8	—	0,7	—	—	—	—	—	—	0,7	0,7	—	—	—	—
0,8	0,8	—	—	—	—	—	—	0,5	0,7	0,7	—	—	—	—
0,7	—	0,8	—	—	—	—	—	—	0,7	0,7	—	—	—	—
0,7	0,7	—	—	—	—	—	—	0,5	0,8	0,7	—	—	—	—
0,7	—	0,7	—	—	—	—	—	—	0,8	0,7	—	—	—	—
0,7	0,7	—	—	—	—	—	—	0,5	0,7	0,8	—	—	—	—
0,7	—	0,7	—	—	—	—	—	—	0,7	0,8	—	—	—	—
—	—	—	—	0,8	—	0,7	—	—	0,7	0,7	—	—	—	—
—	—	—	—	0,8	0,8	—	—	0,5	0,7	0,7	—	—	—	—
—	—	—	—	0,7	—	0,8	—	—	0,7	0,7	—	—	—	—
—	—	—	—	0,8	0,8	—	0,8	0,5	—	0,7	—	—	—	—

Окончание таблицы 6.28

Нагрузка от ВСП				Нагрузка СК				Природные воздействия				Особые и техногенные		
Вертикальная	Центробежная сила	Поперечные удары	Торможение	Вертикальная	Центробежная сила	Поперечные удары	Торможение	Ветер	Лед	Температура	Морозное пучение	Сейсмика	Навал судов и наезд снизу	Сход поезда с рельсов
7 и 8[1)]	9	10	11	7 и 8	9	10	11	12	13	15	16	18	14	—
—	—	—	—	0,7	0,7	—	—	0,5	0,8	0,7	—	—	—	—
—	—	—	—	0,7	—	0,7	—	—	0,8	0,7	—	—	—	—
—	—	—	—	0,7	0,7	—	0,7	0,5	—	0,8	—	—	—	—
—	—	—	—	0,7	0,7	—	—	0,5	0,7	0,8	—	—	—	—
—	—	—	—	0,7	—	0,7	—	—	0,7	0,8	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	1,0	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	0,8	0,7	0,7	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,0	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	0,5	0,8	0,7	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,0	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	0,7	0,7	0,8	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	0,2	—	0,7	0,8	—	—	—

[1)] В данной строке указаны номера нагрузок по таблице 6.1 СП 35.13330.2011.

[2)] Коэффициенты динамики учитываются только для вертикальных нагрузок по таблице 6.6; для горизонтальных нагрузок, а также для горизонтального и вертикального давлений грунта от временной нагрузки — $1 + \mu_1 + \mu_2 = 1,0$ и $1 + \mu = 1,0$.

[3)] При расчетах обезгруживания колес (по методикам Б.1 и Б.2 (см. 6.3.10)) коэффициенты динамики следует учитывать согласно 6.4.17.

[4)] При выполнении проверок предельных линейных смещений пролетных строений, а также пути и пролетного строения от торможения смещения, вызванные вертикальной нагрузкой (изгиб), условно не учитывают.

Таблица 6.29 — Коэффициенты η. Строительные сочетания

Природные воздействия				Особые и техногенные			Строительные
Ветер	Лед	Температура	Морозное пучение	Сейсмика	Навал судов и наезд снизу	Сход поезда с рельсов	
12[1)]	13	15	16	18	14	—	17
Первая группа предельных состояний — прочность, устойчивость							
$\gamma_n = 1,0$ $\gamma_f > 1,0$ или $\gamma_f < 1,0$				Не учитываются			
—	—	—	—	—	—	—	1,0
0,8	0,7	0,7	—	—	—	—	1,0
0,8	—	0,7	0,7	—	—	—	1,0
0,7	0,7	0,8	—	—	—	—	1,0
0,7	—	0,8	0,7	—	—	—	1,0
0,2	—	0,7	0,8	—	—	—	1,0

Окончание таблицы 6.29

Природные воздействия				Особые и техногенные			Строительные
Ветер	Лед	Температура	Морозное пучение	Сейсмика	Навал судов и наезд снизу	Сход поезда с рельсов	
12[1)]	13	15	16	18	14	—	17
Вторая группа предельных состояний							
Эксцентриситеты в бетонных элементах и основаниях фундаментов мелкого заложения, раскрытие трещин в железобетоне							
—	—	0,8	—	—	—	—	1,0
—	—	1,0	—	—	—	—	—
Смещение верха опор и углы перелома пути в плане, прогибы и переломы							
—	—	0,8	—	—	—	—	1,0
0,8	0,7	0,7	—	—	—	—	1,0
—	—	1,0	—	—	—	—	—
—	1,0	—	—	—	—	—	—
1,0	—	—	—	—	—	—	—

[1)] В данной строке указаны номера нагрузок по таблице 6.1 СП 35.13330.2011.

6.6.5.3 При аварийном сочетании прочие нагрузки и воздействия учитывать не следует.

6.6.5.4 Давление грунта от подвижного состава (горизонтальное и вертикальное) на опоры мостов и трубы следует считать нагрузкой, сопутствующей соответствующему варианту загружения временной вертикальной подвижной нагрузкой (СК или ВСП), и вводить в расчет с теми же коэффициентами сочетаний (см. таблицы 6.26—6.29), что и вызывающую это давление временную нагрузку.

7 Бетонные и железобетонные конструкции

7.1 Проектирование бетонных и железобетонных конструкций мостов и труб для ВСМ следует выполнять по СП 35.13330.2011 (раздел 7) с учетом требований настоящего свода правил.

7.2 Для недопущения предельных состояний первой группы элементы конструкций мостов и труб должны быть рассчитаны по прочности, устойчивости (формы и положения) и выносливости, при этом в расчетах на выносливость должны рассматриваться нагрузки и воздействия, возможные на стадии эксплуатации сооружений.

Для исключения предельных состояний второй группы производятся расчеты, указанные в таблице 7.1.

Таблица 7.1

Расчет	Рабочая арматура	Стадии работы конструкции
По образованию продольных трещин	Ненапрягаемая	Эксплуатация
	Напрягаемая	Все стадии (нормальная эксплуатация, возведение сооружения, предварительное напряжение, хранение, транспортирование)
По образованию трещин нормальных и наклонных к продольной оси элемента	Ненапрягаемая Напрягаемая	Все стадии

Окончание таблицы 7.1

По раскрытию трещин нормальных и наклонных к продольной оси элемента	Ненапрягаемая и напрягаемая (кроме элементов с напрягаемой арматурой, проектируемых по категории требований по трещиностойкости 2а [см. СП 35.13330.2011 (таблица 7.24)]	Все стадии
По закрытию (зажатию) трещин нормальных к продольной оси элемента	Напрягаемая	Хранение, транспортирование, эксплуатация
По ограничению касательных напряжений	Ненапрягаемая и напрягаемая	Все стадии

7.3 Для конструкций мостов и труб следует применять тяжелый бетон классов по прочности на сжатие В20; В22,5; В25; В27,5; В30; В35; В40; В45; В50; В55 и В60. Бетон классов В22,5 и В27,5 следует предусматривать при условии, что это приводит к экономии цемента и не снижает других технико-экономических показателей конструкции. Бетон класса по прочности выше В60 (в том числе получаемый с помощью добавок, повышающих прочность) следует применять по техническим условиям.

В зависимости от вида конструкций, их армирования и условий работы применяемый бетон должен соответствовать требованиям, приведенным в таблице 7.2.

Для омоноличивания напрягаемой арматуры, располагаемой в открытых каналах, следует предусматривать бетон класса по прочности на сжатие не ниже В35.

Инъецирование арматурных каналов в предварительно напряженных конструкциях следует проводить раствором прочностью на 28-е сутки не ниже 30 МПа.

Для омоноличивания стыков сборных конструкций следует применять бетон класса по прочности на сжатие не ниже принятого для стыкуемых элементов.

Таблица 7.2

Конструкции, армирование и условия работы	Бетон класса по прочности на сжатие, не ниже
1 Бетонные опоры и бетон внутренней части опор с блоками облицовки	В20
2 Железобетонные с ненапрягаемой арматурой:	
а) кроме пролетных строений	В25
б) пролетные строения	В30
3 Железобетонные предварительно напряженные:	
а) без анкеров:	
- при стержневой арматуре классов:	
А600 (А-IV)	В30
А800 (А-V)	В35
- при проволочной арматуре из одиночных канатов класса К7	
б) с анкерами:	
- при проволочной арматуре из одиночных арматурных канатов класса К7	В30
- из пучков арматурных канатов класса К7 и при стальных канатах (со свивкой спиральной двойной и закрытых)	В35
4 Для опор мостов, а также для блоков облицовки опор на реках с ледоходом при расположении мостов в районах со средней температурой наружного воздуха наиболее холодной пятидневки:	
- минус 40 °С и выше	В35
- ниже минус 40 °С	В45
5 Для опор мостов при их расположении в зонах действия приливов и отливов или попеременного замораживания и оттаивания при работе плотин	В45
6 Тампонажный бетон	В10

7.4 Марки бетона и раствора по морозостойкости F в зависимости от климатических условий зоны строительства, расположения и вида конструкций следует принимать по таблице 7.3.

7.5 Марки по морозостойкости бетона тела опор и блоков облицовки для мостов, расположенных вблизи плотин гидростанций и водохранилищ, следует устанавливать в каждом отдельном случае на основе анализа конкретных условий эксплуатации и требований, предъявляемых в этих случаях к бетону речных гидротехнических сооружений в соответствии с СП 41.13330.

7.6 Для закладных изделий, деформационных швов и прочих расчетных элементов следует применять стальной прокат и другие изделия согласно требованиям раздела 8.

В качестве неизвлекаемых металлических каналообразователей сборных и монолитных конструкций рекомендуется применение герметичных гофрированных труб, изготовляемых из стальной ленты толщиной не менее 0,25 мм в соответствии с техническими условиями. В тех же конструкциях на кривых малого (ниже рекомендуемого) радиуса, а также на участках в зоне опирания анкеров напрягаемой арматуры допускается применение каналообразователей из стальных труб. Применение оцинкованных каналообразователей, находящихся внутри бетона конструкции, запрещается.

Допускается применение неизвлекаемых полиэтиленовых каналообразователей.

7.7 Расчет на выносливость элементов (или их частей) предварительно напряженных железобетонных конструкций, отнесенных к категориям требований по трещиностойкости 2а или 2б по СП 35.13330, следует выполнять по СП 35.13330.2011 (пункт 7.92).

Таблица 7.3

Климатические условия (характеризуемые среднемесячной температурой наиболее холодного месяца согласно СП 131.13330) и условия эксплуатации	Расположение конструкций и их частей					
	В надводной, подземной и надземной незатопляемой зонах[1)]	В зоне переменного уровня воды[2), 3)]				
	Вид конструкций					
	Железобетонные и тонкостенные бетонные (толщиной менее 0,5 м)	Бетонные массивные	Железобетонные и тонкостенные бетонные	Бетонные массивные		Блоки облицовки
				кладка тела опор (бетон наружной зоны)	кладка заполнения при блоках облицовки (бетон внутренней зоны)	
	Марка бетона по морозостойкости					
Умеренные (минус 10 °С и выше)	F200	F100	F200	F100	F100	—
Суровые (от минус 10 °С до минус 20 °С включительно)	F200	F100	F300	F200	F100	F300
Особо суровые (ниже минус 20 °С)	F300	F200	F300[4)]	F300	F200	F400[4)]
Применение антигололедных солей	F300 с испытанием в солях (по ГОСТ 10060)					

[1)] К надземным незатопляемым зонам в опорах следует относить части, расположенные на 1 м выше поверхности грунта. Для бетона участков опор, расположенных ниже и достигающих половины глубины промерзания грунта, следует предусматривать требования, указанные для конструкций, находящихся в зоне переменного уровня воды.

[2)] За верхнюю границу зоны переменного уровня воды следует принимать условный уровень, который на 1 м выше наивысшего уровня ледостава, за нижнюю — уровень на 0,5 м ниже нижней поверхности слоя льда наинизшего ледостава.

[3)] Марка бетона по морозостойкости для конструкций, находящихся в зоне действия плотин, по отношению к марке, приведенной в настоящей таблице, повышается на 100 циклов.

[4)] Для опор мостов, а также для блоков облицовки опор больших мостов через реки с ледоходом при толщине льда свыше 1,5 м и расположении моста в районе с особо суровыми климатическими условиями марку бетона по морозостойкости принимают F500.

Окончание таблицы 7.3

Примечания

1 К бетону частей подводных конструкций (на 0,5 м ниже поверхности слоя льда наинизшего ледостава) и подземных (ниже половины глубины промерзания) требования по морозостойкости не нормируются. В обсыпных устоях к подземным частям конструкции относятся части тела устоя, расположенные ниже половины глубины промерзания грунта конуса насыпи.

2 Бетон всех элементов водопропускных труб, укрепления русел рек и конусов насыпей, берегоукрепительных и регуляционных сооружений (бетон, находящийся в сезонноотаивающем слое грунта), всех элементов мостового полотна, плит мостового полотна в пролетных строениях при безбалластной езде должен отвечать требованиям по морозостойкости, предъявляемым к бетону, находящемуся в зоне переменного уровня воды.

3 Железобетонные элементы промежуточных опор мостов на постоянных водотоках в районах с особо суровыми климатическими условиями должны иметь марку бетона по морозостойкости F400.

7.8 Хомуты в элементах, воспринимающих поперечную силу, устанавливаются по расчету, включая расчет по сечениям между хомутами.

При этом шаг хомутов не должен превышать:

- в стенках толщиной до 50 см:
  - на приопорных участках, в пределах 1/4 длины элемента (считая от осей опирания или сечений заделки) — 15 см;
  - на среднем участке элемента, в пределах 1/2 длины элемента, при высоте сечения:
    - менее 2 м — 20 см;
    - 2 м и более — 1/10 высоты сечения;
- при толщине стенок более 50 см максимальный шаг хомутов допускается увеличивать на 5 см.

Допускается применение сдвоенных хомутов из арматуры одного класса и диаметра.

Поперечная арматура, устанавливаемая по расчету, должна иметь надежную заделку по концам, которая обеспечивается заводкой или загибом за продольную арматуру, расположенную у граней железобетонного элемента.

7.9 Сжатые элементы опор прямоугольной формы должны армироваться поперечной арматурой, обеспечивающей устойчивость сжатых стержней. Поперечное армирование возможно в виде стяжек в сочетании с распределительной арматурой, установленной по периметру, и в виде хомутов. Хомут или две смежные стяжки должны охватывать не более четырех сжатых стержней и иметь длину не более 40 см. Диаметр хомутов и распределительной арматуры в этом случае должен быть не менее 10 мм.

Хомуты допускается заменять стяжками при условии установки объемлющих продольные стержни (по периметру сечения) хомутов по схемам, приведенным на рисунках 7.1 и 7.2.

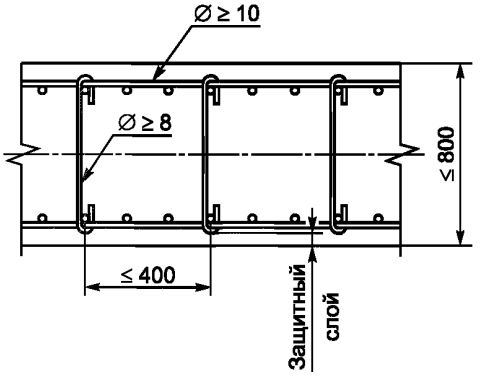


Рисунок 7.1 — Схема хомутов для опор с размерами граней не более 80 см

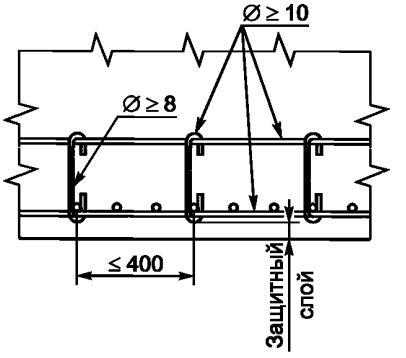


Рисунок 7.2 — Схема хомутов для опор с размерами граней более 80 см

Для повышения устойчивости сжатых рабочих стержней опоры кроме цепочек хомутов следует предусматривать постановку монтажных связей, соединяющих продольные вертикальные стержни на поперечных гранях опоры. Связи должны состоять из трех стержней диаметром не менее 16 мм и устанавливаться в плане и по высоте не реже, чем через 1,6 м.

Допускается в качестве монтажных связей использовать сварную конструкцию из прокатного металла, устанавливаемую внутри каркаса рабочей арматуры с приваркой ее к связям жесткости.

Во избежание затруднений, возникающих при бетонировании из-за наличия стержней, пересекающих сечение, связи на каждом уровне допускается устанавливать и закреплять поочередно непосредственно перед укладкой каждого последующего слоя бетона.

8 Стальные конструкции

8.1 Общие положения

8.1.1 Стальные конструкции ВСМ следует проектировать в соответствии с требованиями СП 35.13330 с учетом настоящего свода правил.

8.1.2 Тип исполнения стальных пролетных строений, опор и труб в зависимости от значения расчетной минимальной температуры следует назначать в соответствии с таблицей 8.1.

Таблица 8.1

Расчетная минимальная температура	Тип исполнения
До минус 40 °С включительно	Обычное
От минус 40 °С до минус 50 °С включительно	Северное А

8.1.3 При проектировании стальных конструкций мостов следует:

- выбирать оптимальные в технико-экономическом отношении схемы, системы и конструкции пролетных строений, сечения элементов, экономичные профили проката и эффективные марки стали;
- обеспечивать технологичность конструкций при заводском изготовлении и монтаже, в том числе возможность поточного изготовления, конвейерного или крупноблочного монтажа;
- предусматривать независимо от расчетной минимальной температуры и назначения моста применение сварных заводских элементов с фрикционными на высокопрочных болтах, сварными и комбинированными болтосварными монтажными соединениями;
- обеспечивать возможность осмотра, очистки, окраски и ремонта конструкций; исключать в них зоны, в которых возможно скопление воды и затруднено проветривание; предусматривать герметизацию замкнутых профилей, элементов и блоков;
- указывать в рабочих чертежах конструкций металлических (КМ) стальных конструкций марки сталей и материалы соединений, а также необходимые дополнительные требования к ним, предусмотренные стандартами и техническими условиями. Документация КМ должна содержать все данные для заказа металлопроката, метизов, деформационных швов, опорных частей, защитных и гидроизоляционных материалов;
- соблюдать нормы (включая требования к металлическим мостам как объектам инфраструктуры железнодорожного транспорта) по защите стальных конструкций от коррозии.

8.1.4 Вводимые в эксплуатацию мосты с металлическими пролетными строениями и (или) опорами должны быть обследованы, испытаны или обкатаны в соответствии с требованиями СП 79.13330.

8.1.5 В необходимых случаях согласно [1, статья 15, пункт 9, часть 2] в проектной документации следует предусматривать мониторинг состояния стальных несущих конструкций мостов на стадии строительства и в период эксплуатации; общие требования к выполнению работ по мониторингу следует принимать по СП 79.13330.

8.2 Материалы и полуфабрикаты

В стальных конструкциях мостов обычного и северного А исполнений следует применять:

а) для элементов из прокатного металла[1)] — сталь в соответствии с таблицей 8.2; с учетом СП 35.13330;

[1)] Толстолистовой, широкополосный универсальный, фасонный, сортовой прокат и трубы следует применять из стали с требованием свариваемости, за исключением проката для болтов, гаек и шайб, а также для элементов без сварных соединений.

Таблица 8.2

Тип исполнения	Сталь несущих элементов сварных пролетных строений, опор и эксплуатационных обустройств при применении в заводских и монтажных соединениях								
	сварных швов, включая стыковые, элементов из листового проката				сварных швов и высокопрочных болтов в заводских соединениях и высокопрочных болтов в монтажных соединениях*				
	Толщина проката, мм	Марка стали	Нормативный документ		Вид проката	Марка стали	Нормативный документ		Толщина проката, мм
			Номер	Примечание			Номер	Примечание	
Обычное	8—50[1)] 8—50[1)] 8—50[1)] 8—50[1)]	15ХСНД-2 10ХСНД-2 345-14ХГНДЦ-2 390-14ХГНДЦ-2	ГОСТ Р 55374 ГОСТ Р 55374 ГОСТ Р 55374 СП 35.13330	Дополнительные требования по химическому составу (СП 35.13330)	Листовой	15ХСНД 15ХСНД-2 10ХСНД 10ХСНД-2 15ХСНДА-2 10ХСНДА-2 345-14ХГНДЦ-2 390-14ХГНДЦ-2 09Г2СД-2	ГОСТ Р 55374 ГОСТ Р 55374 ГОСТ Р 55374 ГОСТ Р 55374 СП 35.13330 СП 35.13330 ГОСТ Р 55374 СП 35.13330 ГОСТ Р 55374	Дополнительные требования по химическому составу (СП 35.13330)	8—15 16—50[1)] 8—15 16—50[1)] 8—50[1)] 8—50[1)] 8—50[1)] 8—50[1)] 4—50[1)]
					Фасонный	15ХСНД 10ХСНД 345-14ХГНДЦ[3)] 09Г2СД	ГОСТ Р 55374 ГОСТ Р 55374 ГОСТ Р 55374 ГОСТ Р 55374	Дополнительные требования по химическому составу (СП 35.13330)	8—32 8—15 8—20 4—20
Северное А	8—50[1)] 8—50[1)] 8—50[1)]	15ХСНД-3 10ХСНД-3 345-14ХГНДЦ-3	ГОСТ Р 55374 ГОСТ Р 55374 ГОСТ Р 55374	Дополнительные требования по химическому составу (СП 35.13330)	Листовой	15ХСНД-2 10ХСНД-2 15ХСНДА-3 10ХСНДА-3 345-14ХГНДЦ-2 390-14ХГНДЦ-2 09Г2СД-3	ГОСТ Р 55374 ГОСТ Р 55374 СП 35.13330 СП 35.13330 ГОСТ Р 55374 СП 35.13330 ГОСТ Р 55374	Дополнительные требования по химическому составу (СП 35.13330)	8—50[1)] 8—50[1)] 8—50[1)] 8—50[1)] 8—50[1)] 8—50[1)] 4—50[1)]
					Фасонный	15ХСНД**	ГОСТ Р 55374	По пункту 5.5 (таблица 6) ГОСТ Р 55374—2012 с проверкой ударной вязкости по KCU для 2-й категории	8—32
	8—50[1)]	390-14ХГНДЦ-3	СП 35.13330	С полистным контролем по пункту 6.4.1 ГОСТ Р 55374—2012[2)]		10ХСНД**	ГОСТ Р 55374	То же	8—15
				С полистным контролем по пункту 6.4.1 ГОСТ Р 55374—2012[2)]		345-14ХГНДЦ**[3)]	ГОСТ Р 55374	Дополнительные требования по химическому составу (СП 35.13330) По пункту 5.5 (таблица 6) ГОСТ Р 55374—2012 с проверкой ударной вязкости по KCU для 2-й категории	8—20
						09Г2СД**	ГОСТ Р 55374	По пункту 5.5 (таблица 6) ГОСТ Р 55374—2012 с проверкой ударной вязкости по KCU для 2-й категории	4—20

Окончание таблицы 8.2

* В плите балластного корыта мостов с монтажными соединениями на высокопрочных болтах обычного и северного А исполнений допускается использовать листовой прокат толщиной не менее 12 мм из двухслойной коррозионно-стойкой стали с основным слоем из низколегированной стали и плакирующим слоем из коррозионно-стойкой стали по ГОСТ 10885.

** В конструкциях мостов северного исполнения А применять двутавры, тавры и швеллеры без термообработки (нормализации) не допускается. В стальных конструкциях мостов обычного и северного А исполнений допускается использовать сортовой прокат (кроме полосового) и трубы 1-й категории при условии выполнения дополнительных требований, указанных для фасонного проката.

1) Для сварных стыковых швов, выполняемых в вертикальном положении, толщину листового проката следует принимать в пределах 12—32 мм. При этом листовой прокат следует принимать не ниже 2-й категории.

2) Требование полистного испытания следует предъявлять при расчетной минимальной температуре наружного воздуха ниже минус 45 °С.

3) К фасонному прокату из стали марки 14ХГНДЦ следует относить уголки по ГОСТ 8509 и ГОСТ 8510.

б) для опорных частей с шаровым сегментом сталь (балансирные плиты, сегмент) — по ГОСТ Р 55374 с химическим составом для марки 345-14ХГНДЦ по СП 35.13330; по СП 35.13330 для стали С390 — 14ХГНДЦ; по ГОСТ 19281 — марки 09Г2С; 15ХСНД; 10ХСНД; по ГОСТ 5632 — марки 20Х13; 40Х13; 03Х18Н10Т; 05Х18Н10Т; 08Х18Н10; 08Х18Н10Т; 12Х18Н9; 12Х18Н9Т; 12Х18Н10Т; 12Х18Н12Т; 03Х21Н32М3Б; 03Х21Н32М3БУ, причем для всех марок сталей — с учетом типа исполнения по 8.1.2. При этом допускается применение низколегированных марок сталей (ГОСТ 5632);

в) для шарниров-болтов, шарниров-осей, катков, валков — по перечислению д) пункта 8.4 СП 35.13330.2011, прокладных листов — по пункту 8.5 СП 35.13330.2011;

г) высокопрочные болты, гайки и шайбы — по ГОСТ Р 53664;

д) для сварки конструкций — сварочные материалы по СП 35.13330;

е) для соединений элементов мостового полотна, перил и смотровых приспособлений — стальные болты, гайки и шайбы с учетом типа исполнения и указаний по классу прочности и маркам сталей по таблицам 8.9 и 8.10 СП 35.13330.2011 (болты и гайки в необходимых случаях — только из спокойной стали);

ж) для крепления опорных частей к пролетным строениям и стальным опорам — высокопрочные болты, гайки и шайбы по 8.2, перечисление г). Допускается использовать болты, гайки и шайбы с учетом типа исполнения и указаний по классу прочности и маркам сталей по таблице 8.10 СП 35.13330.2011;

и) для крепления опорных частей к бетонным опорам и фундаментам — фундаментные (анкерные) болты с учетом типа исполнения и указаний по маркам сталей по таблице 8.11 СП 35.13330.2011.

Примечание — Для несущих элементов служебных проходов и смотровых приспособлений (консолей, балок и решетчатого настила тротуаров; стоек и поручней перил; балок лестниц, переходных площадок) допускается применение конструкций из стали марок: для обычного исполнения — Ст3сп5 (без сварных соединений — Ст3сп4; при толщине до 10 мм — из полуспойной стали тех же категорий) по ГОСТ 535 и ГОСТ 14637; для северного А и Б исполнений — 345-10Г2С1Д-3, 345-10Г2С1-3, 325-09Г2СД-3, 325-09Г2С-3, 295-09Г2С-3, 295-09Г2Д-3, 295-09Г2-3 и 325-14Г2-3 по ГОСТ 19281, а также 325-09Г2СД по ГОСТ Р 55374. При этом применение круглых труб допускается без ограничений, а прямоугольных сварных — с соблюдением требований СП 35.13330 к радиусу гибки для конструкций, воспринимающих динамическую нагрузку. Механические свойства металла труб должны быть указаны в проекте и обеспечены предприятием — изготовителем конструкций.

8.3 Расчетные характеристики материалов и соединений

8.3.1 Расчетные сопротивления проката для различных видов напряженных состояний следует определять по формулам, приведенным в таблице 8.3.

8.3.2 Значения коэффициента надежности γ_m по материалу проката следует принимать по таблице 8.4 и СП 35.13330.

Нормативные и расчетные сопротивления проката из сталей, приведенных в таблице 8.2, следует принимать по таблице 8.5 и СП 35.13330.

Расчетные сопротивления проката по ГОСТ 535, ГОСТ 14637 и ГОСТ 19281 следует принимать равными пределу текучести, указанному в этих стандартах, поделенному на коэффициент надежности по материалу γ_m по таблице 8.4.

8.3.3 Значения коэффициента трения μ по соприкасающимся поверхностям деталей во фрикционных[1)] соединениях следует принимать по таблице 8.6; значения коэффициента надежности соединений γ_{bh} — по таблице 8.7.

Способ обработки контактных поверхностей должен быть указан в чертежах КМ.

Таблица 8.3

Напряженное состояние	Расчетные сопротивления проката
Растяжение, сжатие и изгиб: - по пределу текучести - по временному сопротивлению	$R_y = R_{yn}/\gamma_m$ $R_u = R_{un}/\gamma_m$
Сдвиг (срез)	$R_s = 0{,}58\ R_{yn}/\gamma_m$
Смятие торцевой поверхности при наличии пригонки	$R_p = R_{un}/\gamma_m$
Смятие местное в цилиндрических шарнирах (цапфах) при плотном касании	$R_{lp} = 0{,}5\ R_{un}/\gamma_m$
Диаметральное сжатие катков при свободном касании в конструкциях с ограниченной подвижностью: - при $R_{un} \le 600$ МПа - при $R_{un} > 600$ МПа	 $R_{cd} = 0{,}025\ R_{un}/\gamma_m$ $R_{cd} = [0{,}042 \cdot 10^{-6}(R_{un} - 600)^2 + 0{,}025]\ R_{un}/\gamma_m$
Растяжение в направлении толщины проката t при t до 60 мм	$R_{th} = 0{,}5\ R_{un}/\gamma_m$
Примечание — γ_m — коэффициент надежности по материалу, определяемый в соответствии с 8.3.2.	

Таблица 8.4

Нормативный документ (марка стали или значение предела текучести)	Коэффициент надежности по материалу γ_m
ГОСТ 535 и ГОСТ 14637 (Ст3сп, Ст3пс, Ст3кп); ГОСТ 19281 (до 380 МПа)	1,05
ГОСТ 19281 (св. 380 МПа)	1,10
ГОСТ Р 55374 (15ХСНД, 09Г2СД); ГОСТ Р 55374; СП 35.13330 (345-14ХГНДЦ); СП 35.13330 (15ХСНДА)	1,165
ГОСТ Р 55374 (10ХСНД); СП 35.13330 390-14ХГНДЦ; СП 35.13330 10ХСНДА	1,125

Таблица 8.5

Марка стали	Нормативный документ	Прокат	Толщина проката[1)], мм	Нормативное сопротивление[2)], МПа		Расчетное сопротивление[3)], МПа	
				по пределу текучести	по временному сопротивлению	по пределу текучести	по временному сопротивлению
				R_{yn}	R_{un}	R_y	R_u
15ХСНД	ГОСТ Р 55374	Листовой	8—50	345	490	295	415
15ХСНД	ГОСТ Р 55374	Фасонный	8—32	345	490	295	415

1) Фрикционными называются соединения, в которых передача усилия осуществляется только силами трения по контактным плоскостям соединяемых элементов, возникающего вследствие натяжения высокопрочных болтов.

Окончание таблицы 8.5

Марка стали	Нормативный документ	Прокат	Толщина проката[1], мм	Нормативное сопротивление[2], МПа		Расчетное сопротивление[3], МПа	
				по пределу текучести	по временному сопротивлению	по пределу текучести	по временному сопротивлению
				R_{yn}	R_{un}	R_y	R_u
345-14ХГНДЦ	ГОСТ Р 55374; СП 35.13330	Листовой	8—50	345	490	295	415
345-14ХГНДЦ	ГОСТ Р 55374; СП 35.13330	Фасонный	8—20	345	490	295	415
15ХСНДА	СП 35.13330	Листовой	8—50	345	490	295	415
09Г2СД	ГОСТ Р 55374	Листовой	4—50	325	450	280	385
09Г2СД	ГОСТ Р 55374	Фасонный	4—20	325	450	280	385
10ХСНД	ГОСТ Р 55374	Листовой	8—50	390	530	350	470
10ХСНД	ГОСТ Р 55374	Фасонный	8—15	390	530	350	470
10ХСНДА	СП 35.13330	Листовой	8—50	390	530	350	470
390-14ХГНДЦ	СП 35.13330	Листовой	8—50	390	530	350	470
40Х13	ГОСТ 5632	Круглый	До 250	1200	1540	1050	1365

[1] За толщину фасонного проката следует принимать толщину полки.

[2] За нормативные сопротивления приняты минимальные значения предела текучести и временного сопротивления, приведенные в ГОСТ Р 55374 и СП 35.13330.

[3] Здесь указаны расчетные сопротивления растяжению, сжатию и изгибу R_y и R_u. Остальные расчетные сопротивления определяются по формулам таблицы 8.3.

Примечания

1 Значения расчетных сопротивлений получены делением нормативных сопротивлений на коэффициент надежности по материалу, определяемый по таблице 8.4, и округлением до 5 МПа.

2 Расчетные сопротивления двухслойной коррозионно-стойкой стали по ГОСТ 10885 следует принимать по основному слою.

Таблица 8.6

Способ обработки контактных поверхностей во фрикционных соединениях	Коэффициент трения μ
1 Пескоструйный или дробеструйный двух поверхностей кварцевым песком или дробью — без последующей консервации	0,58
2 Кварцевым песком или дробью одной поверхности с консервацией полимерным клеем и посыпкой карборундовым порошком, стальными щетками без консервации — другой поверхности	0,50
3 Газопламенный двух поверхностей без консервации	0,42
4 Стальными щетками двух поверхностей без консервации	0,35
5 Дробеметный двух поверхностей дробью без последующей консервации	0,38
6 Дробеметный двух поверхностей дробью с последующим их газопламенным нагревом (до температуры 250 °С — 300 °С) на кольцевых зонах вблизи отверстий площадью не менее площади шайбы	0,61

Таблица 8.7

Число высокопрочных болтов в соединении	Значения коэффициента надежности γ_{bh} при обработке контактных поверхностей* способом					
	Пескоструйным или дробеструйным	Дробеструйным с нанесением клеефрикционного покрытия	Газоплазменным	Стальными щетками	Дробеметным	Дробеметным с газоплазменным нагревом поверхности металла в зоне отверстия до 250 °С — 300 °С
2—4	1,568	1,250	1,956	2,514	1,441	1,396
5—19	1,362	1,157	1,576	1,848	1,321	1,290
20	1,184	1,068	1,291	1,411	1,208	1,189
* Число обрабатываемых контактных поверхностей (одна или обе) следует принимать по таблице 8.6.						

8.4 Учет условий работы и назначения конструкций

При расчете стальных конструкций и соединений мостов надлежит учитывать:

- коэффициент надежности по ответственности γ_n, согласно 6.1.5—6.1.7;
- коэффициент надежности γ_u = 1,3 для элементов конструкций, рассчитываемых по прочности с использованием расчетных сопротивлений R_u;
- коэффициент условий работы m, по таблице 8.8 и СП 35.13330.2011 (раздел 8).

Таблица 8.8

Область применения	Коэффициент условий работы m
1 Элементы и их соединения в пролетных строениях и опорах мостов при расчете на стадии эксплуатации	0,9
2 То же, при расчете на нагрузки, возникающие при изготовлении, транспортировании и монтаже	1,0
3 Канаты гибких несущих элементов в вантовых мостах	0,8
4 Канаты напрягаемых элементов предварительно напряженных конструкций	0,9
5 Растянутые и сжатые элементы из одиночных профилей, прикрепленных одной полкой (или стенкой):	
- неравнополочный уголок, прикрепленный меньшей полкой	0,7
- неравнополочный уголок, прикрепленный большей полкой	0,8
- равнополочный уголок	0,75
- прокатный или составной швеллер, прикрепленный стенкой, или тавр, прикрепленный полкой	0,9
6 Элементы и их сварные соединения в пролетных строениях и опорах северного А исполнения	0,9
7 В случаях, не оговоренных в позициях 1—6 настоящей таблицы	1,0
Примечание — Значение коэффициента условий работы по позициям 1 и 2 настоящей таблицы в соответствующих случаях применяют совместно с коэффициентами по позициям 3—6 настоящей таблицы. Коэффициент условий работы по позиции 6 в соответствующих случаях применяют совместно с коэффициентами по позициям 3—5 настоящей таблицы.	

8.5 Основные положения по расчету

8.5.1 При динамических расчетах стальных конструкций максимальную жесткость (см. 6.3.9) следует определять, принимая сечение элементов брутто; при этом для сквозных ферм следует учитывать жесткости узлов (фасонок). При оценке нижней границы жесткости следует учитывать снижение жесткостей элементов перфорацией.

8.5.2 В расчетных моделях конструкций сварные и фрикционные соединения на высокопрочных болтах следует рассматривать как неподатливые.

8.6 Основные положения по конструированию

8.6.1 При проектировании стальных конструкций следует:

- выполнять конструктивно-технологические требования в соответствии с СП 35.13330, СП 46.13330 и настоящим сводом правил;
- предусматривать монтажные элементы (или блоки) максимальной заводской готовности с минимальными объемами работ по сборке соединений на монтажной площадке с учетом грузоподъемности и габаритов транспортных средств и условий строительства;
- осуществлять, как правило, унификацию монтажных блоков и элементов, а также узлов и расположения болтовых отверстий;
- учитывать способы монтажа;
- учитывать допуски на заводское изготовление и монтаж;
- обеспечивать возможность изготовления, удобство сборки и выполнения монтажных соединений;
- предусматривать связи, обеспечивающие в процессе транспортирования, монтажа и эксплуатации устойчивость и пространственную неизменяемость конструкции в целом, ее частей и элементов;
- предусматривать преимущественное применение автоматической и механизированной сварки и фрикционных соединений на высокопрочных болтах;
- предусматривать устройство антикоррозионно-защитного гидроизоляционного слоя внутренних поверхностей балластного корыта со сроком службы не менее 30 лет;
- как правило, выполнять несущие элементы из минимального числа деталей, используя, в том числе, увеличение толщины элементов (для повышения долговечности за счет уменьшения числа сварных швов);
- исключать стесненное расположение привариваемых деталей, резкие изменения сечения элементов, образование конструктивных «надрезов» в виде обрывов фасонок и ребер жесткости или вырезов в них, примыкающих под углом к поверхности напряженных частей сечения (поясов и стенок балок, листов составных элементов и т. д.).

8.6.2 Для повышения выносливости и хладостойкости конструкций, а также для снижения отрицательного влияния остаточных напряжений от сварки следует предусматривать мероприятия конструктивного и технологического характера:

- оптимальный порядок сборки и сварки элементов;
- роспуск швов;
- предварительный выгиб;
- предварительный подогрев металла в зоне наложения сварных швов;
- нагрев отдельных зон после сварки;
- полное проплавление и выкружки на концах обрываемых деталей, подходящие по касательной к поверхности оставшейся части сечения;
- механическую обработку зон концентрации напряжений;
- обработку монтажных поперечных стыков с полным проплавлением с обеих сторон шва заподлицо с основным металлом;
- припуски (при необходимости).

В конструкциях северного исполнения следует исключать обрыв отдельных частей сечения по длине элемента в целом (или монтажного блока, если в стыках блоков применены фрикционные соединения).

8.6.3 По исполнению и материалам монтажную сварку стальных конструкций следует предусматривать в соответствии с требованиями 8.2 и таблицы 8.2.

8.6.4 В пролетных строениях с раздельными балками и в продольных балках проезжей части необходимо устраивать продольные связи по верхним и нижним поясам. Прикрепление продольных связей к стенкам балок не допускается.

«Открытые» пролетные строения и «открытая» проезжая часть допускаются при условии закрепления свободных поясов балок пролетных строений жесткими поперечными рамами, а балок проезжей части — поперечными связями.

Если пояса балок или ферм жестко связаны железобетонной или стальной плитой или иными конструктивными элементами, допускается не устраивать продольных связей в соответствующей плоскости, если они не требуются по условиям монтажа.

В арочных пролетных строениях следует устраивать продольные связи в плоскости одного из поясов арок и в плоскости проезжей части, если она не имеет плиты; при решетчатых арках следует предусматривать поперечные связи между ними, а также продольные связи по обоим поясам.

8.6.5 Продольные связи между поясами главных ферм следует центрировать в плане с элементами поясов, при этом эксцентриситеты в прикреплении из плоскости связей должны быть минимальными.

8.6.6 Расстояние между осями продольных балок при наличии балочной клетки следует назначать не менее 1,7 м, между осями сплошностенчатых главных балок (ферм) при отсутствии балочной клетки — не менее 1,8 м. При расстоянии между осями главных балок (ферм) более 2,0 м их необходимо объединять железобетонной или стальной плитой.

8.6.7 Пролетные строения с раздельными двутавровыми балками и продольные балки проезжей части должны иметь поперечные связи, располагаемые на расстояниях, не превышающих двух высот балок.

8.6.8 Для снижения напряжений при изгибе поперечных балок проезжей части от деформации поясов главных ферм допускается включать проезжую часть в совместную работу с главными фермами.

В пролетных строениях с проезжей частью, не включенной в совместную работу с главными фермами, следует устраивать тормозные связи.

8.6.9 Прикрепление стенок продольных и поперечных балок следует осуществлять, как правило, с помощью вертикальных уголков и фрикционных соединений.

Прикрепление балок проезжей части с помощью торцевых листов, приваренных к стенке и поясам балки, не допускается.

В проезжей части пролетных строений разрывы (отсутствие жесткого соединения) продольных балок у поперечных не допускаются.

8.6.10 Стальные конструкции из атмосферостойкой стали марки 14ХГНДЦ не требуют дополнительной противокоррозионной защиты внутренних и внешних поверхностей на прогнозируемый срок службы при расположении мостов в открытой атмосфере любой коррозионной агрессивности (оценка агрессивности по ГОСТ 9.039) на всей территории Российской Федерации, за исключением 500-метровой полосы от берега моря.

8.6.11 На участках с высокоскоростным движением применение сложных прокатных профилей (швеллеров, тавров и двутавров, в том числе с параллельными гранями полок) в стальных конструкциях не допускается.

9 Сталежелезобетонные конструкции

9.1 Сталежелезобетонные конструкции на ВСМ следует проектировать в соответствии с требованиями СП 35.13330 с учетом настоящего свода правил.

9.2 Требования настоящего раздела необходимо соблюдать для пролетных строений, в которых железобетонная плита объединена со стальными главными балками, фермами или балками проезжей части для совместной работы.

9.3 Требования к качеству и расчетные характеристики материалов сталежелезобетонных конструкций, а также не предусмотренные в настоящем разделе указания по расчету и конструированию следует принимать согласно разделам 5—8.

9.4 На участках с высокоскоростным движением для объединения железобетонной и стальной частей следует применять гибкие упоры с головкой.

10 Опоры, основания и фундаменты

10.1 При проектировании опор, оснований и фундаментов мостов и труб на ВСМ следует руководствоваться указаниями СП 35.13330.2011 (раздел 11), СП 24.13330 и СП 22.13330 с учетом настоящего свода правил.

При моделировании свайных фундаментов следует руководствоваться указаниями СП 24.13330.2011 (приложение В), а на естественном основании — СП 22.13330.2016 (приложение Б), а также методиками, приведенными в приложениях П и Р.

При моделировании динамических характеристик оснований следует также руководствоваться основными положениями СП 26.13330.

10.2 Указания по определению осадок свайных фундаментов и фундаментов на естественном основании приведены в приложении Р.

Расчеты по предельным состояниям

10.3 Опоры мостовых сооружений и трубы в теле насыпи, а также их фундаменты и основания следует рассчитывать по двум группам предельных состояний:

- по первой группе — по несущей способности оснований, устойчивости фундаментов против опрокидывания и сдвига, прочности и устойчивости конструкций фундаментов[1)];
- по второй группе — по деформациям оснований и фундаментов (осадкам, кренам, горизонтальным перемещениям, углам перелома пути в плане), положению равнодействующей для фундаментов мелкого заложения и трещиностойкости железобетонных конструкций фундаментов.

При выполнении проверок надежности оснований опор и труб, а также массивных опор динамические воздействия не учитывают, коэффициенты $1 + \mu_1$, $1 + \mu_2$ и $1 + \mu$ принимают равными 1,0.

При проектировании сквозных, тонкостенных и стоечных опор коэффициенты динамики являются результатами расчетов, выполняемых по методикам А.2, Б.1, Б.2 (см. 6.3.10).

10.4 Несущая способность грунта под подошвой фундаментов на естественном основании, а также свайного на уровне низа свай должна удовлетворять условиям:

$$p \le \frac{1}{\gamma_n} R \quad \text{и} \quad p_{max} \le \frac{m}{\gamma_n} R, \tag{10.1}$$

где p — среднее давление подошвы фундамента на основание, кПа;

p_{max} — максимальное давление подошвы фундамента на основание, кПа;

R — расчетное сопротивление основания из нескальных или скальных грунтов осевому сжатию, кПа, по СП 35.13330.2011 (приложение 2);

γ_n — коэффициент надежности по ответственности (назначению), принимаемый равным 1,4;

m — коэффициент условий работы, принимаемый по таблице 10.1.

Проверки должны быть выполнены на основные, дополнительные, особые и строительные сочетания нагрузок.

Таблица 10.1 — Значение коэффициента условий работы m при расчете несущей способности грунта под подошвой фундамента мелкого заложения

Сочетания нагрузок	Тип основания	
	Нескальное	Скальное
Основные	1,0	1,2
Дополнительные	1,2	1,2
Особые	1,3	1,3
Строительные	1,2	1,2

В расчетах по несущей способности оснований фундаментов напряжения в грунте под подошвой p_{max} фундамента следует определять, как максимальные по сочетаниям в угловых точках плиты фундамента или основания условного фундамента (см. 10.5). В сочетаниях должно рассматриваться одновременное действие постоянных и временных нагрузок, вертикальных и горизонтальных, вдоль и поперек моста. Среднее давление p следует вычислять при тех же сочетаниях, как максимальное в точке центра тяжести сечения фундамента.

10.5 При проверках несущей способности основания в уровне низа свай давления p_{max} и p следует вычислять, как для условного фундамента согласно Р.1 приложения Р.

10.6 При вычислении давлений грунта под подошвой фундамента устоев следует учитывать дополнительное давление от веса примыкающей насыпи согласно указаниям СП 35.13330.2011 (приложение 5). При этом учитывать снижение давления на уровне отметки подошвы фундамента согласно СП 35.13330.2011 (приложение 4).

[1)] Проверки выносливости для массивных опор, а также оснований и фундаментов всех видов не выполняют.

10.7 Если под слоем грунта, воспринимающим давление подошвы фундамента или нижних концов свай, залегает слой менее прочного грунта, необходимо проверить несущую способность этого слоя согласно СП 35.13330.2011 (приложение 4).

10.8 Для оснований из нескальных грунтов под фундаментами мелкого заложения, рассчитываемыми без учета заделки в грунт, относительный эксцентриситет положения равнодействующей расчетных нагрузок (по отношению к центру тяжести площади подошвы фундамента) не должен превышать значений, указанных в таблице 10.2.

10.9 Для промежуточных опор, расположенных на косогорах, и для устоев во всех случаях следует выполнять проверку устойчивости против глубинного сдвига согласно указаниям 6.5.2.

Таблица 10.2 — Наибольший относительный эксцентриситет вертикальной равнодействующей для фундаментов мелкого заложения

Вид конструкции	При действии нагрузок	
	только постоянных	постоянных и временных
Промежуточные опоры	$e_0 / r \le 0,1$	$e_0 / r \le 1,0$
Устои и трубы	$e_0 / r \le 0,5$	$e_0 / r \le 0,6$

Примечание — В настоящей таблице применены следующие обозначения:
$e_0 = M/N$ — эксцентриситет равнодействующих нагрузок[1)];
$r = W/A$ — радиус ядра сечения подошвы фундамента;
M — момент действующих сил на уровне подошвы фундамента[1)];
N — равнодействующая вертикальных сил;
W — момент сопротивления подошвы фундамента для менее напряженного ребра;
A — площадь подошвы фундамента.

[1)] Относительно главной центральной оси подошвы фундамента.

10.10 Осадку и крен фундаментов следует рассчитывать, руководствуясь указаниями приложения Р, СП 35.13330.2011 (пункты 11.16—11.18), СП 22.13330.2016 (пункты 5.6.31—5.6.45) и СП 24.13330.2011 (пункт 7.4.6) в частях, не противоречащих указаниям 6.4.20—6.4.24 настоящего свода правил.

Примечание — При расчете осадок свайных фундаментов опор мостов по СП 24.13330 следует принимать, что:

1) положения 7.4 для большой группы свай (свайного поля) применяются к фундаментам при числе свай в ростверке более 4 (кроме однорядных);

2) дополнительные осадки Δs_c и Δs_p в формуле (7.41) СП 24.13330.2011 реализуются в процессе строительства и не должны учитываться в расчетах осадки на стадии эксплуатации.

10.11 При расчете осадок устоев необходимо учитывать дополнительное вертикальное давление на основание от веса примыкающей части насыпи подходов, определяемое согласно СП 35.13330.2011 (приложение 5). При этом следует полагать, что начальная и часть замедленной составляющей осадки от веса насыпи реализуется до ввода в эксплуатацию (приложение Р).

10.12 Следует учитывать взаимное влияние осадок примыкающей части насыпи и осадки устоев и возможное «негативное» трение в сваях. При этом длину участка свай, на которых может реализоваться «негативное» трение, следует определять при полных конечных осадках.

10.13 В районах развития карстово-суффозионных процессов допускается применение висячих буронабивных свай большого диаметра с жесткой заделкой в ростверк. Свайный фундамент под опору моста следует проектировать с учетом того, что в пределах контура фундамента в плане возможно образование одного участка (зоны) полной потери несущей способности основания. Параметром такой зоны в случае фундаментов с однорядным расположением свай является расчетный пролет карстового провала l_d, в остальных случаях — расчетная площадь карстового провала S_d. Расчетные параметры l_d и S_d следует определять в соответствии с указаниями приложения С.

Следует полагать, что свая, попадающая в зону полной потери несущей способности основания, не участвует в работе свайного ростверка. При этом она воспринимает отрицательное трение оседающего вокруг нее грунта и (вместе с весом самой сваи) передает его через ростверк на остальные сваи в составе фундамента.

Сочетания нагрузок и воздействий, включающие воздействие от образования карстового провала, следует рассматривать как особые.

Конструирование

10.14 Глубину заложения подошвы ростверка следует назначать:

- в грунтах, не подверженных пучению в пределах суши, на любом уровне независимо от расчетной глубины промерзания при условии простирания толщи этих грунтов ниже глубины промерзания не менее 1 м и отсутствия при промерзании напорных грунтовых вод;
- в грунтах, подверженных пучению, вне пределов промерзания (ниже расчетной глубины промерзания не менее 0,25 м или выше дневной поверхности грунта на 0,5 м и более);
- в русле реки на любом уровне (в том числе выше дна русла) при отсутствии промерзания воды до дна, но не менее чем на δ + 0,25 м ниже уровня низкого ледостава, где δ — толщина льда, м;
- при наличии ледохода и карчехода с таким расчетом, чтобы сваи не могли подвергаться их воздействию.

11 Строительство мостов и труб

11.1 Строительство мостов и труб должно выполняться в соответствии с требованиями СП 48.13330, СП 46.13330 с учетом настоящего свода правил.

11.2 Работы, не предусмотренные СП 46.13330 и настоящим сводом правил или изложенные в недостаточном объеме, следует выполнять в соответствии с указаниями ППР и технологических регламентов, разрабатываемых в составе организационно-технологической документации согласно требованиям СП 48.13330.

11.3 Требования к выполнению работ всех видов при строительстве мостов и труб в пределах существующих железнодорожных станций, а также в полосе отвода железных дорог и в охранной зоне производственных объектов сооружений и устройств железных дорог приведены в [5] и нормативных документах владельцев инфраструктуры, регламентирующих безопасное ведение работ.

11.4 Все работы при строительстве мостов и труб в пределах существующих железнодорожных станций, а также в полосе отвода и в охранной зоне производственных объектов сооружений и устройств железных дорог необходимо предусматривать во время технологических перерывов и вести в «окна» в графике движения поездов в следующих случаях:

- при проведении работ в габарите приближения строений и подвижного состава;
- когда опасные зоны по условиям производства работ, отраженным в проекте организации строительства (ПОС) и ППР, затрагивают габарит приближения строений и подвижного состава;
- на электрифицированных участках железной дороги при необходимости снятия напряжения с устройств контактной сети и воздушных линий по условиям производства работ.

11.5 Соответствующий раздел ППР, график и продолжительность «окон» должны быть согласованы с эксплуатирующей железную дорогу организацией.

11.6 Все работы при строительстве мостов и труб ВСМ в пределах существующих железнодорожных станций, а также в полосе отвода и в охранной зоне производственных объектов сооружений и устройств, проводимые не в «окна», но в охранной зоне воздушных линий электропередачи, необходимо выполнять, руководствуясь требованиями [4] и по согласованию с владельцами инфраструктуры.

11.7 Конструкции мостовых сооружений должны быть проверены расчетом на возможный пропуск по ним монтажных агрегатов.

11.8 Испытания мостовых сооружений перед приемкой их в эксплуатацию должны осуществляться в соответствии с требованиями СП 79.13330, а также с программой проведения испытаний. В соответствии с 6.3.7 программа испытаний должна предусматривать поэтапное овладение скоростями от 200 до 350 км/ч с интервалами, устанавливаемыми специальными требованиями.

Кроме того, в программе испытаний больших пролетов, в том числе, должна быть предусмотрена проверка спектра реальных значений собственных частот пространственных колебаний и обоснование мероприятий по обеспечению безопасности.

12 Проектирование транспортных тоннелей

12.1 Общие положения

12.1.1 Проектирование транспортных тоннелей ВСМ следует вести в соответствии с требованиями СП 122.13330 с учетом настоящего свода правил.

12.1.2 Обделка тоннелей должна иметь улучшенные аэродинамические свойства, не иметь выступающих углов, в связи с чем:

- ниши и камеры в тоннеле не устраиваются;
- трубы с подводящим кабелем питания освещения и слаботочных устройств утапливаются в тело обделки, внутренних конструкций тоннеля или путевого бетонного основания при условии соблюдения мероприятий по их герметизации;
- шкафы, проемы и ниши во внутренних конструкциях должны быть закрытыми, например, дверцами жалюзийного типа.

12.1.3 Портальные участки тоннеля необходимо проектировать раструбного типа. Геометрические параметры раструбов (длина раструбной части, соотношение между сечением собственно тоннеля и входным сечением раструбной части) должны обеспечивать безопасный уровень максимального колебания давления (разность между экстремальными пиковыми значениями верхнего и нижнего давлений).

За безопасный уровень максимального колебания давления принимают показатель не более 10 кПа.

В случае расположения вблизи входа в тоннель зданий и сооружений, а также при расположении тоннелей в особых экологических зонах при соответствующем обосновании допускается выполнять по длине раструбных участков проемы, связывающие внутритоннельное пространство с атмосферой, а вертикальные поверхности этих участков покрывать шумопоглощающими материалами.

12.1.4 Проектная документация на строительство тоннелей на ВСМ должна проходить геотехническую экспертизу, осуществляемую уполномоченными органами или организациями.

На геотехническую экспертизу представляется следующая документация:

- результаты инженерно-геологических и геотехнических изысканий;
- результаты обследования технического состояния зданий и сооружений, расположенных в зоне влияния строительства;
- проектные решения несущих конструкций;
- результаты математического моделирования совместной работы подземного сооружения с вмещающим грунтовым массивом, включая расчеты влияния проектируемого подземного сооружения на окружающую застройку;
- проекты усиления оснований и фундаментов существующих зданий и других мероприятий по обеспечению их сохранности и безопасной эксплуатации с расчетным обоснованием принятых технических решений;
- результаты прогнозирования гидрогеологической ситуации;
- ПОС;
- проект геотехнического мониторинга (наблюдательной станции).

12.1.5 Решения по генеральному плану:

- расстояние между тоннелями на портальных участках не нормируется, но, как правило, не должно быть менее двух поперечных размеров обделки в осях;
- расположение тоннелей в плане должно удовлетворять требованиям, предъявляемым к открытым участкам трассы ВСМ. При расположении порталов в плане на расстоянии менее 25 м в осях необходимо предусматривать на порталах разделительную перегородку.

12.1.6 Расстояние между осями однопутных тоннелей в плане следует принимать таким образом, чтобы исключить их взаимное влияние при строительстве.

12.1.7 Коэффициент общей устойчивости выемок при расчетах по методу предельного равновесия грунтового массива при проектировании по данным изучения массива и анализу деформаций должен быть не менее 1,3; при проектировании по данным бурения скважин и методом аналогий — не менее 1,5.

12.1.8 Тоннели оборудуют системой охранной сигнализации и контроля доступа.

12.1.9 Согласно ГОСТ 27751 для тоннелей и притоннельных сооружений класс сооружений принимают КС-3, уровень ответственности — повышенный.

12.1.10 Подрельсовое основание в тоннелях устраивают безбалластным. Проектирование и устройство бесстыкового пути в тоннеле следует выполнять по требованиям действующих нормативных документов по верхнему строению пути для ВСМ.

12.2 Инженерно-геологические изыскания

12.2.1 Инженерно-геологические изыскания следует выполнять в соответствии с требованиями СП 122.13330 с учетом настоящего свода правил.

12.2.2 При выявлении неблагоприятных для строительства зон (зоны разломов, зоны развития карстовых, оползневых и прочих процессов, оказывающих негативное влияние на безопасность и эксплуатационную надежность тоннелей) следует устанавливать границы их распространения, интенсивность развития, степень влияния на условия строительства и работу сооружения.

12.2.3 Требования к выполнению комплекса лабораторных исследований физико-механических свойств грунтов приведены в [6]. Перечень дополнительных физико-механических характеристик грунтов, определяемых по согласованию с проектной и (или) профильной научно-исследовательской организацией, выполняющей геотехнические расчеты и (или) научное сопровождение строительства, приведен в приложении Ф.

12.3 Объемно-планировочные решения

12.3.1 Тоннели, как правило, проектируют однопутными, раздельными под каждый путь.

Тоннели длиной менее 1000 м, а также тоннели в стесненных природных или градостроительных условиях при соответствующем технико-экономическом обосновании допускается проектировать двухпутными.

При проектировании двухпутных тоннелей следует предусматривать:

- или конструктивные решения, обеспечивающие разделение путей в тоннеле;
- или организационно-технические решения, исключающие одновременное нахождение в одном сечении тоннеля двух поездов.

12.3.2 В тоннелях протяженностью более 1500 м следует предусматривать дополнительные выходы (сбойки) в рядом расположенные тоннели в целях:

- эвакуации людей;
- организации работ при строительстве и ремонте;
- установки эксплуатационного оборудования;
- прокладки коммуникаций.

Сбойки между тоннелями и проемы в разделительной перегородке для двухпутных тоннелей устраивают с шагом не более 1000 м.

12.3.3 При необходимости и соответствующем обосновании в тоннелях протяженностью более 1000 м следует предусматривать сервисную (многофункциональную) штольню (тоннель).

12.3.4 Кабели электроснабжения и электроосвещения, а также кабели систем автоматики и телемеханики, железнодорожной электросвязи следует располагать в кабельных каналах, расположенных во внутренних конструкциях тоннеля, путевом бетоне или в многофункциональной штольне (при наличии). Трубопроводы для хозяйственных нужд следует размещать в каналах в конструкциях тоннеля за пределами транспортного отсека или в конструкции жесткого основания пути, или в многофункциональной штольне (при наличии).

12.4 Поперечное сечение, продольный профиль и план

12.4.1 Поперечное сечение тоннеля следует принимать с учетом размещения габарита приближения строений с учетом необходимости уменьшения аэродинамического воздействия проходящих через тоннель поездов на конструктивные элементы тоннеля до допустимых значений, обеспечения комфорта пассажиров, принятых конструкций контактной сети, конструкции пути, водоотвода, всех необходимых технологических обустройств, строительных допусков, а также с учетом соотношения между сечением поезда и сечением тоннеля, обеспечивающего безопасный уровень избыточного давления.

На прямолинейных и криволинейных участках пути поперечное сечение тоннеля следует проектировать исходя из параметров габарита приближения строений С400Т (см. рисунок 12.1) с учетом его уширения. При кривых $R > 4000$ м уширение габарита допускается не предусматривать.

В зависимости от типа тоннеля (однопутный или двухпутный) и проектной скорости движения поездов внутреннее поперечное сечение, $м^2$, должно быть не менее:

75 — для однопутных тоннелей;

110 — для двухпутных тоннелей.

12.4.2 Ширина междупутья в двухпутных тоннелях при реализации скоростей более 200 км/ч должна быть такой же, как и на прилегающих к тоннелю участках пути. Расстояние между осями путей в двухпутных тоннелях на прямых участках при максимальной скорости 350 км/ч должно составлять не менее 5000 мм.

12.4.3 При длине тоннеля до 400 м продольный уклон должен быть одного знака. Минимальный уклон пути в тоннеле 3 ‰. Допускаются горизонтальные площадки пути в тоннеле при обеспечении продольного водоотведения.

Максимальный уклон определяется с учетом смягчения руководящего уклона. Коэффициент смягчения руководящего уклона следует принимать по расчету в зависимости от величины дополнительного сопротивления подвижного состава при прохождении тоннеля.

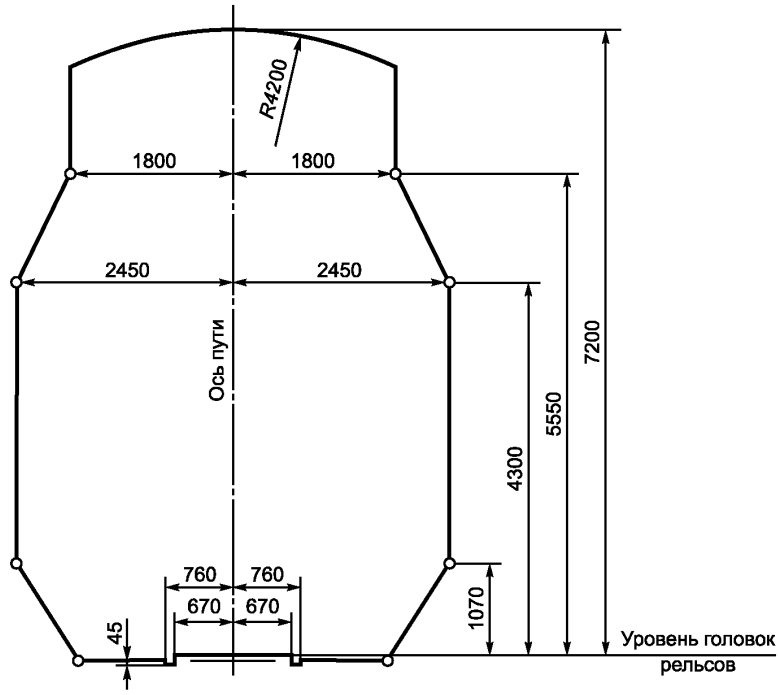


Рисунок 12.1 — Габарит приближения строений С400Т

12.5 Материалы

Требования, предъявляемые к материалам, должны соответствовать требованиям, изложенным в СП 122.13330.2012 (пункт 5.4.2).

12.6 Конструктивные строительные требования

12.6.1 Требования, предъявляемые к конструкциям обделок, должны соответствовать требованиям, изложенным в СП 122.13330.2012 (пункт 5.4.2) и настоящем своде правил.

12.6.2 Конструкции обделок тоннелей и порталов, сооружаемых в районах (зонах) сейсмичностью 7 баллов и более, должны удовлетворять требованиям, изложенным в СП 14.13330.

12.6.3 Конструкция обделки может выполняться сборной из железобетонных блоков или металлических тюбингов, монолитной из железобетона или набрызг-бетона или иной при обеспечении несущей способности и долговечности в заданных условиях строительства и эксплуатации.

12.6.4 Крепление оборудования в тоннеле должно обеспечивать устойчивость при кратковременном воздействии расчетного избыточного давления во фронте ударной волны при движении высокоскоростного поезда.

12.7 Нагрузки и воздействия

12.7.1 Нагрузки и воздействия должны соответствовать требованиям, изложенным в СП 122.13330.2012 (подраздел 5) с учетом настоящего свода правил.

12.7.2 При расчете конструкций необходимо учитывать аэродинамические нагрузки. Аэродинамическое воздействие не должно превышать 10 кПа. В расчетных схемах эту нагрузку учитывают, как временную.

12.8 Расчет конструкций подземных сооружений

12.8.1 Расчет конструкций проводится в соответствии с требованиями СП 122.13330.2012 (подраздел 6) с учетом настоящего свода правил.

12.8.2 Расчет обделок следует выполнять с учетом требований СП 63.13330, СП 28.13330 к трещиностойкости и предельно допустимой ширине продолжительного раскрытия трещин по СП 122.13330.2016 (таблица 5).

12.9 Гидроизоляция обделок и защита от коррозии. Деформационные швы

12.9.1 Требования, предъявляемые к гидроизоляции и защите от коррозии, должны соответствовать требованиям, изложенным в СП 122.13330 с учетом настоящего свода правил.

12.9.2 В зависимости от инженерно-геологических условий строительства и принятой технологии работ могут быть применены следующие виды гидроизоляции подземных сооружений: оклеечная, обмазочная, наплавляемая, напыляемая, пленочная, стальная либо иная гидроизоляция обделок, исключающая поступление воды во внутреннее пространство тоннеля.

12.9.3 Монолитные обделки тоннелей должны иметь деформационные температурно-осадочные швы, расстояние между которыми следует принимать по расчету, но не более 60 м. Требования, предъявляемые к деформационным швам, должны соответствовать требованиям, изложенным в СП 122.13330.

12.10 Притоннельные сооружения

Требования, предъявляемые к конструкциям притоннельных сооружений, должны соответствовать требованиям, изложенным в СП 122.13330.2012 (пункт 5.4.7).

12.11 Эксплуатационные устройства

Требования, предъявляемые к эксплуатационным устройствам, должны соответствовать требованиям, изложенным в СП 122.13330.2012 (подраздел 7.2).

12.12 Энергоснабжение, энергоустановки и электроосвещение

12.12.1 Проектирование электроснабжения железнодорожного тоннеля должно осуществляться согласно СП 122.13330 и настоящему своду правил.

12.12.2 Тип светильников и их крепления должны обеспечивать устойчивость к кратковременному воздействию ударной волны во фронте движения высокоскоростного поезда. Светильники и их крепления должны иметь улучшенные аэродинамические показатели.

12.12.3 Подключение ремонтного оборудования и инструмента следует предусматривать от стационарных устройств, не выступающих из внутреннего контура конструкций тоннеля.

12.13 Тоннельная вентиляция

Требования, предъявляемые к тоннельной вентиляции, должны соответствовать требованиям, изложенным в СП 122.13330 и настоящем своде правил.

12.14 Водоснабжение и водоотведение

12.14.1 Требования, предъявляемые к водоснабжению и водоотведению, должны соответствовать требованиям, изложенным в СП 122.13330 и настоящем своде правил.

12.14.2 С помощью дренажных устройств (дренажные штольни, заобделочный продольный дренаж и т. д.) должно быть обеспечено снижение гидростатического давления на обделку до расчетного уровня.

12.15 Автоматика, телемеханика и связь

12.15.1 Требования, предъявляемые к автоматике, телемеханике и связи, должны соответствовать требованиям, изложенным в СП 122.13330 и настоящем своде правил.

12.15.2 Все тоннели должны быть оборудованы устройствами заградительной и оповестительной сигнализации. Тоннели должны быть оборудованы системами контроля состояния пути и конструкции обделки тоннеля, параметров микроклимата в тоннелях, системами геомеханического контроля состояния горного массива, а также системой управления технологическими процессами.

12.15.3 Прокладку кабельных линий к устройствам систем автоматики, сигнализации и связи между кабельным каналом в банкетке и устройством, расположенным в транспортной зоне тоннеля, следует организовывать в трубах в обделке отдельно от силовых кабелей.

12.16 Требования к сооружениям инженерной защиты

Требования, предъявляемые к сооружениям инженерной защиты, должны соответствовать требованиям, изложенным в СП 116.13330.

12.17 Охрана окружающей среды при сооружении тоннелей

12.17.1 Обеспечение экологической безопасности при проектировании, строительстве и эксплуатации тоннелей на ВСМ следует осуществлять при условии, что охрана окружающей среды является одним из приоритетных направлений деятельности, наряду с обеспечением эффективности и безопасности транспорта.

12.17.2 Мероприятия по охране окружающей среды при проектировании, строительстве и эксплуатации тоннелей на ВСМ следует проводить в соответствии с требованиями [2], [3] и других нормативных правовых и нормативных технических документов.

12.17.3 Комплекс мероприятий по охране окружающей среды при проектировании, строительстве и эксплуатации тоннелей на ВСМ должен содержать:

- результаты оценки воздействия на окружающую среду;
- перечень мероприятий по предотвращению и (или) снижению возможного негативного воздействия намечаемой хозяйственной деятельности на окружающую среду и рациональному использованию природных ресурсов на период строительства и эксплуатации тоннелей;
- карту-схему с указанием размещения трассы тоннелей на ВСМ и границ зон с особыми условиями использования территории, мест обитаний животных и растений, занесенных в Красную книгу Российской Федерации и красные книги субъектов Российской Федерации;
- карту-схему границ зон экологического риска и возможного загрязнения окружающей природной среды вследствие аварии на тоннелях.

12.17.4 Производство работ и эксплуатация тоннелей на ВСМ без выполнения природоохранных мероприятий, предусмотренных проектом, не допускается.

12.17.5 Требования СП 119.13330 и СП 51.13330 применяют при проектировании природоохранных мероприятий в случаях, не оговоренных в настоящем подразделе.

12.18 Мероприятия по предотвращению чрезвычайных ситуаций

12.18.1 Перечень мероприятий по гражданской обороне, мероприятий по предупреждению чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера для тоннелей необходимо предусматривать в соответствии с действующим законодательством Российской Федерации в области гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций.

12.18.2 Тоннели должны быть оснащены структурированной системой мониторинга инженерных систем зданий и сооружений с учетом требований ГОСТ Р 22.1.12.

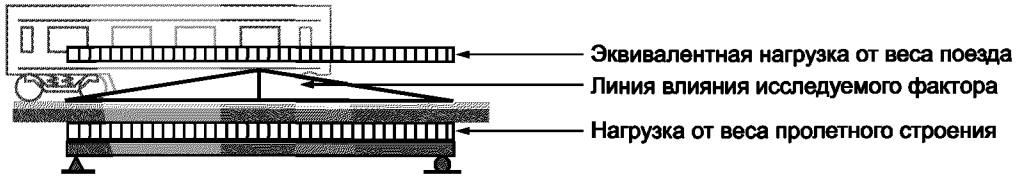
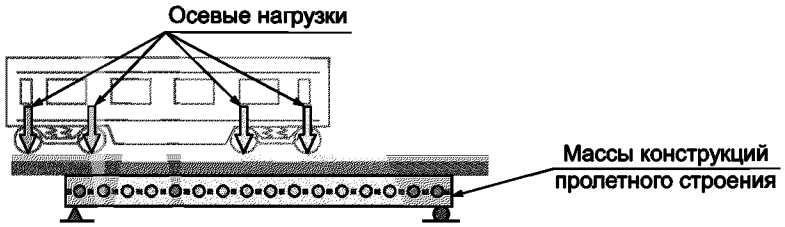
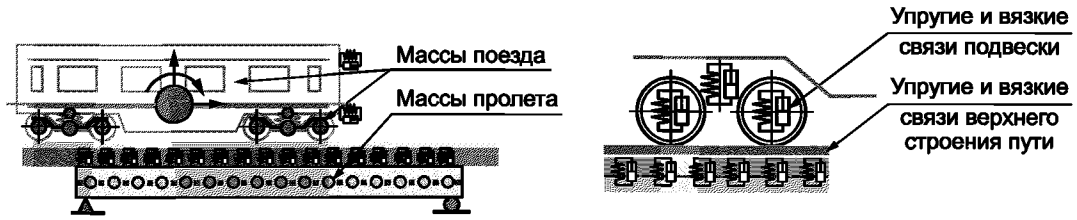
13 Строительство тоннелей

Строительство транспортных тоннелей ВСМ следует вести в соответствии с требованиями СП 122.13330.

Приложение А

Иерархия моделей взаимодействия моста с подвижным составом

Таблица А.1

Постановка задачи	Масса пролетного строения	Модель и воздействие от поездов	Модель пути	Учет динамики	
				резонансных явлений	дефектов пути и колес
I — **Статическая модель** Применяется для расчета мостов на железных дорогах со скоростями движения менее 200 км/ч.					
					
Статическая	Учитывается нагрузкой	Эквивалентная нагрузка	Не учитывается	Одним коэффициентом динамики	
II — **Подвижные силы на балке** Применяется для расчета мостов на воздействия высокоскоростных поездов (до 350 км/ч). Позволяет учесть эффект резонанса и оценить ускорения балки.					
					
Динамическая	Система масс с вязким затуханием	Система сил	Не учитывается	Из динамического расчета	Коэффициентом динамики
III — **Подвижные массы на балке** Применяется в аналитических исследованиях и при расчете мостов сложных систем. Позволяет оценить уровень комфорта пассажиров.					
					
Динамическая	Система масс с вязким затуханием	Система масс с упругими и вязкими связями	Не учитывается	Из динамического расчета	Коэффициентом динамики
IV — **Подвижные массы на балке с учетом жесткости пути** Применяется, как правило, в аналитических исследованиях. Позволяет оценить влияние дефектов пути и колес, а также деформации напряжения в рельсах и других элементах пути.					
					
Динамическая	Система масс с вязким затуханием	Система масс с упругими и вязкими связями	Балка на упруго-вязком основании	Из динамического расчета	

Приложение Б

Определение частоты колебаний и резонансных скоростей для балочных разрезных пролетных строений

Б.1 Для балочных разрезных пролетных строений резонансные скорости, м/с, могут быть определены следующим образом:

$$V_i = f_1 \, d/i, \tag{Б.1}$$

где f_1 — первая собственная частота колебаний ненагруженного пролетного строения, Гц;

V_i — i-я резонансная скорость, м/с;

d — регулярный интервал между группами осей поезда, м;

i = 1, 2, 3 или 4.

Примечание — Формула (Б.1) применима для скоростей $40 \le V_i \le V_{max}$, где V_{max} — максимальная расчетная скорость, м/с (см. 6.3.5).

Б.2 Для балочных разрезных пролетных строений допускается определять первую вертикальную частоту колебаний, Гц, по формуле

$$f_1 = \frac{17{,}75}{\sqrt{1000 \cdot \delta_p}}, \tag{Б.2}$$

где δ_p — упругий прогиб в середине пролета при действии постоянных нагрузок, м, определяемый по формуле

$$\delta_p = \frac{5}{384} \cdot \frac{p}{EJ} \cdot L^4, \tag{Б.3}$$

здесь p — интенсивность постоянной нагрузки, кН/пм;

EJ — жесткость сечения пролетного строения при изгибе, кН·м^2;

L — расчетная длина пролета, м.

Приложение В

Диапазоны первых частот вертикальных колебаний пролетных строений

В.1 При проектировании пролетных строений следует вычислять частоту по первой форме вертикальных колебаний и предельные значения этой частоты:

- верхний предел $f_{1,max}$, Гц — ограничивает опасные частоты по признаку совпадения с частотами возбуждения, связанными с неровностями пути и несовершенствами колес подвижного состава:

$$f_{1,max} = 94,76 \cdot L^{-0,748}; \quad (В.1)$$

- нижний предел $f_{1,min}$, Гц — ограничивает частоты по признаку резонанса от периодического возбуждения, связанного с наездом тележек поезда на пролетное строение:

$$f_{1,min} = \frac{80}{L} \text{ при } 4 \le L \le 20 \text{ м};$$

$$f_{1,min} = 23,58 \cdot L^{-0,592} \text{ при } L > 20 \text{ м}, \quad (В.2)$$

где L — расчетная длина пролетного строения, м.

В.2 Значение коэффициента динамики μ_2 может быть вычислено по Ж.7 (приложение Ж), только если первая частота находится ниже верхнего предела $f_{1,max}$.

В.3 Основные параметры балочных разрезных пролетных строений при проектировании по методике А следует назначать таким образом, чтобы значение частоты по первой форме вертикальных колебаний находилось в указанных пределах.

Для этих пролетных строений допускается определять первую частоту по формулам (Б.2) и (Б.3) приложения Б.

В.4 При проектировании пролетных строений других конструктивных схем (неразрезных, рамных, арочных и т. д.) ограничение (В.2) может не выполняться.

В.5 Расчетная длина пролетного строения L может быть вычислена двумя способами.

Способ 1:

а) для балочных разрезных пролетных строений — как длина расчетного пролета;

б) для неразрезных пролетных строений — как среднее арифметическое длин пролетов, умноженное на коэффициент, равный:

1,2 — для двухпролетных балок;

1,3 — для трехпролетных балок;

1,4 — для четырехпролетных балок;

1,5 — при числе пролетов 5 и более,

но не более длины максимального пролета;

в) для рамных пролетных строений — так же, как и для неразрезных балочных, при этом крайние стойки рамы (при их наличии) условно рассматриваются в качестве крайних пролетов балки;

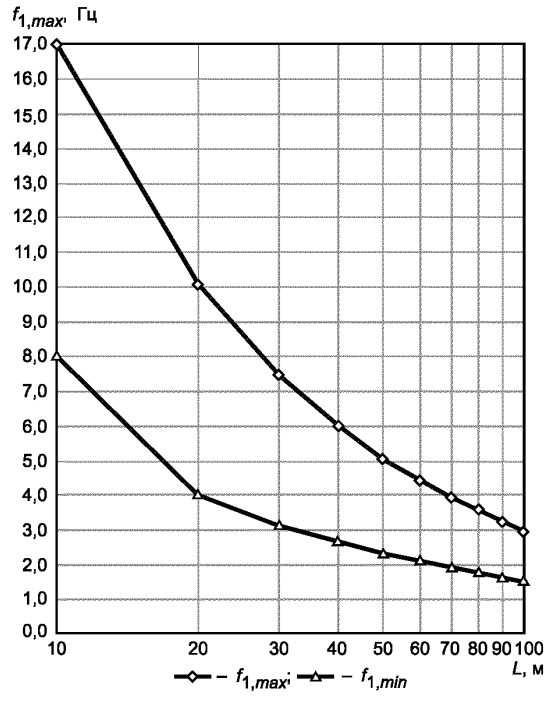
г) для арочных пролетных строений L принимается равной половине пролета арки.

Способ 2

Для пролетных строений любых конструктивных схем — как длина основного участка (с кривизной одного знака) первой вертикальной формы собственных колебаний на линии проезда поезда.

Если расчетные длины, определенные по способам 1 и 2, различаются более чем на 20 %, следует проводить проверки на длину, которая приводит к более пессимистическому результату. При различиях в длинах менее 20 % допускается принимать к расчету их среднее значение.

Таблица В.1 — Ограничения частот колебаний по первой форме

Расчетная длина L, м	Верхний предел $f_{1,max}$, Гц	Нижний предел $f_{1,min}$, Гц	График
10	16,9	8,0	
20	10,1	4,0	
30	7,4	3,1	
40	6,0	2,7	
50	5,1	2,3	
60	4,4	2,1	
70	3,9	1,9	
80	3,6	1,8	
90	3,3	1,6	
110	2,8	1,5	
120	2,6	1,4	
130	2,5	1,3	
140	2,4	1,3	
150	2,2	1,2	
160	2,1	1,2	
170	2,0	1,1	
180	1,9	1,1	
190	1,9	1,1	
200	1,8	1,0	

Приложение Г

Схемы нагрузок высокоскоростных поездов

Г.1 Поезда А1—А10

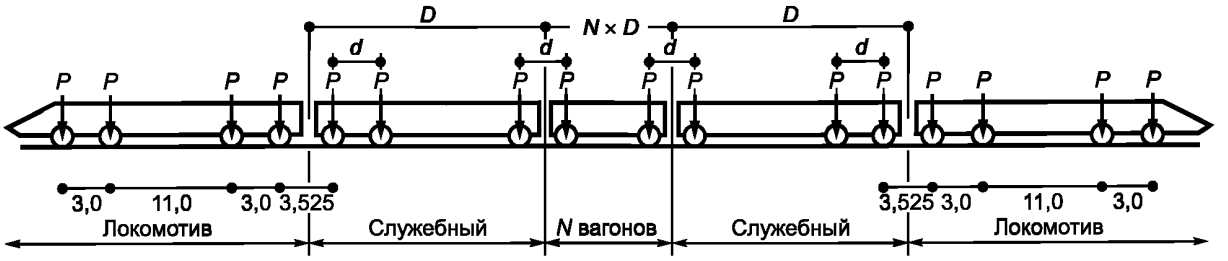


Рисунок Г.1

Таблица Г.1 — Параметры вариантов поезда

Варианты поезда	Промежуточные вагоны			Величина нагрузки на ось P, кН
	Число вагонов[1] N, шт.	Длина вагона D, м	База тележки d, м	
А1	18	18	2	170
А2	17	19	3,5	200
А3	16	20	2	180
А4	15	21	3	190
А5	14	22	2	170
А6	13	23	2	180
А7	13	24	2	190
А8	12	25	2,5	190
А9	11	26	2	210
А10	11	27	2	210
[1] Общее число вагонов на 4 больше (2 локомотива + 2 служебных).				

Г.2 Поезда Б1—Б7

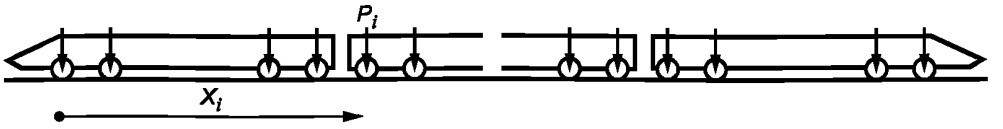


Рисунок Г.2

Таблица Г.2

Б1		Б2		Б3		Б4		Б5		Б6		Б7	
X_i, м	P_i, кН	X_i, м	P_i, кН	X_i, м	P_i, кН	X_i, м	P_i, кН	X_i, м	P_i, кН	X_i, м	P_i, кН	X_i, м	P_i, кН
0	195	0	187	0	170	0	172,1	0	170	0	170	0	170
3	195	3	187	3	170	3	172,1	2,65	170	2,7	170	3	170
11,46	195	12	187	14	170	14	170,7	11	170	17	170	14	170
14,46	195	15	187	17	170	17	170,7	13,65	170	19,7	170	17	170

Продолжение таблицы Г.2

Б1		Б2		Б3		Б4		Б5		Б6		Б7	
X_j, м	P_j, кН	X_j, м	P_j, кН	X_j, м	P_j, кН	X_j, м	P_j, кН	X_j, м	P_j, кН	X_j, м	P_j, кН	X_j, м	P_j, кН
19,31	112	19,4	120	20,275	170	20,28	131,6	19,13	170	23,9	170	20,275	163
21,81	112	22,4	120	23,275	170	23,28	131,6	28,1	170	26,6	170	23,275	163
38,31	112	38,4	120	38,975	170	38,98	161,9	41,24	170	40,9	170	38,975	170
40,81	112	41,4	120	41,975	170	41,98	161,9	54,38	170	43,6	170	41,975	170
45,71	112	45,5	120	57,675	170	57,68	169,2	67,52	170	47,8	170	57,675	170
48,21	112	48,5	120	60,675	170	60,68	169,2	80,66	170	50,5	170	60,675	170
64,71	112	64,5	120	76,375	170	76,38	167,9	93,8	170	64,8	170	76,375	170
67,21	112	67,5	120	79,375	170	79,38	167,9	106,94	170	67,5	170	79,375	170
72,11	112	71,6	120	95,075	170	95,08	160,5	120,08	170	71,7	170	95,075	170
74,61	112	74,6	120	98,075	170	98,08	160,5	133,22	170	74,4	170	98,075	170
91,11	112	90,6	120	113,775	170	113,78	167,9	146,36	170	88,7	170	113,775	170
93,61	112	93,6	120	116,775	170	116,78	167,9	155,33	170	91,4	170	116,775	170
98,51	112	97,7	120	132,475	170	132,48	169,2	160,8	170	95,6	170	132,475	170
101,01	112	100,7	120	135,475	170	135,48	169,2	163,45	170	98,3	170	135,475	170
117,51	112	116,7	120	151,175	170	151,18	161,9	171,8	170	112,6	170	151,175	170
120,01	112	119,7	120	154,175	170	154,18	161,9	174,45	170	115,3	170	154,175	170
124,91	112	123,8	120	169,875	170	169,88	131,6	183,49	170	119,5	170	169,875	163
127,41	112	126,8	120	172,875	170	172,88	131,6	186,14	170	122,2	170	172,875	163
143,91	112	142,8	120	188,575	170	176,16	170,7	194,49	170	136,5	170	176,15	170
146,41	112	145,8	120	191,575	170	179,16	170,7	197,14	170	139,2	170	179,15	170
151,31	112	149,9	120	195,095	170	190,16	172,1	202,62	170	143,4	170	190,15	170
153,81	112	152,9	120	198,095	170	193,16	172,1	211,59	170	146,1	170	193,15	170
170,31	112	168,9	120	213,795	170	200,15	172,1	224,73	170	160,4	170	200,19	170
172,81	112	171,9	120	216,795	170	203,15	172,1	237,87	170	163,1	170	203,19	170
177,71	112	176	120	232,495	170	214,15	170,7	251,01	170	167,3	170	214,19	170
180,21	112	179	120	235,495	170	217,15	170,7	264,15	170	170	170	217,19	170
196,71	112	195	120	251,195	170	220,43	131,6	277,29	170	184,3	170	220,465	163
199,21	112	198	120	254,195	170	223,43	131,6	290,43	170	187	170	223,465	163
204,11	112	202,1	120	269,895	170	239,13	161,9	303,57	170	191,2	170	239,165	170
206,61	112	205,1	120	272,895	170	242,13	161,9	316,71	170	193,9	170	242,165	170
223,11	112	221,1	120	288,595	170	257,83	169,2	329,85	170	208,2	170	257,865	170
225,61	112	224,1	120	291,595	170	260,83	169,2	338,82	170	210,9	170	260,865	170
230,51	112	228,2	120	307,295	170	276,53	167,9	344,29	170	215,1	170	276,565	170
233,01	112	231,2	120	310,295	170	279,53	167,9	346,94	170	217,8	170	279,565	170
249,51	112	247,2	120	325,995	170	295,23	160,5	355,29	170	232,1	170	295,265	170
252,01	112	250,2	120	328,995	170	298,23	160,5	357,94	170	234,8	170	298,265	170
256,91	112	254,3	120	344,695	170	313,93	167,9			239	170	313,965	170
259,41	112	257,3	120	347,695	170	316,93	167,9			241,7	170	316,965	170
275,91	112	273,3	120	363,395	170	332,63	169,2			256	170	332,665	170
278,41	112	276,3	120	366,395	170	335,63	169,2			258,7	170	335,665	170
283,31	112	280,7	187	369,67	170	351,33	161,9					351,365	170
285,81	112	283,7	187	372,67	170	354,33	161,9					354,365	170

Окончание таблицы Г.2

Б1		Б2		Б3		Б4		Б5		Б6		Б7	
X_i, м	P_i, кН	X_i, м	P_i, кН	X_i, м	P_i, кН	X_i, м	P_i, кН	X_i, м	P_i, кН	X_i, м	P_i, кН	X_i, м	P_i, кН
302,31	112	292,7	187	383,67	170	370,03	131,6					370,065	163
304,81	112	295,7	187	386,67	170	373,03	131,6					373,065	163
309,71	112					376,31	170,7					376,34	170
312,21	112					379,31	170,7					379,34	170
328,71	112					390,31	172,1					390,34	170
331,21	112					393,31	172,1					393,34	170
336,06	195												
339,06	195												
347,52	195												
350,52	195												

Г.3 Параметры поездов Б1—Б7

Таблица Г.3

Параметры	Б1	Б2	Б3	Б4	Б5	Б6	Б7
Вагонов, шт.	12	10	18	16	22	9	16
Локомотивов, шт.	2	2	2	4	4	2	4
Осей в вагоне, шт.	4	4	2	2	1	4	2
Длина вагона, м	26,4	26,1	18,7	18,8	13	23,9	18,7
Длина поезда, м	350,52	295,7	386,67	373,03	357,94	258,7	393,34
Вес поезда, кН	6741	6296	8160	8429,2	6800	7480	8784
Осевая нагрузка:							
- максимальная, кН	195	187	170	172,1	170	170	170
- средняя, кН/м	19,23	21,29	21,10	22,60	19,00	28,91	22,33

Г.4 Поезда Б8—Б11

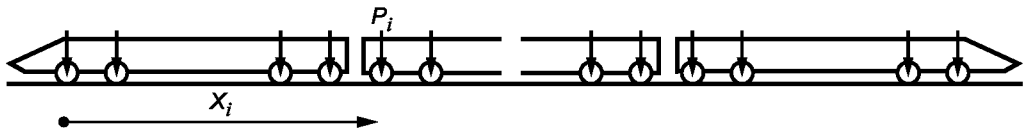


Рисунок Г.3

Таблица Г.4

Б8		Б9		Б10		Б11	
X_i, м	P_i, кН	X_i, м	P_i, кН	X_i, м	P_i, кН	X_i, м	P_i, кН
0	167	0	167	0	167	0	167
2,6	167	2,6	167	2,6	167	2,6	167
17,37	167	17,37	167	17,37	167	17,37	167
19,97	167	19,97	167	19,97	167	19,97	167
24,73	167	24,73	167	24,73	167	24,73	167
27,33	167	27,33	167	27,33	167	27,33	167
42,1	167	42,1	167	42,1	167	42,1	167
44,7	167	44,7	167	44,7	167	44,7	167

Продолжение таблицы Г.4

Б8		Б9		Б10		Б11	
X_j, м	P_j, кН	X_j, м	P_j, кН	X_j, м	P_j, кН	X_j, м	P_j, кН
49,46	144	49,46	167	49,46	144	49,46	167
52,06	144	52,06	167	52,06	144	52,06	167
66,83	144	66,83	167	66,83	144	66,83	167
69,43	144	69,43	167	69,43	144	69,43	167
74,19	167	74,19	167	74,19	167	74,19	167
76,79	167	76,79	167	76,79	167	76,79	167
91,56	167	91,56	167	91,56	167	91,56	167
94,16	167	94,16	167	94,16	167	94,16	167
98,92	157	98,92	157	98,92	157	98,92	157
101,52	157	101,52	157	101,52	157	101,52	157
116,29	157	116,29	157	116,29	157	116,29	157
118,89	157	118,89	157	118,89	157	118,89	157
123,65	157	123,65	157	123,65	157	123,65	157
126,25	157	126,25	157	126,25	157	126,25	157
141,02	157	141,02	157	141,02	157	141,02	157
143,62	157	143,62	157	143,62	157	143,62	157
148,38	167	148,38	167	148,38	167	148,38	167
150,98	167	150,98	167	150,98	167	150,98	167
165,75	167	165,75	167	165,75	167	165,75	167
168,35	167	168,35	167	168,35	167	168,35	167
173,11	144	173,11	167	173,11	144	173,11	167
175,71	144	175,71	167	175,71	144	175,71	167
190,48	144	190,48	167	190,48	144	190,48	167
193,08	144	193,08	167	193,08	144	193,08	167
197,84	167	197,84	167	197,84	167	197,84	167
200,44	167	200,44	167	200,44	167	200,44	167
215,21	167	215,21	167	215,21	167	215,21	167
217,81	167	217,81	167	217,81	167	217,81	167
222,57	167	222,57	167	222,57	167	222,57	167
225,17	167	225,17	167	225,17	167	225,17	167
239,94	167	239,94	167	239,94	167	239,94	167
242,54	167	242,54	167	242,54	167	242,54	167
				250	167	250	167
				252,6	167	252,6	167
				267,37	167	267,37	167
				269,97	167	269,97	167
				274,73	167	274,73	167
				277,33	167	277,33	167
				292,1	167	292,1	167
				294,7	167	294,7	167
				299,46	144	299,46	167
				302,06	144	302,06	167

Окончание таблицы Г.4

Б8		Б9		Б10		Б11	
X_i, м	P_i, кН	X_i, м	P_i, кН	X_i, м	P_i, кН	X_i, м	P_i, кН
				316,83	144	316,83	167
				319,43	144	319,43	167
				324,19	167	324,19	167
				326,79	167	326,79	167
				341,56	167	341,56	167
				344,16	167	344,16	167
				348,92	157	348,92	157
				351,52	157	351,52	157
				366,29	157	366,29	157
				368,89	157	368,89	157
				373,65	157	373,65	157
				376,25	157	376,25	157
				391,02	157	391,02	157
				393,62	157	393,62	157
				398,38	167	398,38	167
				400,98	167	400,98	167
				415,75	167	415,75	167
				418,35	167	418,35	167
				423,11	144	423,11	167
				425,71	144	425,71	167
				440,48	144	440,48	167
				443,08	144	443,08	167
				447,84	167	447,84	167
				450,44	167	450,44	167
				465,21	167	465,21	167
				467,81	167	467,81	167
				472,57	167	472,57	167
				475,17	167	475,17	167
				489,94	167	489,94	167
				492,54	167	492,54	167

Г.5 Параметры поездов Б8—Б11

Таблица Г.5

Параметры	Б8	Б9	Б10	Б11
Вагонов, шт.	10	10	20	20
Локомотивов, шт.	2	2	4	4
Осей в вагоне, шт.	4	4	4	4
Длина вагона, м	24,73	24,73	24,73	24,73
Длина поезда, м	250,0	250,0	500,0	500,0
Вес поезда, кН	6416	6600	12832	13200
Осевая нагрузка: - максимальная, кН - средняя, кН/м	 167 25,66	 167 26,40	 167 25,66	 167 26,40

Приложение Д

Эквивалентные нагрузки высокоскоростных поездов

Д.1 Поезда А1—А10

Таблица Д.1 — Поезда А1—А10, при положении вершины линии влияния $\alpha = 0,5$

Длина участка λ, м	Интенсивность эквивалентной нагрузки v, кН/м пути										
	А1	А2	А3	А4	А5	А6	А7	А8	А9	А10	Огибающая
1	340,00	400,00	360,00	380,00	340,00	360,00	380,00	380,00	420,00	420,00	420,00
2	170,00	200,00	180,00	190,00	170,00	180,00	190,00	190,00	210,00	210,00	210,00
5	81,60	80,00	86,40	76,00	81,60	86,40	91,20	76,00	100,80	100,80	100,80
10	64,43	67,80	68,22	64,41	64,43	68,22	72,01	68,21	79,59	79,59	79,59
20	47,52	52,90	50,31	51,21	47,52	50,31	53,11	52,16	58,70	58,70	58,70
30	36,98	42,18	39,16	40,49	36,98	39,16	41,34	40,91	45,69	45,69	45,69
40	33,23	38,22	34,63	36,08	32,70	34,63	36,55	36,31	40,40	40,40	40,40
50	31,94	36,46	32,67	33,57	29,76	31,16	32,59	32,36	35,94	35,94	36,46
60	29,74	34,21	30,69	31,76	28,22	29,49	30,70	30,17	33,00	32,53	34,21
70	27,64	31,74	28,42	29,54	26,29	27,54	28,76	28,37	31,10	30,76	31,74
80	26,45	30,18	26,66	27,51	24,38	25,59	26,77	26,47	29,06	28,80	30,18
90	25,10	28,79	25,51	26,27	23,08	23,93	24,90	24,67	27,11	26,90	28,79
100	23,78	27,32	24,26	25,08	22,10	22,96	23,78	23,29	25,38	25,15	27,32
110	23,01	26,31	23,03	23,86	21,07	21,95	22,80	22,39	24,36	23,95	26,31

Таблица Д.2 — Поезда А1—А10, при положении вершины линии влияния $\alpha = 0,0$

Длина участка λ, м	Интенсивность эквивалентной нагрузки v, кН/м пути										
	А1	А2	А3	А4	А5	А6	А7	А8	А9	А10	Огибающая
1	340,00	400,00	360,00	380,00	340,00	360,00	380,00	380,00	420,00	420,00	420,00
2	170,00	200,00	180,00	190,00	170,00	180,00	190,00	190,00	210,00	210,00	210,00
5	108,80	112,00	115,20	106,40	108,80	115,20	121,60	114,00	134,40	134,40	134,40
10	81,43	81,90	86,22	79,61	81,43	86,22	91,01	85,31	100,59	100,59	100,59
20	54,76	60,45	57,98	57,90	54,76	57,98	61,20	58,38	67,65	67,65	67,65
30	44,97	49,58	47,62	49,36	44,97	47,62	50,27	49,15	55,56	55,56	55,56
40	38,65	42,85	40,93	41,34	38,65	40,93	43,20	41,22	47,75	47,75	47,75
50	34,41	38,96	35,07	36,24	32,58	34,42	36,34	35,50	40,16	40,16	40,16
60	32,10	36,41	32,79	34,11	30,36	31,94	33,51	32,84	36,57	36,33	36,57
70	30,52	35,30	31,44	32,64	28,86	30,12	31,32	30,49	33,74	33,55	35,30
80	29,30	33,44	29,67	30,65	27,28	28,55	29,78	29,24	32,13	31,73	33,44
90	28,19	32,05	28,51	29,49	25,92	26,77	28,22	27,56	30,57	30,26	32,05
100	27,52	31,38	27,70	28,44	25,28	26,01	27,34	26,52	29,21	28,75	31,38
110	26,74	30,56	26,85	27,90	23,95	25,33	26,37	25,69	28,31	27,89	30,56

Д.2 Поезда Б1—Б7

Таблица Д.3 — Поезда Б1—Б7, при положении вершины линии влияния $\alpha = 0,5$

Длина участка λ, м	Интенсивность эквивалентной нагрузки v, кН/м пути							
	Б1	Б2	Б3	Б4	Б5	Б6	Б7	Огибающая
1	390,00	374,00	340,00	344,20	340,00	340,00	340,00	390,00
2	195,00	187,00	170,00	172,10	170,00	170,00	170,00	195,00
5	78,00	74,80	68,00	68,84	68,00	68,00	68,00	78,00
10	55,27	55,24	59,33	56,85	49,98	55,08	58,85	59,33
20	41,89	41,63	46,67	42,76	37,20	44,54	45,93	46,67
30	38,01	36,43	36,61	33,20	33,91	34,91	35,97	38,01
40	33,93	32,84	32,49	30,54	32,09	29,54	32,06	33,93
50	29,75	28,92	29,78	30,11	31,31	28,70	30,41	31,31
60	26,90	26,49	28,24	30,28	30,95	29,43	30,64	30,95
70	25,23	25,06	26,30	29,96	30,37	29,84	30,68	30,68
80	23,86	23,77	24,66	28,97	29,40	29,22	29,88	29,88
90	22,44	22,41	23,65	28,22	28,58	28,59	29,25	29,25
100	21,17	21,37	22,88	27,63	27,57	28,55	28,74	28,74
110	20,43	20,79	22,28	27,04	26,74	28,81	28,20	28,81

Таблица Д.4 — Поезда Б1—Б7, при положении вершины линии влияния $\alpha = 0,0$

Длина участка λ, м	Интенсивность эквивалентной нагрузки v, кН/м пути							
	Б1	Б2	Б3	Б4	Б5	Б6	Б7	Огибающая
1	390,00	374,00	340,00	344,20	340,00	340,00	340,00	390,00
2	195,00	187,00	170,00	172,10	170,00	170,00	170,00	195,00
5	109,20	104,72	95,20	96,38	97,24	97,92	95,20	109,20
10	71,12	69,82	72,93	69,72	61,78	69,36	72,31	72,93
20	50,19	47,91	52,23	47,66	45,53	51,34	51,38	52,23
30	44,17	42,25	44,54	39,81	39,18	41,44	43,65	44,54
40	37,37	36,36	36,88	37,71	36,58	39,36	39,46	39,46
50	33,75	33,53	32,36	35,39	35,56	35,99	37,65	37,65
60	31,94	31,44	30,58	35,03	34,49	35,36	37,12	37,12
70	29,63	29,48	29,36	33,11	33,00	34,31	35,08	35,08
80	28,17	28,43	27,62	32,00	31,31	33,44	33,93	33,93
90	27,07	27,27	27,11	30,98	30,07	32,94	32,84	32,94
100	26,08	26,42	26,03	30,03	28,94	32,31	31,79	32,31
110	25,45	25,79	25,44	29,43	27,63	32,09	31,12	32,09

Д.3 Поезда Б8—Б11

Таблица Д.5 — Поезда Б8—Б11, при положении вершины линии влияния $\alpha = 0,5$

Длина участка λ, м	Интенсивность эквивалентной нагрузки v, кН/м пути				
	Б8	Б9	Б10	Б11	Огибающая
1	334,00	334,00	334,00	334,00	334,00
2	167,00	167,00	167,00	167,00	167,00
5	66,80	66,80	66,80	66,80	66,80
10	51,04	51,04	51,04	51,04	51,04
20	42,22	42,22	42,22	42,22	42,22
30	33,61	33,61	33,61	33,61	33,61
40	28,36	28,36	28,36	28,36	28,36
50	27,07	27,08	27,07	27,08	27,08
60	27,45	27,75	27,45	27,75	27,75
70	27,21	28,28	27,39	28,28	28,28
80	26,77	27,91	27,09	27,91	27,91
90	26,06	27,27	26,35	27,27	27,27
100	25,84	27,04	25,99	27,04	27,04
110	26,05	27,18	26,05	27,18	27,18

Таблица Д.6 — Поезда Б8—Б11, при положении вершины линии влияния $\alpha = 0,0$

Длина участка λ, м	Интенсивность эквивалентной нагрузки v, кН/м пути				
	Б8	Б9	Б10	Б11	Огибающая
1	334,00	334,00	334,00	334,00	334,00
2	167,00	167,00	167,00	167,00	167,00
5	94,86	94,86	94,86	94,86	94,86
10	66,53	66,53	66,53	66,53	66,53
20	50,03	50,03	50,03	50,03	50,03
30	39,78	39,78	39,78	39,78	39,78
40	37,62	37,77	37,62	37,77	37,77
50	34,64	34,93	34,64	34,93	34,93
60	32,93	33,52	32,93	33,52	33,52
70	32,08	32,89	32,08	32,89	32,89
80	30,65	31,54	30,65	31,54	31,54
90	30,63	31,58	30,63	31,58	31,58
100	29,98	30,93	29,98	30,93	30,93
110	29,63	30,57	29,63	30,57	30,57

Д.4 Огибающая для высокоскоростных поездов

Таблица Д.7 — Огибающая для всех высокоскоростных поездов при $\alpha = 0,5$ и $\alpha = 0,0$ (рисунок Д.1)

Длина участка λ, м	Интенсивность эквивалентной нагрузки $v_{ВСП}$, кН/м пути	
	$\alpha = 0,5$	$\alpha = 0,0$
1	420,00	420,00
2	210,00	210,00
5	100,80	134,40
10	79,59	100,59
20	58,70	67,65
30	45,69	55,56
40	40,40	47,75
50	36,46	40,16
60	34,21	37,12
70	31,74	35,30
80	30,18	33,93
90	29,25	32,94
100	28,74	32,31
110	28,81	32,09

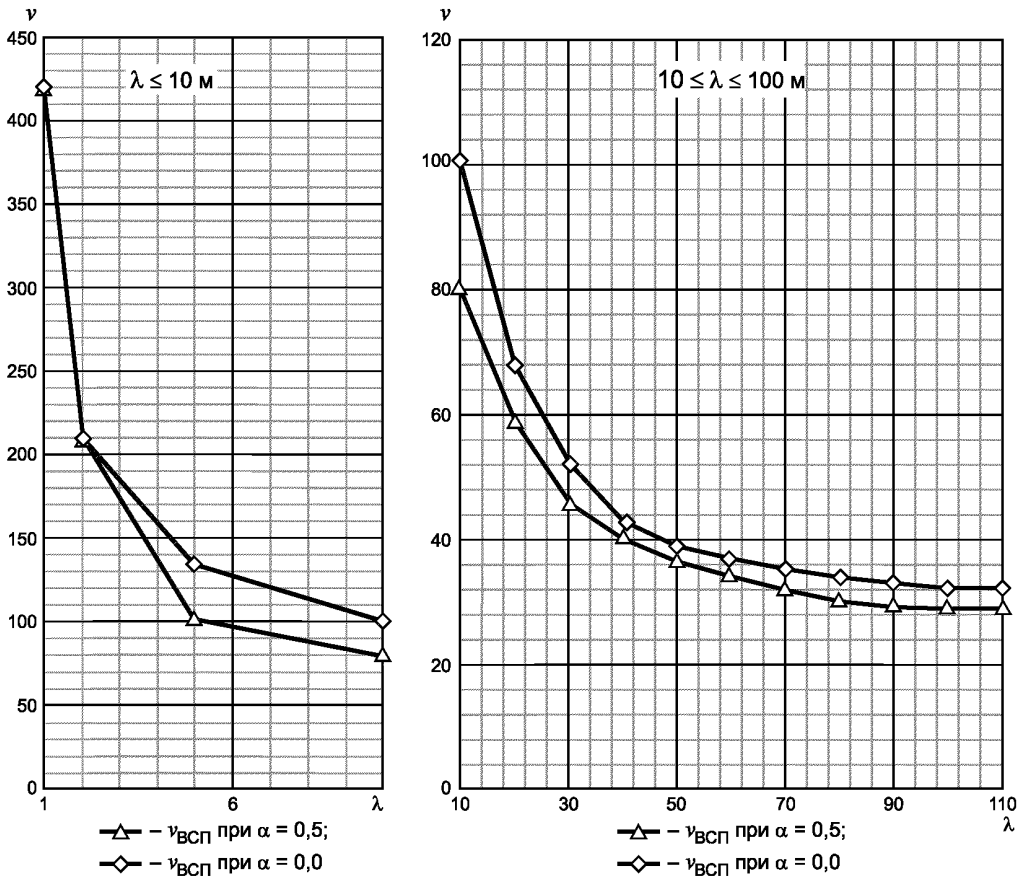


Рисунок Д.1

Приложение Е

Эквивалентные нагрузки СК

Таблица Е.1

Длина участка λ, м	Интенсивность эквивалентной нагрузки v, кН/м пути			
	СК (К = 1)		εС8 (К = 8)[1)]	
	положение вершины линии влияния			
	α = 0	α = 0,5	α = 0	α = 0,5
1	49,03	49,03	392,24	392,24
1,5	39,15	34,25	313,20	274,00
2	30,55	26,73	244,40	213,84
3	24,16	21,14	193,28	169,12
4	21,69	18,99	173,52	151,92
5	20,37	17,82	162,96	142,56
6	19,50	17,06	151,32	132,39
7	18,84	16,48	141,68	123,93
8	18,32	16,02	133,37	116,63
9	17,87	15,63	125,80	110,04
10	17,47	15,28	118,80	103,90
12	16,78	14,68	114,10	99,82
14	16,19	14,16	110,09	96,29
16	15,66	13,71	106,49	93,23
18	15,19	13,30	103,29	90,44
20	14,76	12,92	100,37	87,86
25	13,85	12,12	94,18	82,42
30	13,10	11,46	92,22	80,68
35	12,50	10,94	91,00	79,64
40	12,01	10,51	90,32	79,04
45	11,61	10,16	90,09	78,84
50	11,29	9,88	90,32	79,00
60	10,80	9,81	86,40	78,46
70	10,47	9,81	83,76	78,46
80	10,26	9,81	82,08	78,46
90	10,10	9,81	80,80	78,46
100	10,00	9,81	80,00	78,46
110	9,94	9,81	79,55	78,46

Окончание таблицы Е.1

Длина участка λ, м	Интенсивность эквивалентной нагрузки v, кН/м пути			
	СК (К = 1)		εС8 (К = 8)[1)]	
	положение вершины линии влияния			
	α = 0	α = 0,5	α = 0	α = 0,5
120	9,90	9,81	79,16	78,46
130	9,87	9,81	78,92	78,46
140	9,85	9,81	78,77	78,46
150 и более	9,81	9,81	78,46	78,46

[1)] Нагрузка СК с учетом понижающего коэффициента ε, учитывающего отсутствие перспективных вагонов и тяжелых транспортеров.

Примечания

1 Эквивалентные нагрузки СК, кН/м пути, при значениях параметров $1,5 \le \lambda \le 50$ м (α = 0 и α = 0,5) и $\lambda > 50$ м (α = 0) получены по формуле

$$v = \left(9,807 + \frac{10,787}{e^{0,04\lambda}} + \frac{43,149}{\lambda^2}\right)\left(1 - \frac{a}{4}\right)K,$$

где e — основание натурального логарифма.

2 Для промежуточных значений длин загружения λ и промежуточных положений вершин линий влияния $\alpha = a/\lambda \le 0,5$ величину нагрузки v следует определять по интерполяции.

3 Для определения массы поезда на мосту используют эквивалентную нагрузку для α = 0,5.

Приложение Ж

Определение коэффициентов динамики

Ж.1 При расчетах искусственных сооружений на сочетания с высокоскоростной нагрузкой коэффициент динамики к вертикальной статической нагрузке от подвижного состава представляется в виде:

$$1 + \mu = 1 + \mu_1 + \mu_2, \qquad (Ж.1)$$

где μ_1 — отражает динамическое взаимодействие поезд — пролетное строение;

μ_2 — учитывает динамические явления, вызванные дефектами пути и колес.

Коэффициент динамики следует определять при загружении поездом только одного пути. В случаях, когда вертикальная железнодорожная нагрузка учитывается с двух путей, следует применять коэффициенты s_1 (таблица 6.25).

Ж.2 В зависимости от рассчитываемого элемента конструкции и типа расчета коэффициенты динамики к вертикальным нагрузкам от высокоскоростных поездов и число загружаемых путей следует принимать согласно таблице Ж.1.

Таблица Ж.1 — Коэффициенты динамики и число загружаемых путей при учете вертикальных нагрузок от высокоскоростных поездов

Тип конструкции	Предельное состояние первой группы		Предельные состояния второй группы
	Прочность и устойчивость положения	Выносливость	
Коэффициенты динамики			
Пролетные строения, опорные части, оголовки опор[1)]	$1 + \mu = 1 + \mu_1 + \mu_2 \geq 1{,}2$	$1 + \mu = 1 + 1/2\mu_1 + \mu_2 \geq 1{,}125$	Таблица 6.6
Опоры[1), 2)]	$1 + \mu = 1 + 1/2\ \mu_1 \geq 1{,}075$	$1 + \mu = 1{,}0$	
Основания и фундаменты	$1 + \mu = 1{,}0$		
Звенья труб[3)]			
Число загружаемых путей (учитывается коэффициентом s_1)			
Все типы конструкций	2	1	Таблица 6.6

[1)] По методикам А.1, А.2, Б.1, Б.2 в соответствии с критериями таблицы 6.4 (см. 6.3.10).

[2)] Для сквозных, тонкостенных и стоечных опор применяют методики А.2, Б.1, Б.2 (см. 6.3.10).

[3)] Приведено для случаев, перечисленных в 5.2.5, как не требующих учета динамики.

При расчетах на аварийные, особые и строительные сочетания коэффициенты динамики не учитывают.

«Разгружающая» динамика

Ж.3 В случаях, когда необходимо учитывать минимальное значение (или значение противоположного знака) действующего фактора (например, при вычислении минимальных моментов в предварительно напряженных железобетонных пролетных строениях, при расчете выносливости), следует рассматривать ситуации, когда динамические эффекты носят «разгружающий» характер[1)]. Значение действующего фактора принимают равным минимальному значению из двух расчетных случаев: при проходе поезда и после него (см. рисунок Ж.1). При этом слагаемое μ_2 учитывают только в первом случае.

[1)] При расчетах по методике А.1 оценить «разгружающий» характер динамики поезда по Ж.3 невозможно (подробнее см. в разделе 6).

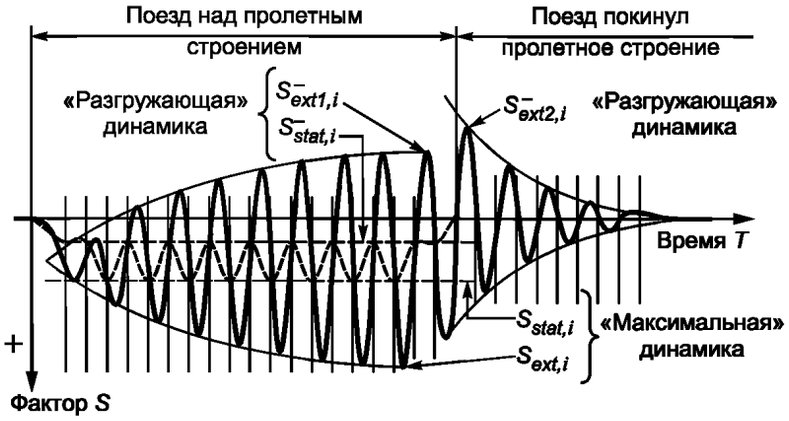


Рисунок Ж.1 — Условный график изменения прогиба или изгибающего момента при проходе *i*-го поезда по балочному пролетному строению

Расчеты по методике А.1

Ж.4 В случае выполнения динамического анализа по методике А.1 (см. 6.3.10) для всех сечений[1)] пролетного строения учет динамических эффектов, вызванных воздействием поезда на конструкцию, следует учитывать умножением результатов статического расчета на коэффициент динамики μ_1 (совместно с μ_2 — см. ниже), который определяется по формуле (Ж.2) как максимальное из значений, вычисленных для каждого расчетного поезда (см. приложение Г), указанного в задании на проектирование:

$$S_{din} = \left(1+\mu_1+\mu_2\right)\cdot S_{stat},$$

$$\mu_1 = \frac{\max_{i=1}^{n}\delta_{ext,i}}{\max_{i=1}^{n}\delta_{stat,i}} - 1 \geq 0{,}15; \quad \mu_2 \geq 0{,}05 \text{ (по указаниям Ж.7)}, \qquad (Ж.2)$$

где $\delta_{ext,i}$ — максимальный динамический отклик (прогиб) при прохождении *i*-го поезда во всем диапазоне скоростей;

$\delta_{stat,i}$ — максимальный статический прогиб при прохождении *i*-го поезда.

При этом допускается заменять в формуле (Ж.2) $\delta_{stat,i}$ на экстремальное значение статического прогиба при загружении группой поездов (в том числе эквивалентными нагрузками по таблицам приложения Д).

Расчеты по методикам А.2, Б.1 и Б.2

Ж.5 При расчетах по методикам А.2, Б.1 и Б.2 (см. 6.3.10) в зависимости от случая положения поезда относительно сооружения (см. Ж.3) следует учитывать динамические эффекты от вертикальных нагрузок высокоскоростных поездов в соответствии с таблицей Ж.2.

Ж.6 При расчетах по методикам А.2, Б.1 и Б.2 (см. 6.3.10) для каждого сечения и фактора напряженно-деформированного состояния следует учитывать динамические эффекты через пиковые значения соответствующих факторов (частично или полностью). В этом случае при использовании методик А и Б.1 (см. 6.3.10) первое слагаемое, а при Б.2 (см. 6.3.10) — оба слагаемых коэффициента динамики [см. формулу (Ж.1)] могут быть вычислены как частное деления экстремального значения фактора, полученного при динамическом расчете, на значение из статического расчета.

Значения статических составляющих $S_{stat,l,k}$ и $S_{stat,l1,k1}$ в формулах для коэффициентов динамики таблицы Ж.2, а также значения динамических и статических факторов, соответствующих[2)] искомому экстремальному фактору, следует определять для того же случая массы и жесткости и того же поезда *i*[3)], при которых наблюдается экстремальная динамика S_{max} или S^-_{min1} (для статически определимых схем — не зависит от случая масс и жесткостей).

---

1) Область применения методики А.1 ограничивается вычислениями прогибов и изгибающих моментов в разрезных балках (подробнее см. в разделе 6).

2) Например, статические и динамические значения продольных и поперечных сил в сечении при поиске экстремального момента.

3) При поиске соответствующих динамических факторов — также положения *i*-го поезда и соответствующей скорости *v*.

Таблица Ж.2 — Учет динамических эффектов при вычислении фактора напряженно-деформированного состояния в сечении элемента от вертикальных нагрузок высокоскоростных поездов

Методики расчета	Случай 1. Динамика при проходе поезда по сооружению		Случай 2. Колебания после прохода поезда
	«Максимальная» динамика[1)]	«Разгружающая» динамика[2)]	
Значения действующего фактора от ВСП с учетом динамики S_{din}:			
1) В случаях, когда динамический эффект учитывается полностью:			
А.2, Б	$S_{din} = (1+\mu_1+\mu_2)\cdot S_{stat,l,k}$	$S^{-}_{din1} = (1+\mu_1+\mu_2)\cdot S_{stat,l1,k1}$	$S^{-}_{din2} = \min\limits_{s=1}^{4}\min\limits_{i=1}^{n}\min\limits_{v=1}^{vm}\min\limits_{p=plv}^{pm}\left[S_{ext,s,i,v,p}\right]$
2) В случаях, когда требуется учесть долю динамического эффекта, например $1/2\mu_1$:			
А.2, Б	$S_{din} = (1+1/2\mu_1+\mu_2)\cdot S_{stat,l,k}$ [7)]	$S^{-}_{din1} = (1+1/2\mu_1+\mu_2)\cdot S_{stat,l1,k1}$ [7)]	$S^{-}_{din2} = \frac{1}{2}\min\limits_{s=1}^{4}\min\limits_{i=1}^{n}\min\limits_{v=1}^{vm}\min\limits_{p=plv}^{pm}\left[S_{ext,s,i,v,p}\right]$
Коэффициенты динамики μ_1 и μ_2:			
А.2, Б	$S_{max} = \max\limits_{s=1}^{4}\max\limits_{i=1}^{n}\max\limits_{v=1}^{vm}\max\limits_{p=1}^{plv}\left[S_{ext,s,i,v,p}\right]$ [4)]	$S^{-}_{min1} = \min\limits_{s=1}^{4}\min\limits_{i=1}^{n}\min\limits_{v=1}^{vm}\min\limits_{p=1}^{plv}\left[S_{ext,s,i,v,p}\right]$ [4)]	μ_1 и μ_2 не применяются
А.2, Б.1	$\mu_1 = \frac{S_{max}}{S_{stat,l,k}} - 1 \geq 0{,}15$ $\mu_2 \geq 0{,}05$ (по Ж.7)	$\mu_1 = \frac{S^{-}_{min1}}{S_{stat,l1,k1}} - 1 \geq 0{,}15$ [5)] $\mu_2 \geq 0{,}05$ (по Ж.7) [6)]	
Б.2[3)]	$\mu_1+\mu_2 = \frac{S_{max}}{S_{stat,l,k}} - 1 \geq 0{,}20$	$\mu_1+\mu_2 = \frac{S^{-}_{min1}}{S_{stat,l1,k1}} - 1 \geq 0{,}20$ [5)]	

[1)] Экстремальное (максимальное или минимальное) значение в элементе или сечении конструкции (в формулах «*max*» соответствует положительному значению).

[2)] Значение фактора, имеющее знак, противоположный знаку экстремального значения («*min*» — для отрицательного значения).

[3)] Также в случаях, когда μ_2 не учитывают.

[4)] При поиске экстремального значения необходимо определить: случай массы и жесткости l и поезд k, при которых получен этот экстремум (l_1, k_1 — для «разгружения»).

[5)] Минимальное значение приведено для коэффициентов динамики, имеющих положительный знак, для отрицательных – ≤ –1,15 или –≤ –1,20.

[6)] Знак μ_2 принимается таким же, как знак μ_1.

[7)] При расчетах по методике Б.2 (см. 6.3.10) при $\mu_1 + \mu_2 > 0$ принимают $(1 + 1/2(\mu_1 + \mu_2 - 0{,}05) + 0{,}05)$, при $\mu_1 + \mu_2 < 0$ – $(1 + 1/2(\mu_1 + \mu_2 + 0{,}05) - 0{,}05)$.

Примечание — В настоящей таблице применены следующие обозначения:

$S_{ext,s,i,v,p}$ — полученные в результате динамического расчета экстремальные значения (максимальные или минимальные) от: *s* — случая массы и жесткости, *i*-го поезда, *v*-й скорости, при *p*-м положении поезда на сооружении;

$S_{stat,l,k}$, $S_{stat,l1,k1}$ — максимальные и минимальные значения силового фактора в элементе при проезде *k*-го поезда по сооружению на малой скорости (статические значения) для случая массы и жесткости l (l_1, k_1 — для «разгружения»), при котором получено экстремальное значение коэффициента динамики μ_1 или $\mu_1 + \mu_2$;

s, 4 — вариант расчетного случая максимальных и минимальных масс и жесткостей (всего 4);

i, *n* — вариант высокоскоростного поезда и число рассматриваемых поездов;

v, *vm* — вариант скорости высокоскоростного поезда и число рассматриваемых скоростей;

p, *plv*, *pm* — вариант положения высокоскоростного поезда, число положений на сооружении и максимальное число положений.

В практических расчетах в случаях, когда определение коэффициента μ_1 не требуется[1)], допускается использовать альтернативную форму записи формул для действующего фактора от ВСП с учетом динамики S_{din}, S_{din1}, S^{-}_{din}, S^{-}_{din1}:

$$S_{din} = (1+\mu_2)S_{stat,l,k} + (S_{max} - S_{stat,l,k}); \qquad S^{-}_{din1} = (1+\mu_2)S_{stat,l1,k1} + (S^{-}_{min1} - S_{stat,l1,k1});$$

$$S_{din} = (1+\mu_2)S_{stat,l,k} + 1/2(S_{max} - S_{stat,l,k}); \qquad S^{-}_{din1} = (1+\mu_2)S_{stat,l1,k1} + 1/2(S^{-}_{min1} - S_{stat,l1,k1}).$$

В случаях, когда вычисления значений соответствующих факторов в сечении не требуются (например, при поиске экстремальных значений моментов и поперечных сил в разрезных балках), допускается в формулах для коэффициентов динамики таблицы Ж.2 заменять $S_{stat,l,k}$ и $S_{stat,l1,k1}$ на $S_{stat,\max}$ и $S_{stat,min1}$, вычисленные как экстремальные для сечения от всех поездов:

$$S_{stat,max} = \max_{i=1}^{n} {}^{plv}_{p=1}\left[S_{stat,i,p}\right]; \qquad S_{stat,min1} = \min_{i=1}^{n} {}^{plv}_{p=1}\left[S_{stat,i,p}\right].$$

Ж.7 При выполнении расчетов по методикам А.1, А.2 и Б.1 (см. 6.3.10) второе слагаемое коэффициента динамики μ_2 следует вычислять по формуле

$$\mu_2 = \frac{a}{100}\cdot\left(56\cdot e^{-\left(\frac{L}{10}\right)^2} + 50\cdot\left(\frac{L\cdot f_1}{80} - 1\right)\cdot e^{-\left(\frac{L}{20}\right)^2}\right) \geq 0{,}05, \qquad (Ж.3)$$

где a — скоростной коэффициент, принимаемый равным:
$a = V/22$ — при $V < 22$ м/с,
$a = 1{,}0$ — при $V > 22$ м/с;

V — расчетная скорость, м/с (см. 6.3.5);

L — расчетная длина пролетного строения, м, согласно приложению В;

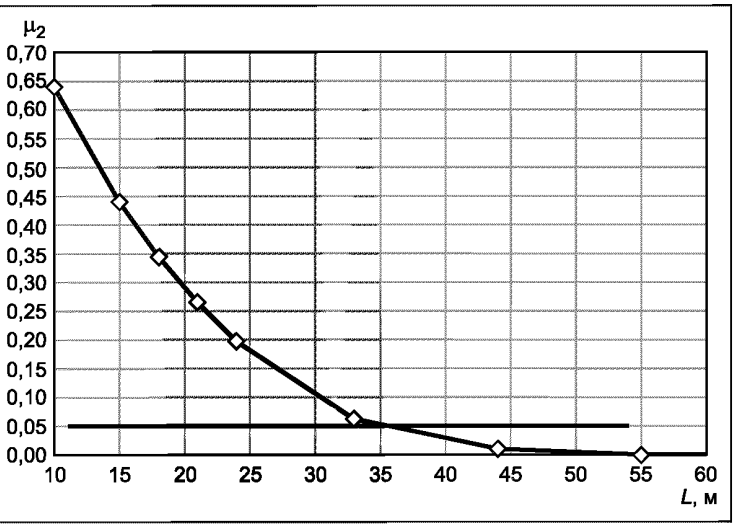
e — основание натурального логарифма;

f_1 — частота колебаний пролетного строения, Гц, по первой форме (для балочных разрезных пролетных строений — по формулам (Б.2) и (Б.3) приложения Б).

Ж.8 Пределом применимости формулы (Ж.3) для вычисления μ_2 является верхний предел частоты f_1. Если ограничение по частоте f_1 не выполняется, то для обоснования конструктивных решений должен быть выполнен динамический расчет по методике Б.2 (см. 6.3.10) с учетом дефектов пути и колес (таблица Ж.3).

Таблица Ж.3 — Значение коэффициента μ_2 при расчетной скорости 420 км/ч (на 20 % выше 350 км/ч)

Длина пролета L, м	Верхний предел частоты $f_{1,max}$, Гц	Коэффициент динамики μ_2, Гц
10	16,9	0,641
15	12,5	0,442
18	10,9	0,345
21	9,7	0,264
24	8,8	0,196
33	6,9	0,061
44	5,6	0,050
≥ 55	4,7	0,050



[1)] Или $S_{stat,l,k}$ может принимать нулевые значения.

Коэффициенты динамики от нагрузки СК

Ж.9 При выполнении расчетов на нагрузки поездов обычных скоростей движения (СК) динамические воздействия поездов учитываются коэффициентом динамики 1 + μ в соответствии с положениями СП 35.13330.

Ж.10 При выполнении расчетов на нагрузки СК коэффициенты динамики следует принимать согласно таблице Ж.4.

Таблица Ж.4 — Коэффициенты динамики для нагрузок СК

Тип конструкции			Значение коэффициента динамики
Пролетные строения	Стальные и сталежелезобетонные	Неразрезные фермы	$1+\mu = 1+\frac{14}{30+\lambda} \geq 1{,}15$
		Все другие	$1+\mu = 1+\frac{18}{30+\lambda} \geq 1{,}15$
	Железобетонные	Арки сквозные	$1+\mu = 1+\frac{14}{100+\lambda}\left(1+\frac{0{,}4\cdot l}{f}\right) \geq 1{,}15$ [3]
		Все другие	$1+\mu = 1+\frac{18}{20+\lambda} \geq 1{,}15$
Опоры[1]			1+μ = 1,0
Основания, фундаменты всех типов			
Звенья труб[2]			

[1] Кроме сквозных, тонкостенных и стоечных опор.
[2] При засыпке над трубой > 1,5 м.
[3] Здесь f — стрелка арки; l — пролет.

При определении λ (длины загружения элемента) в формулах таблицы Ж.4 следует учитывать длину той части линии влияния, которая определяет участие элемента в общей работе.

В сложных случаях длину загружения допускается определять как условную длину основного участка линии влияния (рисунок Ж.2). В этом случае λ принимается как длина основания треугольника с площадью, равной площади участка, и высотой, равной максимальной ординате этого участка, по формуле

$$\lambda = 2A/y, \qquad (Ж.4)$$

где A — площадь участка;

y — ордината вершины участка.

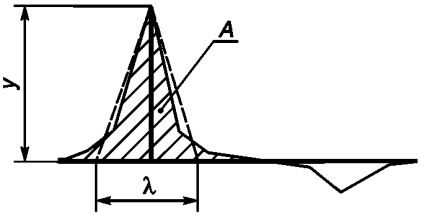


Рисунок Ж.2 — Длина загружения для определения коэффициента динамики

Коэффициенты динамики в других случаях

Ж.11 Коэффициент динамики к временным горизонтальным нагрузкам и давлению грунта на опоры от подвижного состава ВСП и СК принимают равным:

$$1 + \mu = 1{,}0.$$

Ж.12 Коэффициент динамики к нагрузкам на служебных проходах принимают равным:

$$1 + \mu = 1{,}0.$$

Приложение И

Дополнительное демпфирование для пролетных строений длиной до 30 м

Для балочных разрезных пролетных строений длиной менее 30 м полное расчетное демпфирование, %, подлежащее учету, определяется как сумма:

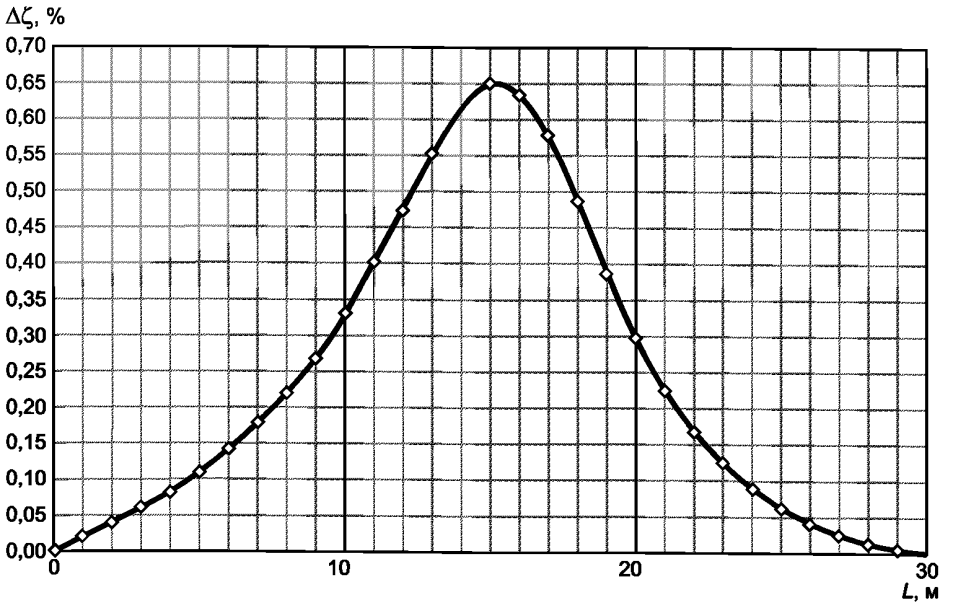
$$\zeta_{30} = \zeta + \Delta\zeta, \qquad (И.1)$$

где ζ — нижнее предельное значение коэффициента демпфирования, %, согласно 6.3.7;

$\Delta\zeta$ — дополнительное демпфирование, % (рисунок И.1), определяемое по формуле

$$\Delta\zeta = \frac{0{,}0187 \cdot L - 0{,}00064 \cdot L^2}{1 - 0{,}0441 \cdot L - 0{,}0044 \cdot L^2 + 0{,}000255 \cdot L^3}. \qquad (И.2)$$

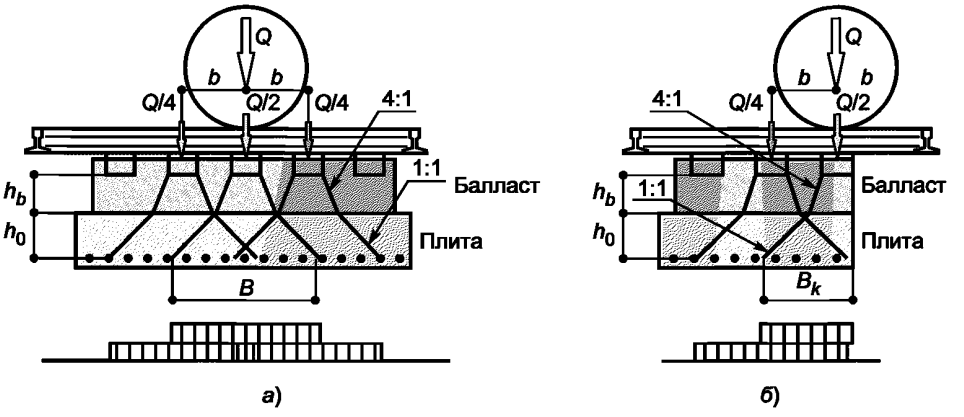
Таблица И.1 — Дополнительное демпфирование $\Delta\zeta$, %, как функция длины пролета L, м

L, м	$\Delta\zeta$, %	График
0	0,000	
2	0,039	
4	0,084	
6	0,141	
8	0,219	
10	0,329	
12	0,476	
14	0,620	
16	0,637	
18	0,483	
20	0,296	
22	0,165	
24	0,086	
26	0,039	
28	0,011	
30	0,000	

Приложение К

Распределение нагрузок при расчетах плит проезда

К.1 При расчетах местных воздействий от осей железнодорожной нагрузки следует считать, что давление от оси распределяется на три шпалы. При этом на среднюю шпалу (под осью) приходится 1/2 часть давления, а на две соседние — по 1/4 части. Распределение давления в балласте происходит под углом 4:1 (см. рисунок К.1), для безбалластного мостового полотна — 1:1.



Q — сила давления от оси поезда; h_b — толщина балласта под шпалой

Рисунок К.1 — Распределение давления от одиночной оси вдоль пути, в пролете (*а*) и на конце пролета (*б*)

К.2 Расчетную силу давления от оси следует принимать:

- для нагрузок от ВСП:

$$Q = \gamma_f(1 + \mu_1 + \mu_2)Q_n, \quad (К.1)$$

где $Q_n = 210$ — нормативное давление на ось, кН;

$\gamma_f = 1,2$ — коэффициент надежности по нагрузке;

μ_1 — коэффициент из динамического расчета (формула (Ж.2) приложения Ж);

$\mu_2 = 0,7$ — коэффициент, учитывающий неровности пути;

- для нагрузок СК:

$$Q = \gamma_f(1 + \mu)Q_n, \quad (К.2)$$

где $Q_n = 24,5$ — нормативное давление на ось, кН (196 кН — для нагрузки С8);

$\gamma_f = 1,2$ — коэффициент надежности по нагрузке;

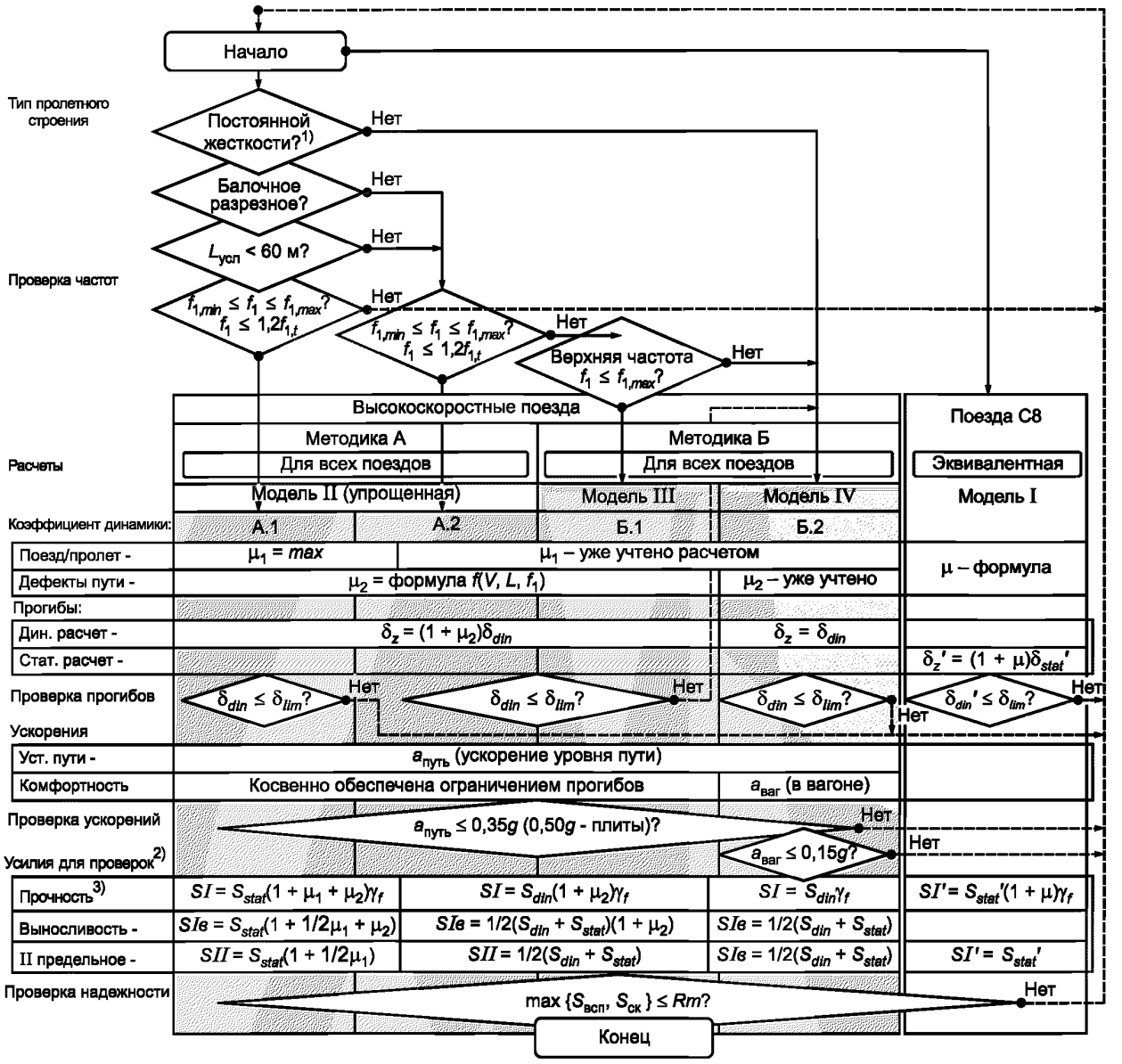
$1+ \mu = 1,5$ — коэффициент динамики.

Приложение Л

Последовательность расчета пролетного строения

При расчетном обосновании надежности пролетного строения необходимо выполнить расчеты на случай проезда высокоскоростного поезда (ВСП) и поезда с эквивалентной нагрузкой СК.

Возможны две методики А и Б (см. 6.3.10) динамического расчета случая ВСП, а также два варианта расчета по каждой из методик А и Б (см. рисунок Л.1).



1) Отсутствие элементов проезжей части, местная работа которых может вносить существенный вклад в картину динамического взаимодействия поезда и конструкции пролетного строения (см. 6.3.10, примечание 1).

2) При загружении двух путей следует учитывать коэффициент s_1 таблицы 6.25.

3) Коэффициент надежности по ответственности γ_n применяется только при проверках прочности и только при основных сочетаниях нагрузок (см. таблицу 6.26).

Рисунок Л.1 — Последовательность расчета пролетного строения

Приложение М

Аэродинамические воздействия от высокоскоростных поездов

М.1 Общие положения

М.1.1 При расчете конструкций, расположенных вблизи железнодорожных путей, следует учитывать аэродинамические воздействия от прохождения высокоскоростных поездов.

М.1.2 Аэродинамические воздействия от высокоскоростного поезда на конструкции, расположенные в непосредственной близости от железнодорожного пути, можно представить в виде бегущей волны с переменным положительным и отрицательным давлением, сосредоточенной вблизи головы и хвоста поезда (см. рисунки М.1—М.4). Интенсивность воздействия зависит:

- от квадрата скорости поезда;
- от аэродинамической формы поезда;
- от формы конструкции;
- от расстояния между поездом и конструкцией и ее расположения относительно поезда.

М.1.3 Эти воздействия могут быть заменены эквивалентными нагрузками, которые следует использовать при расчетах указанных конструкций по первой и второй группам предельных состояний. Нормативные значения эквивалентных нагрузок приведены в М.2—М.6.

М.1.4 Расчетную скорость V, км/ч, следует принимать равной максимальной скорости движения высокоскоростных поездов на данном участке (см. 6.3.5).

М.1.5 В начале и конце конструкции, на участках длиной 5 м (считая вдоль оси пути) эквивалентные нагрузки, описанные в М.2—М.6, должны быть умножены на повышающий коэффициент динамики 2,0.

Примечание — Для динамически чувствительных конструкций или их элементов могут потребоваться специальные исследования для обоснования динамических составляющих интенсивностей вышеуказанных воздействий. При исследованиях необходимо учитывать динамические характеристики конструкции, включая условия опирания, граничные условия, скорость движения поезда и соответствующие аэродинамические воздействия, а также динамическую реакцию конструкции, включая скорость волны деформаций, возникающей в конструкции.

М.2 Вертикальные поверхности, параллельные рельсовым путям

К вертикальным поверхностям, расположенным параллельно рельсовым путям, относятся, например, шумозащитные экраны.

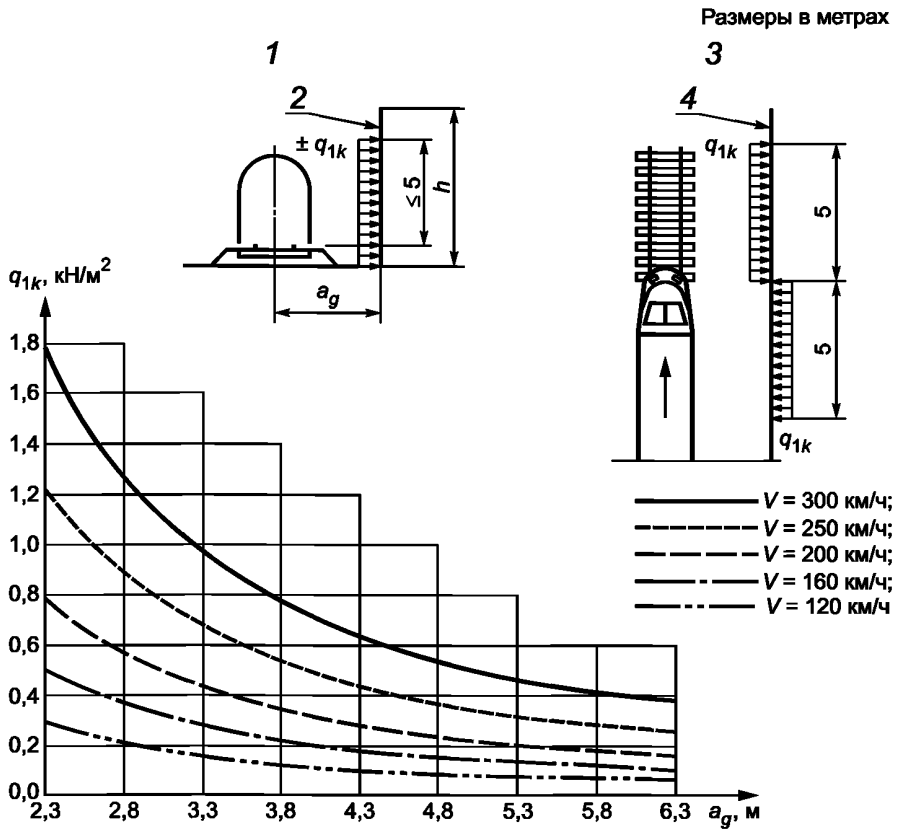
М.2.1 Нормативные значения воздействий $\pm q_{1k}$ приведены на рисунке М.1.

М.2.2 Данные нормативные значения относятся к поездам с неблагоприятной аэродинамической формой. Для других поездов значения могут быть умножены на понижающий коэффициент k_1, принимаемый равным:

0,85 — для подвижного состава с гладкими сторонами;

0,6 — для подвижного состава обтекаемой аэродинамической формы.

М.2.3 Если рассматривается небольшая часть конструкции высотой ≤ 1,0 м и длиной ≤ 2,5 м (например, элемент шумозащитного экрана), воздействия q_{1k} должны быть умножены на повышающий коэффициент k_2 = 1,3.



1 — сечение; *2* — поверхность конструкции; *3* — вид сверху;
4 — поверхность конструкции

Рисунок М.1 — Нормативные значения воздействий q_{1k} для вертикальных поверхностей, параллельных рельсовому пути

М.3 Горизонтальные поверхности над рельсовыми путями

К горизонтальным поверхностям над рельсовыми путями относятся, например, верхние защитные конструкции.

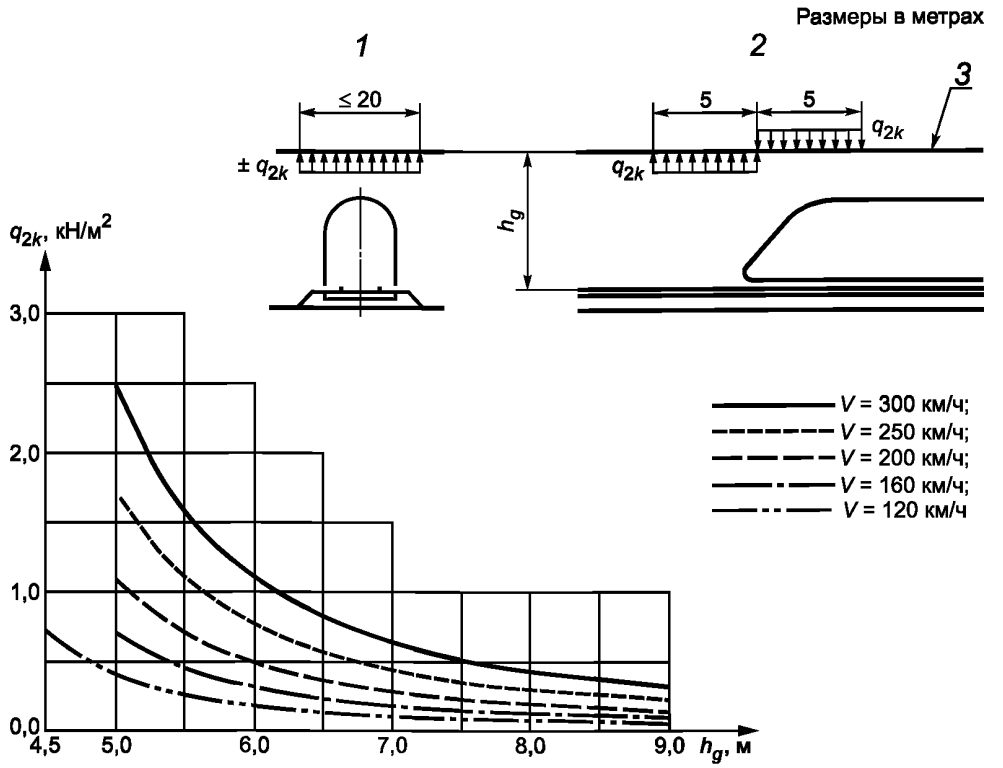
М.3.1 Нормативные значения воздействий $\pm q_{2k}$ приведены на рисунке М.2.

М.3.2 Расчетная ширина загружения исследуемого конструктивного элемента составляет до 10 м в любую сторону от оси пути.

М.3.3 Воздействия на конструкцию от поездов, проходящих по соседним путям в противоположных направлениях, суммируются. Нагрузки следует учитывать только с двух путей.

М.3.4 К воздействиям q_{2k} применяют понижающий коэффициент k_1, как в М.2.

М.3.5 Воздействия на крайние участки широкой конструкции, пересекающей путь, на ширине ≤ 1,5 м от края могут быть умножены на коэффициент 0,75.



1 — сечение; *2* — вертикальная проекция; *3* — обратная сторона конструкции

Рисунок М.2 — Нормативные значения воздействий q_{2k} для горизонтальных поверхностей выше рельсовых путей

М.4 Горизонтальные поверхности, примыкающие к рельсовым путям

К горизонтальным поверхностям, примыкающим к рельсовым путям, относятся навесы платформы без вертикальных стен и подобные конструкции.

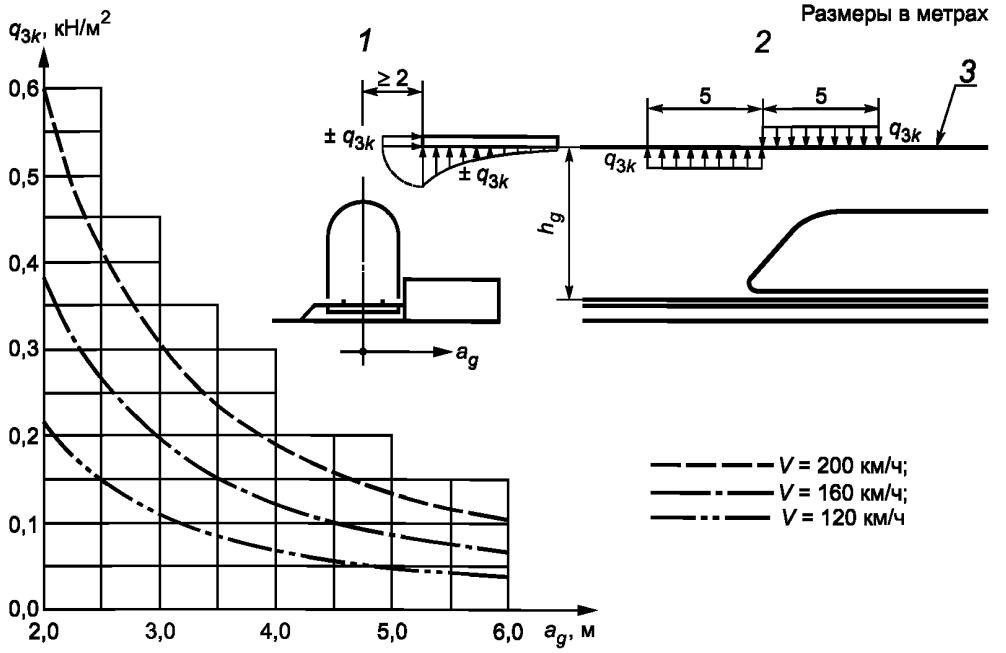
М.4.1 Нормативные значения воздействий $\pm q_{3k}$ приведены на рисунке М.3 и применяются независимо от аэродинамической формы поезда.

М.4.2 Для каждого положения вдоль подлежащей расчету конструкции величина q_{3k} зависит от расстояния a_g до ближайшего рельсового пути. В случае, если рельсовые пути расположены с обеих сторон рассматриваемого элемента конструкции, воздействия должны складываться.

М.4.3 Если расстояние h_g от уровня головки рельса до низа конструкции превышает 3,8 м, то воздействие q_{3k} может быть умножено на понижающий коэффициент k_3 по формуле

$$k_3 = \frac{(7{,}5 - h_g)}{3{,}7} \quad \text{для } 3{,}8 < h_g < 7{,}5, \tag{М.1}$$

$$k_3 = 0 \text{ для } h_g \geq 7{,}5 \text{ м}. \tag{М.2}$$



1 — сечение; *2* — вертикальная проекция; *3* — обратная сторона конструкции

Рисунок М.3 — Нормативные значения воздействий q_{3k} для горизонтальных поверхностей, примыкающих к рельсовым путям

М.5 Конструкции из нескольких поверхностей (вертикальных, горизонтальных или наклонных), расположенные вдоль рельсовых путей

К конструкциям из нескольких поверхностей (вертикальных, горизонтальных или наклонных), расположенных вдоль рельсовых путей, относятся, например, наклонные шумозащитные барьеры, навесы платформы с вертикальными стенами и т. д.

М.5.1 Нормативные значения воздействий $\pm q_{4k}$, приведенные на рисунке М.4, должны быть приложены по нормали к рассматриваемым поверхностям. Эти воздействия должны быть получены из графиков на рисунке М.1, причем расстояние от пути должно быть принято меньшим из значений:

$$a'_g = 0{,}6 \min a_g + 0{,}4 \max a_g \text{ или } a'_g = 6 \text{ м}, \qquad (М.3)$$

где $\min a_g$, $\max a_g$ — расстояния, показанные на рисунке М.4.

М.5.2 Если $\max a_g > 6$ м, то принимают значение $\max a_g = 6$ м.

М.5.3 К воздействиям $\pm q_{4k}$ применяются коэффициенты k_1 и k_2, определенные в М.2.

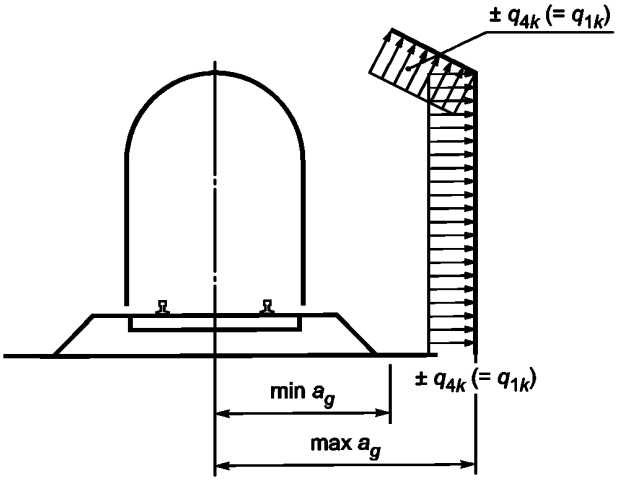


Рисунок М.4 — Определение расстояний $\min a_g$ и $\max a_g$ от осевой линии рельсового пути

М.6 Поверхности ограниченной длины (до 20 м)

К поверхностям ограниченной длины (до 20 м), ограждающим сверху габарит приближения строений (горизонтальная поверхность над путями и хотя бы одна вертикальная стена) относятся, например, подмости, временные сооружения.

М.6.1 Воздействия должны быть приложены независимо от аэродинамической формы поезда:

- к вертикальным поверхностям (по всей высоте):

$$\pm k_4 q_{1k}, \qquad (М.4)$$

где q_{1k} — определяется согласно М.2;

$k_4 = 2$;

- к горизонтальным поверхностям:

$$\pm k_5 q_{2k}, \qquad (М.5)$$

где q_{2k} — определяется согласно М.3 только для одного рельсового пути;

$k_5 = 2,5$ — если поверхность накрывает один рельсовый путь;

$k_5 = 3,5$ — если поверхность накрывает два рельсовых пути.

Приложение Н

Расчетные модели взаимодействия пути и пролетных строений мостов

Н.1 Общие положения

Н.1.1 Для исследования поведения элементов пути и искусственного сооружения и для контроля деформаций и напряжений могут быть использованы различные модели (расчетные схемы). В зависимости от сложности конструкций сооружений и (или) пути расчеты могут выполняться с разными уровнями детализации и точности.

Следует различать две категории таких расчетов:

1) Расчеты обоснования надежности конструктивных решений.

При выполнении этих расчетов должны быть выполнены все указания нормативных документов и настоящего свода правил. По каждой из проверок надежности должны быть использованы соответствующие топологии расчетных схем; характеристики материалов, грунтов и соединений; интенсивности и направления воздействий в указанных сочетаниях.

Расчеты обоснования надежности конструктивных решений должны выполняться в строгом соответствии с настоящим сводом правил.

2) Комплексные исследования.

Такие исследования выполняются: для оценки чувствительности напряженно-деформированного состояния элементов сооружения к изменению того или иного параметра системы путь—мост, выявления влияния параметров модели друг на друга, изучения характера поведения системы в процессе нарастания интенсивностей внешних воздействий, для вычисления поправочных коэффициентов и других подобных целей.

При выполнении таких расчетов следует руководствоваться общими положениями настоящего свода правил. Принимать конструктивные решения на основании таких расчетов допускается только после соответствующего обоснования.

Н.1.2 Расчетная модель для учета усилий и деформаций при взаимодействии конструкций пути и элементов моста должна содержать элементы, моделирующие работу:

- рельсовых плетей;
- пролетных строений моста;
- верхнего строения пути (скрепления, балласт, плиты);
- опорных частей, опор моста и оснований опор.

Следует учитывать следующие размеры и топологические особенности сооружения:

- схему моста (число и длину пролетов, по опорам и опорным частям, неразрезность пролетных строений, в том числе температурную);
- высотное положение рельсовых плетей, балластного основания, нейтральных осей пролетных строений, центров вращения опорных частей и характерные отметки опор;
- расположение устройств компенсации удлинения рельсов.

Должны быть учтены следующие характеристики элементов:

- изгибная жесткость пролетного строения;
- горизонтальная жесткость опор в уровне приложения горизонтальных нагрузок;
- сдвиговые характеристики рельсовых нитей относительно плиты пролетного строения или насыпи.

Следует учитывать следующие воздействия:

- вертикальные временные подвижные нагрузки;
- силы торможения (тяги);
- перепад температур;
- усадку и ползучесть в тех случаях, когда эти процессы на момент устройства верхнего строения пути реализовались менее чем на 80 %.

Пример расчетной модели приведен на рисунках Н.1 и Н.2.

Число элементов (поперек моста), моделирующих рельсовые плети и упруго-фрикционные связи, должно соответствовать числу путей на пролетном строении.

Оси элементов, моделирующих рельсы и пролетные строения, рекомендуется располагать в расчетной модели с учетом фактического высотного положения их нейтральных осей.

Также следует уделять особое внимание корректному вертикальному и горизонтальному положениям центров поворота опорных частей (шарниров).

Связь между нейтральными осями рельсов и пролетных строений, а также между осями пролетных строений и центрами поворотов опорных частей может быть смоделирована с использованием бесконечно жестких элементов (или объединений соответствующих узлов по степеням свободы).

Моделирование пути и пролетного строения дискретными элементами (стержнями) должно обеспечивать оценку напряженно-деформированного состояния с точностью и достоверностью, достаточными для принятия инженерных решений (абсолютные и относительные смещения, напряжения в рельсах, реакции в опорных частях).

При моделировании пути и пролетных строений рекомендуется использовать элементы, максимальная длина которых не превышает 2,0 м.

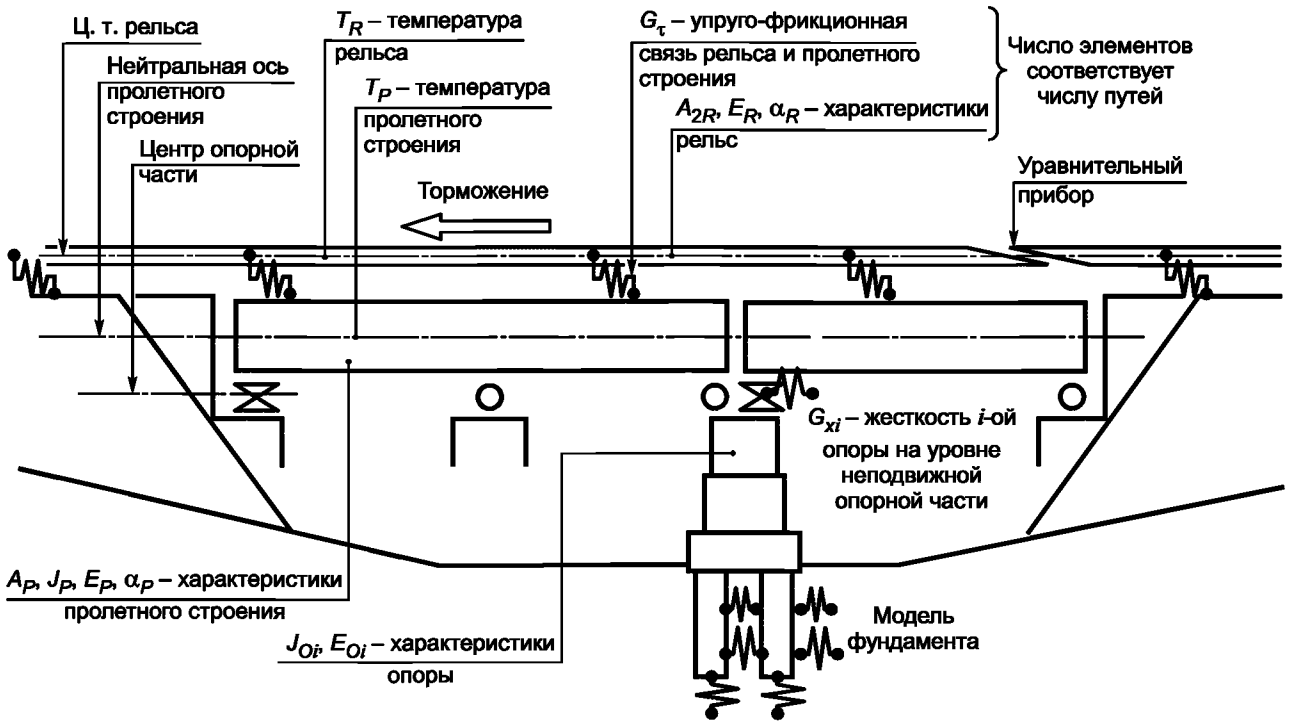


Рисунок Н.1 — Принципиальная схема модели для оценки взаимодействия конструкции пути и элементов моста

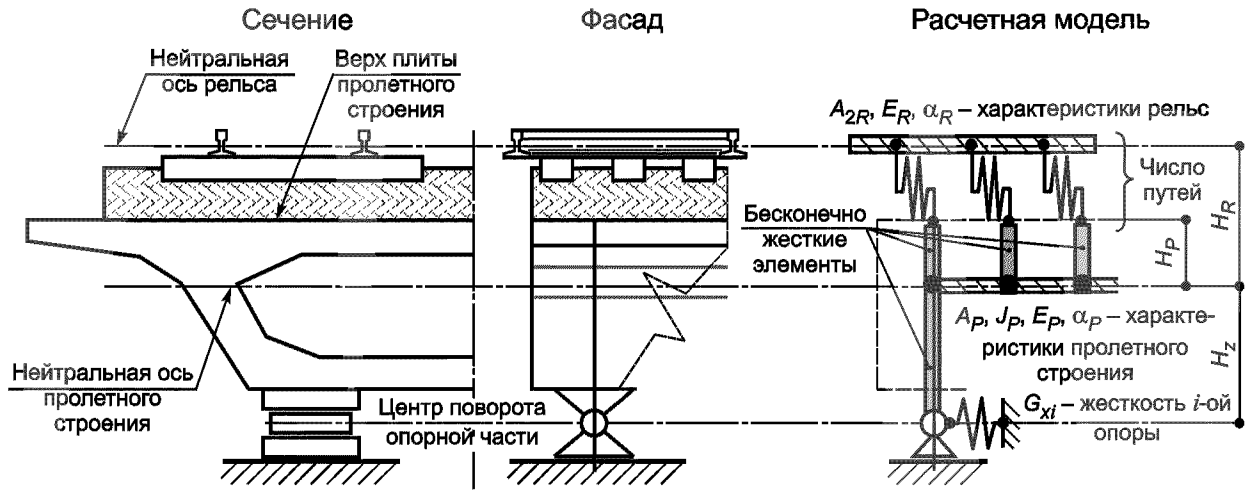


Рисунок Н.2 — Пример моделирования пролетного строения стержневыми элементами

При отсутствии уравнительных приборов на подходах модель также должна включать часть пути на примыкающей насыпи длиной не менее 100 м.

Н.2 Жесткость опорных частей и опор

Н.2.1 Жесткость опор и оснований может быть учтена в расчетной модели явно (см. рисунок Н.1). В случае применения опорной части, жестко закрепленной на опоре и допускающей поворот (традиционная неподвижная опорная часть), горизонтальная реакция соответствующей опоры на отметке центра поворота может быть учтена горизонтальной упругой связью, эквивалентной жесткости.

Н.2.2 При моделировании тела железобетонных опор следует полагать, что сечения работают в упругой стадии и раскрытия трещин не происходит.

Если короткий и невысокий элемент опоры (l / b < 2) моделируется стержнем, необходимо учитывать влияние на его жесткость поперечных сил.

Н.2.3 При моделировании свайных фундаментов следует руководствоваться указаниями СП 24.13330.2011 (приложение В) и приложения П настоящего свода правил.

Н.3 Функция зависимости сдвиговой жесткости пути от смещений

Н.3.1 Модель зависимости сдвиговой жесткости одного рельсового пути относительно плиты пролетного строения от величины взаимного смещения рельсов и пролетного строения представлена на рисунке Н.3.

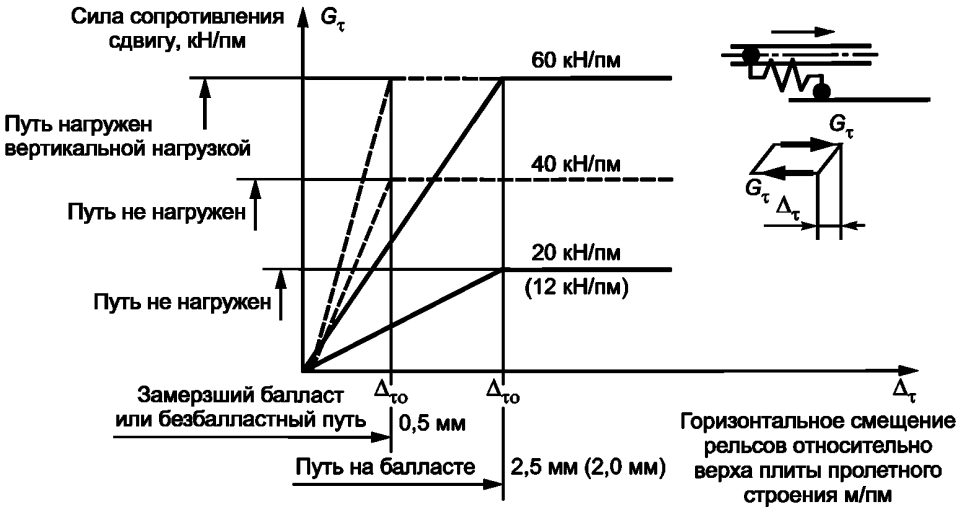


Рисунок Н.3 — Зависимость сдвиговой жесткости пути относительно пролетного строения от величины взаимного смещения

Н.3.2 Сдвиговые характеристики пути относительно его основания указываются заказчиком в задании на проектирование.

При обосновании проектных решений допускается принимать следующие характеристики (с одного пути) по таблице Н.1.

Таблица Н.1 — Характеристики функции зависимости сдвиговой жесткости от смещений

Путь	Путь на балласте				Безбалластный путь	
	нормальном		замерзшем			
	$\Delta_{\tau o}$, мм	G_τ, кН/пм	$\Delta_{\tau o}$, мм	G_τ, кН/пм	$\Delta_{\tau o}$, мм	G_τ, кН/пм
Ненагруженный	2,5	20	0,5	40	0,5	40
Нагруженный		60		60		60

Н.3.3 В случае использования податливых или жестких скреплений, конструкция которых не допускает смещений фрикционного типа (проскальзывания), расчетом должно контролироваться предельное сопротивление сдвигу этих скреплений. Предельное усилие на стадии эксплуатации (с обеспеченностью 0,95), которое допускается передавать на такие скрепления, должно быть указано заказчиком в задании на проектирование.

Н.3.4 При отсутствии уравнительного прибора за устоем (в непосредственной близости) расчетная модель должна учитывать продольное закрепление пути на насыпи подходов. В этом случае длину закрепления плети на насыпи следует принимать не менее 100 м от шкафной стенки устоя.

Н.4 Параметры рельсов

Физико-механические характеристики рельсов в расчетной модели следует принимать по ГОСТ Р 51685.

В случае применения рельсов Р65 в расчетной модели могут быть использованы характеристики, приведенные в таблице Н.2.

Таблица Н.2

Наименование	Обозначение	Единица измерения	Характеристика
Коэффициент линейного расширения	α_R	$°C^{-1}$	0,0000118
Модуль упругости материала рельса	E_R	МПа	$2{,}1 \cdot 10^5$
Площадь двух рельсов	A_{2R}	$м^2$	0,01653

Приложение П

Расчетные модели фундаментов опор

П.1 Общие положения

П.1.1 При расчетах, в которых учитывается влияние основания, свай, в зависимости от группы предельных состояний, а также длительности действия нагрузки следует принимать различные параметры элементов моделей, учитывающих работу грунта.

Следует различать расчеты:

- связанные с исследованием динамического поведения конструкции;
- исследующие состояние конструкции при нормальной эксплуатации при нормативных нагрузках (вторая группа предельных состояний и выносливость);
- проверок прочности и устойчивости конструкций и элементов.

П.1.2 Следует полагать, что при нормальной эксплуатации и при кратковременном действии нагрузок (подвижная нагрузка, торможение, ветер и т. д.) все элементы работают в упругой стадии и никаких остаточных деформаций не происходит.

При расчетах предельных состояний по первой группе следует учитывать, что в грунтах развиваются ограниченные пластические деформации согласно СП 22.13330 и СП 24.13330.

П.1.3 При динамических расчетах следует рассматривать два случая жесткости грунтов:

- повышение жесткостей грунтов при динамических воздействиях согласно положениям СП 26.13330;
- нормальная упругая работа грунтов.

П.1.4 При расчетах совместной работы пути и сооружения обязательно, а при других расчетах по первой и второй группам предельных состояний — при необходимости, следует рассматривать различную жесткость фундамента, принимая к расчету два крайних консервативных значения жесткости.

П.2 Свайные фундаменты

П.2.1 Грунт, окружающий сваю, допускается рассматривать как упругую линейно-деформируемую среду, характеризуемую коэффициентом постели C_z, кН/м^3.

П.2.2 Коэффициент постели грунта по боковой поверхности сваи C_{zi}, глубину расположения сечения z_i и коэффициент условий работы γ_c следует принимать с учетом указаний таблицы П.1.

Таблица П.1

<table>
<tr><td colspan="3">1 Коэффициент постели грунта по боковой поверхности сваи:</td></tr>
<tr><td colspan="3">- при глубине срезки грунта ≤ 5 м или при величине полного размыва ≤ 5 м или при высоте подсыпки (высоте насыпи) ≤ 10 м и при горизонтальной поверхности грунта:</td></tr>
<tr><td>- при глубине расположения i-го сечения ≥ 10 м ниже природной поверхности грунта или дна водотока без размыва, при любых планировках (размывах)</td><td>$C_{zi} = K/\gamma_c \cdot z_i$</td><td rowspan="3">Рисунок П.1</td></tr>
<tr><td>- то же, при глубине < 10 м,
при планировке подсыпкой или для насыпи</td><td>$C_{zi} = \frac{C_{z10} \cdot (z_i + h_p)}{10 + h_p}$</td></tr>
<tr><td>- то же, при глубине < 10 м,
при планировке срезкой или при размыве[1)]</td><td>$C_{zi} = \frac{C_{z10} \cdot (z_i - h_s)}{10 - h_s}$</td></tr>
<tr><td>- во всех других случаях</td><td colspan="2">См. пункт П.2.3</td></tr>
<tr><td colspan="3">2 Глубина расположения i-го слоя грунта z_i:</td></tr>
<tr><td>- в случае, если опора расположена в постоянном водотоке и грунт расчетного слоя или один из слоев грунта, расположенных выше, являются водоупором (глинистые грунты)</td><td>От условной поверхности, расположенной выше дна водоема или водотока, на величину z_v, равную половине глубины воды в состоянии межени: $z_i + z_v$</td><td rowspan="2">Рисунок П.2</td></tr>
<tr><td>- во всех других случаях</td><td>От природной поверхности грунта или дна водотока или водоема</td></tr>
</table>

Окончание таблицы П.1

3 В случае расположения низа плиты фундамента в грунте (низкий ростверк) следует учитывать разуплотнение грунта на глубине 3,0 м		Рисунок П.3
4 Коэффициент постели грунта под подошвой сваи следует принимать равным (кроме опирания на скальные грунты)	$C_N = 5/d \cdot K \cdot z_o \geq 50/d \cdot K$	Рисунок П.4
5 Для висячих свай следует учитывать коэффициент постели сдвига на контакте грунта и боковой поверхности сваи	$C_{fzi} = 0{,}5 \cdot C_{zi}$	
6 При определении коэффициента постели грунта по боковой поверхности сваи следует учитывать группу предельных состояний, а также длительность действия нагрузки, принимая коэффициент условий работы γ_c равным:		
- при расчетах по первой группе предельных состояний элементов фундамента и грунта (несущая способность свай, прочность сечений, напряжения в грунте)		$\gamma_c = 3{,}0$
- при расчетах по второй группе предельных состояний (смещения и деформации, расчеты взаимодействия пути и сооружения и другие) нормальной упругой работы грунта:		
- при расчетах на вертикальные и горизонтальные воздействия подвижной нагрузки (кратковременная)		$\gamma_c = 1{,}0$
- при расчетах образования и раскрытия трещин в бетоне на сочетания горизонтальных постоянных и (или) длительных нагрузок (давление грунта со стороны насыпи, предварительное напряжение, температурные воздействия)		$\gamma_c = 2{,}0$
- при расчетах совместной работы пути и сооружения при комбинациях с вертикальными и горизонтальными компонентами временной нагрузки (кратковременными)		$\gamma_c = 0{,}75$—$1{,}5$
- при расчетах совместной работы пути и сооружения при комбинациях с длительными нагрузками (температура)		$\gamma_c = 1{,}0$—$2{,}0$
- при моделировании грунта в динамических расчетах в случаях повышенной жесткости грунта и нормальной упругой работы грунта		$\gamma_c = 0{,}1$—$1{,}0$[2)]
[1)] В случае, приведенном в позиции 2, глубину расчетного слоя z_i следует увеличивать на z_v. [2)] При моделировании грунта в динамических расчетах допускается уточнять упругие характеристики грунта на основании специальных исследований. Примечание — В настоящей таблице применены следующие обозначения: C_{z10} — коэффициент постели, на глубине 10 м от поверхности грунта без учета планировки, кН/м^3 [1)]; z_i — глубина i-го сечения сваи от уровня природной поверхности или дна водотока или водоема, м; z_o — глубина расположения подошвы сваи, определяемая аналогично z_i, м; γ_c — коэффициент условий работы; h_p — высота подсыпки, м; h_s — глубина срезки, м; d — диаметр круглого, сторона квадратного или меньшая сторона прямоугольного сечения сваи, м.		

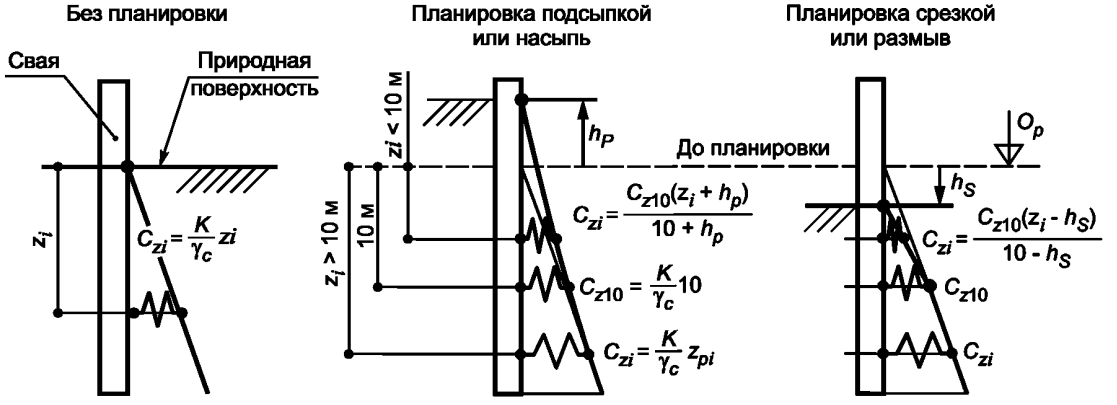


Рисунок П.1 — Вычисление коэффициента постели при планировке грунта

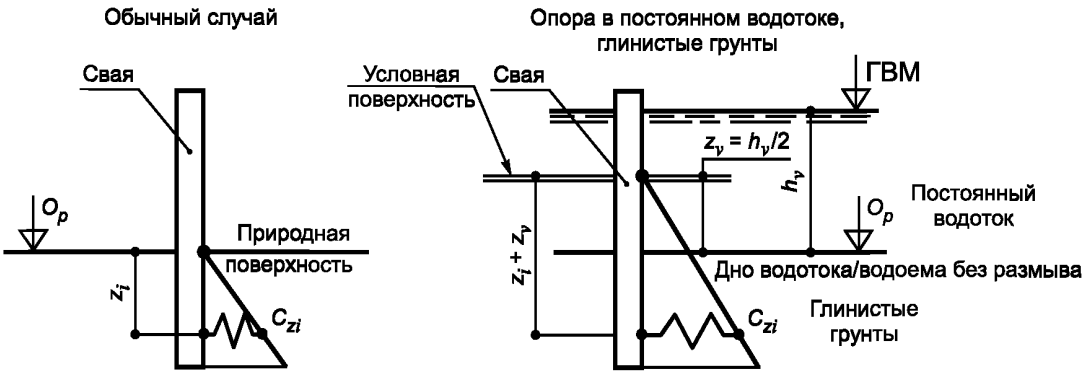


Рисунок П.2 — Изменение отметки сечения при расположении опоры в воде

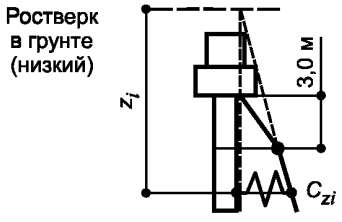


Рисунок П.3 — Учет разуплотнения грунта под плитой фундамента

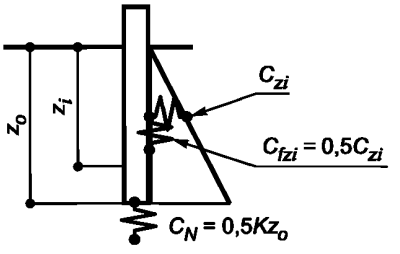


Рисунок П.4 — Коэффициент постели сдвига и коэффициент постели под подошвой сваи

П.2.3 В сложных случаях (срезка или размыв превышают 5 м, подсыпка или высота насыпи превышает 10 м, поверхность грунта не горизонтальна и т. п.) коэффициенты постели C_{zi} следует определять по формуле

$$C_{zi} = C'_{zi}\,{}^{\sigma_{zi}}\!/_{\sigma'_{zi}}, \qquad (П.1)$$

где C'_{zi}, σ'_{zi} — коэффициент постели и вертикальные напряжения в грунте, вычисленные на глубине z_i от природной поверхности без учета всех особенностей, перечисленных выше, кН/м^3 и кПа;

σ_{zi} — вертикальные напряжения в грунте, полученные в результате отдельных расчетов, в которых учтены особенности грунтовой обстановки и особенности данной опоры, кПа.

П.2.4 При вычислении погонных жесткостей основания (по высоте), моделирующих упругое взаимодействие сваи и грунта по боковой поверхности, следует учитывать условную ширину сваи b_p, м:

- для свай $d \le 0{,}8$ м $b_p = (1{,}5d + 0{,}5)\,k_f k_r$,
- для свай $d > 0{,}8$ м $b_p = (d + 1{,}0)\,k_f k_r$, (П.2)

где d — диаметр круглого, сторона квадратного или прямоугольного сечения свай в плоскости, перпендикулярной действию нагрузки, м;

k_f — коэффициент формы, принимаемый:

- для свай круглого сечения — $k_f = 0{,}9$;
- для других сечений свай — $k_f = 1{,}0$;

k_r — коэффициент, зависящий от числа и размера сечения свай:

- для свай-оболочек, свай-столбов или набивных свай — $k_r = k_1 + \dfrac{(1-k_1)\cdot l_p}{2\cdot(d+1{,}0)}$; (П.3)
- свай других типов — $k_r = 1{,}0$,

здесь k_1 — коэффициент, зависящий от числа свай n_p в вертикальной плоскости, параллельной плоскости действия нагрузок (в одном ряду), принимаемый:

- при $n_p = 2$ — $k_1 = 0{,}6$;
- при $n_p = 3$ — $k_1 = 0{,}5$;
- при $n_p \ge 4$ — $k_1 = 0{,}45$;

l_p — расстояние в свету (на уровне поверхности грунта) между сваями-оболочками, сваями-столбами или набивными сваями, м.

П.2.5 При расчетах опор мостов понижающий коэффициент α_i по СП 24.13330.2011 (приложение В) применять не следует.

П.2.6 Коэффициент, учитывающий увеличение действующих усилий на сваи для большеразмерных кустов и полей свай (СП 24.13330), следует принимать:

- если в пределах опоры существенно изменяются грунтовые условия — 1,2;
- в других случаях — 1,0.

П.3 Фундаменты опор на естественном основании

П.3.1 При моделировании фундаментов опор на естественном основании следует руководствоваться указаниями СП 22.13330.2016 (приложение Б) и СП 26.13330.

При вычислении жесткости закреплений, моделирующих упругие характеристики грунтов основания, и при отсутствии экспериментальных данных следует принимать следующие коэффициенты постели, кН/м^3:

- сжатия $C_N = m_g \cdot E_g \left(1 + \sqrt{\frac{A_{10}}{A_f}}\right) \cdot \frac{10}{\gamma_c}$; (П.4)

- наклона $C_M = 2{,}0 \cdot C_N$; (П.5)

- сдвига $C_Q = 0{,}7 \cdot C_N$, (П.6)

где E_g — модуль деформации грунта под подошвой, кПа;

m_g — коэффициент, м$^{-1}$, принимаемый:

1,0 — для песчаных грунтов;

1,2 — для супесей и суглинков;

1,5 — для глин и крупнообломочных грунтов;

A_f — площадь плиты фундамента, м^2, но не более 200 м^2;

A_{10} — площадь, м^2, эквивалентная 10,0;

γ_c — коэффициент условий работы, принимаемый по позиции 6 таблицы П.1.

Приложение Р

Расчет осадок фундаментов опор

Р.1 Осадка свайного фундамента (кроме одиночных свай) или фундамента глубокого заложения (опускного колодца) вычисляется, как для условного фундамента, размеры основания которого принимают согласно рисунку Р.1.

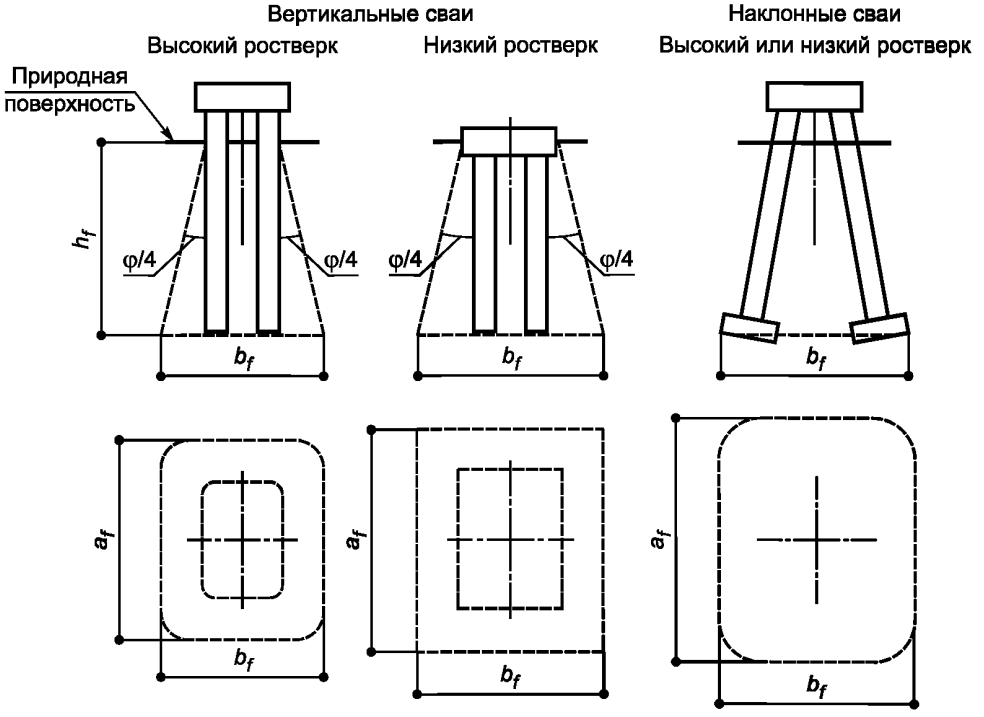


Рисунок Р.1 — Размер основания условного фундамента

При вычислении осадки фундамента на естественном основании, рассчитываемой без учета заделки в грунт, а также трубы в теле насыпи a_f и b_f следует принимать равными физическим размерам подошвы плиты фундамента или площади опирания трубы на грунт. При наличии под плитой слоя щебеночной засыпки толщиной $h_п$ размеры a_f и b_f следует увеличивать на $2h_п$.

Для водопропускных труб и других сооружений в теле насыпи следует вычислять разницу осадок насыпи и сооружения с учетом их взаимного влияния. Разница этих осадок, положительная или отрицательная, не должна превышать значений, указанных в таблице 6.5.

Р.2 Осадка фундамента s, см, определяется методом послойного суммирования в предположении работы грунта под нагрузкой как линейно деформируемого полупространства (рисунок С.2) по формуле

$$s = \beta \cdot \sum_{i=1}^{n} \frac{\sigma_{zp,i}}{E_i} \cdot h_i, \qquad (Р.1)$$

где β — безразмерный коэффициент, равный 0,8;

$\sigma_{zp,i}$ — среднее значение вертикального нормального напряжения от внешней нагрузки в i-м слое грунта по вертикали, проходящей через центр фундамента, кПа;

h_i — толщина i-го слоя грунта, см, принимаемая не более 40 % минимального размера основания фундамента;

E_i — модуль деформации i-го слоя грунта, кПа;

n — число слоев, на которые разбита сжимаемая толща основания.

При этом распределение вертикальных напряжений по глубине основания принимают в соответствии со схемой, приведенной на рисунке Р.2.

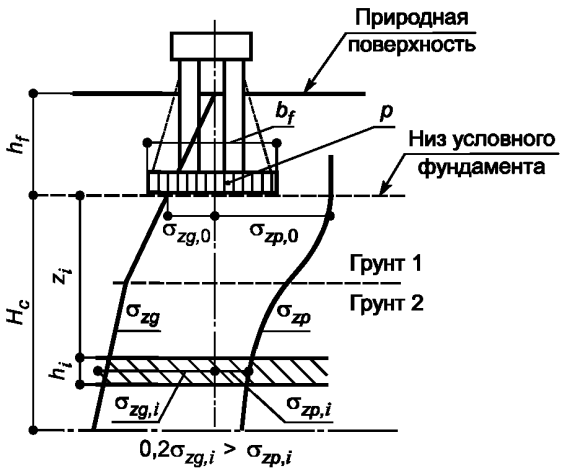


Рисунок Р.2 — Распределение напряжений под подошвой фундамента

Р.3 Вертикальные напряжения от внешней нагрузки σ_{zp}, кПа, зависят от размеров, формы и глубины заложения фундамента, распределения давления на грунт под его подошвой и свойств грунтов основания. Для прямоугольных фундаментов значения σ_{zp} на глубине z от их подошвы по вертикали, проходящей через их центр, определяют по формуле

$$\sigma_{zp} = \alpha p, \tag{Р.2}$$

где α — коэффициент, принимаемый по таблице С.1 в зависимости от относительной глубины $\xi = 2\, z_i/b_f$ и соотношения сторон фундамента $\eta = a_f/b_f$;

p — среднее давление под подошвой фундамента, кПа.

Р.4 Вертикальное эффективное напряжение от собственного веса грунта σ_{zg}, кПа, на глубине z_i от подошвы прямоугольного в плане фундамента определяют по формуле

$$\sigma_{zg} = \sigma_{zg,0} + \sum_{i=1}^{n} \gamma_i \cdot h_i - u, \tag{Р.3}$$

где $\sigma_{zg,0} = \gamma' \cdot h_f$ — вертикальное напряжение от собственного веса грунта на отметке подошвы фундамента, кПа:

γ' — удельный вес грунта, расположенного выше подошвы, кН/м^3;

h_f — глубина подошвы фундамента, м (рисунок Р.2);

γ_i, h_i — удельный вес, кН/м^3, и толщина i-го слоя грунта, м, залегающего выше границы слоя на глубине z_i от подошвы фундамента;

u — поровое давление на рассматриваемой границе слоя, кН/м^2.

Для неводонасыщенных грунтов, а также для глинистых грунтов при коэффициенте фильтрации менее $1 \cdot 10^{-5}$ м/сут и показателе текучести $I_L < 0{,}25$ поровое давление u принимается равным нулю.

Р.5 Послойное суммирование следует выполнять до тех пор, пока выполняется хотя бы одно из двух условий:

$\sigma_{zp} > 0{,}2\, \sigma_{zg}$ — максимальный уровень дополнительных напряжений превышает 20 % напряжений в грунте от собственного веса; (Р.4)

$z_i \le H_{min}$ — минимальная учитываемая высота сжимаемой толщи, м, значение которой следует принимать: (Р.5)

$H_{min} = b_f/2$ при $b_f \le 10$ м;

$H_{min} = (4 + 0{,}1\, b_f)$ при $10 \le b_f \le 60$ м;

$H_{min} = 10$ при $b_f > 60$ м.

Р.6 В зависимости от стадии жизненного цикла сооружения осадки, соответствующие данной стадии, допускается определять:

а) в случае, если результаты испытаний грунтов позволяют определить условные модули деформаций грунтов (ветви нагружения), соответствующие времени приложения и длительности действия нагрузки, а также уровню дополнительных напряжений на данной ступени, то в формуле (Р.1) допускается использовать вместо E_i значения этого условного модуля. При этом вертикальные напряжения (Р.2) следует определять при давлении под подошвой p, соответствующей данной стадии;

б) в случае отсутствия данных, указанных в случае 1, допускается вычислять осадки на стадии эксплуатации:

1) при условии, что сжимаемая толща сложена песчаными грунтами, принимая в качестве нагрузки только вес мостового полотна (вторую часть постоянной нагрузки);

2) в случае глинистых грунтов основания при условии, что в пределах сжимаемой толщи отсутствуют слабые грунты с коэффициентами деформаций $E \le 7$ МПа, принимая понижающие коэффициенты к нагрузкам, соответствующим стадиям строительства:

- от веса насыпи и опор — 0,6;
- от веса пролетного строения — 0,8;
- от второй части постоянной нагрузки — 1,0.

Дополнительные напряжения σ_{zp} в формуле (Р.4) (в случае б) следует определять без учета понижающих коэффициентов.

Р.7 Крен фундамента i при действии внецентренно приложенной нагрузки определяют по формуле

$$i = D \cdot k_e \frac{N \cdot e}{(b_f / 2)^3}, \qquad (Р.6)$$

где N — вертикальная составляющая нагрузок, кН, на уровне подошвы фундамента;

e — эксцентриситет, м;

D — коэффициент, кПа$^{-1}$, определяемый по формуле

$$D = \frac{1 - \nu^2}{E};$$

k_e — коэффициент, принимаемый по таблице Р.2;

E — модуль деформации, кПа;

ν — коэффициент поперечной деформации грунта основания по таблице Р.3.

В случае неоднородного основания значение D принимают средним в пределах сжимаемой толщи H_c по формуле

$$\overline{D} = \sum_{i=1}^{n} A_i \cdot D_i \Big/ \sum_{i=1}^{n} A_i, \qquad (Р.7)$$

где A_i — площадь эпюры вертикальных напряжений от единичного давления под подошвой фундамента в пределах i-го слоя грунта, допускается принимать $A_i = \sigma_{zp,i} h_i$.

Р.8 При расчетах осадок фундаментов, не прямоугольных в плане, при расчетах взаимовлияния осадок соседних опор, а также в других сложных случаях следует руководствоваться указаниями СП 22.13330 с учетом положений настоящего свода правил.

Допускается использование других известных методик определения напряжений в грунте для линейно-деформируемого полупространства.

Таблица Р.1

ξ	Коэффициент α для фундаментов							
	круглых	прямоугольных с соотношением сторон $\eta = a_f / b_f$						
		1,0	1,4	1,8	2,4	3,2	5	≥ 10
0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
0,4	0,949	0,960	0,972	0,975	0,976	0,977	0,977	0,977
0,8	0,756	0,800	0,848	0,866	0,876	0,879	0,881	0,881
1,2	0,547	0,606	0,682	0,717	0,739	0,749	0,754	0,755
1,6	0,390	0,449	0,532	0,578	0,612	0,629	0,639	0,642
2,0	0,285	0,336	0,414	0,463	0,505	0,530	0,545	0,550
2,4	0,214	0,257	0,325	0,374	0,419	0,449	0,470	0,477
2,8	0,165	0,201	0,260	0,304	0,349	0,383	0,410	0,420
3,2	0,130	0,160	0,210	0,251	0,294	0,329	0,360	0,374
3,6	0,106	0,131	0,173	0,209	0,250	0,285	0,319	0,337

Окончание таблицы Р.1

ξ	Коэффициент α для фундаментов							
	круглых	прямоугольных с соотношением сторон $\eta = a_f / b_f$						
		1,0	1,4	1,8	2,4	3,2	5	≥ 10
4,0	0,087	0,108	0,145	0,176	0,214	0,248	0,285	0,306
4,4	0,073	0,091	0,123	0,150	0,185	0,218	0,255	0,280
4,8	0,062	0,077	0,105	0,130	0,161	0,192	0,230	0,258
5,2	0,053	0,067	0,091	0,113	0,141	0,170	0,208	0,239
5,6	0,046	0,058	0,079	0,099	0,124	0,152	0,189	0,223
6,0	0,040	0,051	0,070	0,087	0,110	0,136	0,173	0,208
6,4	0,036	0,045	0,062	0,077	0,099	0,122	0,158	0,196
6,8	0,031	0,040	0,055	0,069	0,088	0,110	0,145	0,185
7,2	0,028	0,036	0,049	0,062	0,080	0,100	0,133	0,175
7,6	0,024	0,032	0,044	0,056	0,072	0,091	0,123	0,166
8,0	0,022	0,029	0,040	0,051	0,066	0,084	0,113	0,158
8,4	0,021	0,026	0,037	0,046	0,060	0,077	0,105	0,150
8,8	0,019	0,024	0,033	0,042	0,055	0,071	0,098	0,143
9,2	0,017	0,022	0,031	0,039	0,051	0,065	0,091	0,137
9,6	0,016	0,020	0,028	0,036	0,047	0,060	0,085	0,132
10,0	0,015	0,019	0,026	0,033	0,043	0,056	0,079	0,126
10,4	0,014	0,017	0,024	0,031	0,040	0,052	0,074	0,122
10,8	0,013	0,016	0,022	0,029	0,037	0,049	0,069	0,117
11,2	0,012	0,015	0,021	0,027	0,035	0,045	0,065	0,113
11,6	0,011	0,014	0,020	0,025	0,033	0,042	0,061	0,109
12,0	0,010	0,013	0,018	0,023	0,031	0,040	0,058	0,106
Примечание — Для фундаментов, имеющих форму правильного многоугольника площадью A, допускается принимать α, как для круглых при $r = \sqrt{A/\pi}$.								

Таблица Р.2

Форма фундамента и направление действия момента	Коэффициент k_e при $\eta = l/b$, равном						
	1	1,2	1,5	2	3	5	10
Прямоугольный с моментом вдоль большей стороны	0,50	0,57	0,68	0,82	1,17	1,42	2,00
Прямоугольный с моментом вдоль меньшей стороны	0,50	0,43	0,36	0,28	0,20	0,12	0,07
Круглый	0,75						

Таблица Р.3

Грунты	Коэффициент поперечной деформации ν
Крупнообломочные грунты	0,27
Пески и супеси	0,30—0,35
Суглинки	0,35—0,37
Глины при показателе текучести I_L:	
$I_L \le 0$	0,20—0,30
$0 < I_L \le 0,25$	0,30—0,38
$0,25 < I_L \le 1$	0,38—0,45
Примечание — Меньшие значения ν применяют при большей плотности грунта.	

Приложение С

Методика расчета параметров проявления карстово-суффозионных процессов в основании сооружения

С.1 Требования оценки риска возникновения опасных природных процессов и явлений при инженерно-геологических изысканиях приведены в [1, статья 15].

Этим требованиям отвечает приведенная ниже методика определения расчетного пролета и расчетной площади карстового провала — основных параметров проектирования фундаментов сооружений с учетом карстово-суффозионных деформаций.

С.2 Расчет параметров проявления карстово-суффозионных процессов в основании сооружения следует производить в последовательности, изложенной в С.2.1—С.2.5.

С.2.1 Определяется площадь сооружения в плане A_o и расчетная площадь A (рисунок С.1):

$$A = A_o + A_k, \quad (С.1)$$

где A_k — площадь, очерченная контуром на расстоянии максимально прогнозируемого радиуса карстовой воронки ($d_{max}/2$).

Предполагается, что провал с любыми размерами до d_{max}, который произойдет за пределами расчетной площади, не окажет влияния на сооружение. При образовании провала в пределах расчетной площади A существует вероятность поражения провалом сооружения.

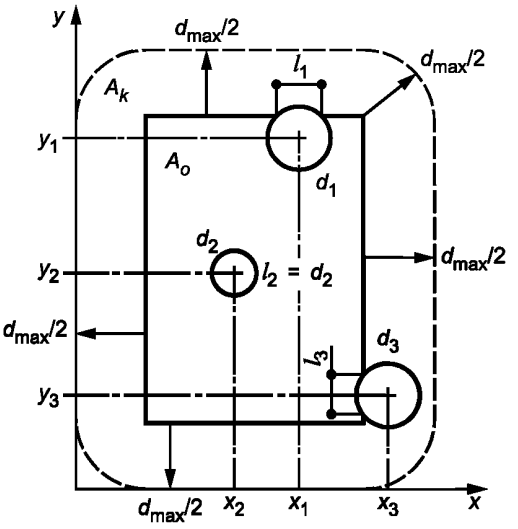


Рисунок С.1 — Расчетная схема определения вероятности поражения сооружения карстовым провалом

С.2.2 Определяется условная (геометрическая) вероятность поражения сооружения карстовым провалом.

При оценке условной вероятности следует использовать метод статистических испытаний (метод Монте-Карло).

Предполагается, что образование провала на всей площади A равновероятно. Генерируются тройки случайных чисел (x, y, d), где x, y — координаты центров провалов, определяемых как равномерно распределенных на площади A; d — случайное значение диаметра воронки ($d < d_{max}$), определяемое как распределенное по нормальному закону при параметрах распределения: среднего (d) и максимального (D) диаметров провала, дисперсии σ_d^2. При отсутствии сведений о статистических параметрах распределения диаметров допускается использовать одно прогнозное значение диаметра провала d_{max}, определяемое на основе геомеханической модели провалообразования. «Поражением» сооружения провалом считается случай, когда ось фундамента пересекается контуром провала по некоторой хорде l_i (на рисунке С.1 — l_1, l_3).

Условная вероятность поражения сооружения карстовым провалом оценивается как

$$P_f = n_l/N, \quad (С.2)$$

где N — число моделируемых случаев провалов (рекомендуется рассматривать не менее 1 000 000 случаев);

n_l — число случаев провалов, пересекающих ось фундаментов.

С.2.3 По результатам статистических испытаний строится интегральная кривая распределения параметра (хорды) l (см. рисунки С.1 и С.2).

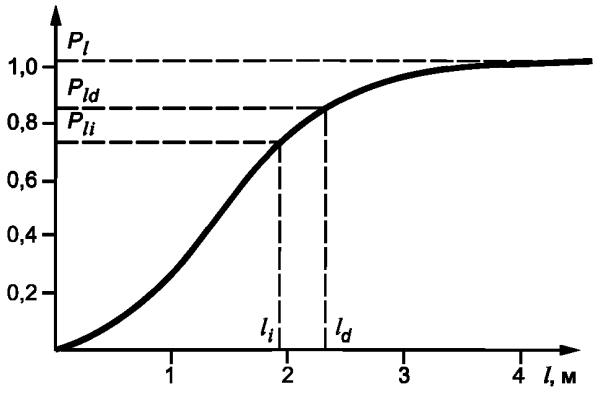


Рисунок С.2 — Интегральная кривая распределения пролетов карстовых провалов l

С.2.4 Определяется вероятность $(1 - P_o)$ того, что на площади A, расположенной на территории с показателем интенсивности провалообразования λ (число провалов на 1 км^2 в год), за срок службы сооружения T произойдет хотя бы один провал:

$$1 - P_o = \exp(-\lambda AT). \quad (С.3)$$

При этом безусловная вероятность образования провала под фундаментом сооружения составит

$$P_F = (1 - P_o)\, P_f. \quad (С.4)$$

С.2.5 Определяют расчетное значение пролета карстового провала.

Надежность фундамента, рассчитанного на ослабление основания под его подошвой (размером l) в результате карстового провала, определяется по формуле

$$P_{adm} = 1 - P_F (1 - P_{li}), \quad (С.5)$$

где P_{li} — вероятность того, что при образовании провала размер его в плане под фундаментом будет не более l_i (см. рисунок С.2);

P_{adm} — вероятность потери несущей способности фундамента опоры по предельному состоянию первой группы, принимается не менее 0,99.

Определив соответствующее P_{adm} (формула (С.5)) значение P_{ld}, возможно по кривой $P_l = f(l)$ (рисунок С.2) найти соответствующее ему значение расчетного пролета провала l_d.

С.3 Расчетный пролет принимают равным средневзвешенному значению на интервале 0,99—1,0.

Для этого строится кривая $l_d = f(P_{adm})$ (рисунок С.3) и подсчитывается площадь под этой кривой. Значение расчетного пролета определяется по формуле

$$l_d = F / (1 - 0{,}99). \quad (С.6)$$

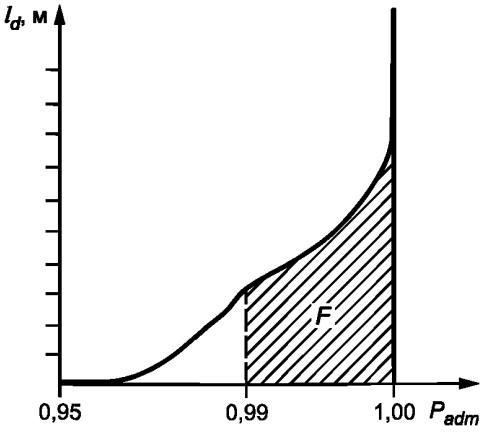


Рисунок С.3 — Схема определения средневзвешенного значения расчетного пролета карстового провала

Расчетный пролет может быть принят проектировщиком (по согласованию с заказчиком) равным иному значению (минимальному, среднеквадратичному и др.) на интервале значений 0,99—1,0, при этом должны учитываться особенности сооружения и последствия в случае его аварии (экономические, социальные, экологические и др.).

С.4 При проектировании плитных фундаментов и необходимости учета влияния карста на сооружение по аналогичному алгоритму определяется расчетная площадь карстового провала S_d. Блок-схема определения расчетной площади карстового провала приведена на рисунке С.4.

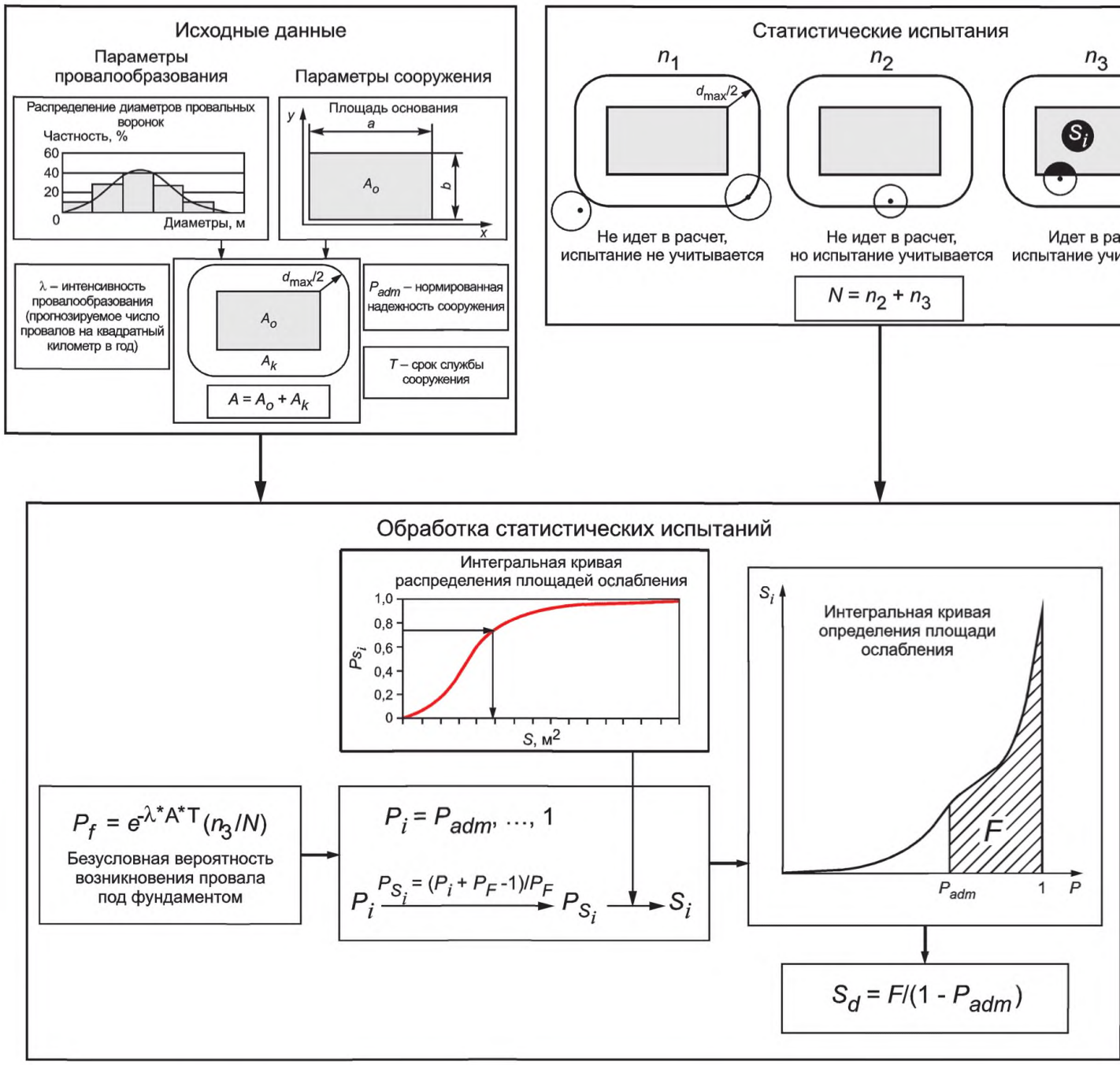


Рисунок С.4 — Блок-схема определения расчетной площади карстового провала

Приложение Т

Учет неровности пути

При расчетах по методике Б.2 (см. 6.3.10) необходимо учесть возможные неровности пути. Случайный профиль пути может быть получен по методу, основанному на генерации по заданной спектральной плотности мощности[1)].

По этому методу случайный профиль пути генерируется в виде тригонометрического ряда через функцию плотности:

$$\zeta(x) = \sqrt{2} \cdot \sum_{n=0}^{N-1} A_n \cdot \cos\left(\Omega_n \cdot x + \varphi_n\right). \quad (Т.1)$$

Для вертикальной неровности функция плотности задается в виде:

$$\Phi_V(\Omega) = A \cdot \frac{\Omega_c^2}{\left(\Omega_r^2 + \Omega^2\right) \cdot \left(\Omega_c^2 + \Omega^2\right)}, \quad (Т.2)$$

где A — константа, зависящая от уровня неровности (качества) пути;

Ω_c, Ω_r — константы, принимаемые равными:

- Ω_c = 0,8246 рад/м;
- Ω_r = 0,0206 рад/м.

Для хорошего качества пути принимают $A = 0{,}59233 \cdot 10^{-6}$ рад/м.

Дискретные «частоты» Ω_n (частоты воздействия при единичной скорости поезда) выбирают из последовательности

$$\Omega_n = n \cdot \Delta\Omega = n \cdot \Omega_u / N, \quad (Т.3)$$

где n = 0, 1, 2..., N – 1;

Ω_u — заданное предельное значение.

Фазовые углы φ_n задаются в виде случайных чисел, равномерно распределенных на отрезке [0...2π], а амплитуду A_n определяют следующим образом:

$$A_0 = 0, \quad (Т.4)$$

$$A_1 = \sqrt{\left(\frac{1}{\pi} \cdot S(\Delta\Omega) + \frac{4}{6 \cdot \pi} \cdot S(0)\right) \cdot \Delta\Omega}, \quad (Т.5)$$

$$A_2 = \sqrt{\left(\frac{1}{\pi} \cdot S(2 \cdot \Delta\Omega) + \frac{4}{6 \cdot \pi} \cdot S(0)\right) \cdot \Delta\Omega}, \quad (Т.6)$$

$$A_n = \sqrt{\left(\frac{1}{\pi} \cdot S(n \cdot \Delta\Omega)\right) \cdot \Delta\Omega}. \quad (Т.7)$$

Здесь $S(\Omega) = \Phi_V(\Omega) / 2$.

На рисунке Т.1 приведен сгенерированный профиль пути, построенный по указанным константам при $\Delta\Omega$ = 0,01 и N = 201. Предельная «частота» 2,0 рад/м при скорости 350 км/ч соответствует частоте воздействия $f = 2{,}0 \cdot 350 / 3{,}6 / 2\pi$ = 30,9 Гц.

---

1) Существуют различные методы учета влияния неровности пути на движение поезда. Данное приложение описывает один из наиболее распространенных и широко применяемых при численных расчетах.

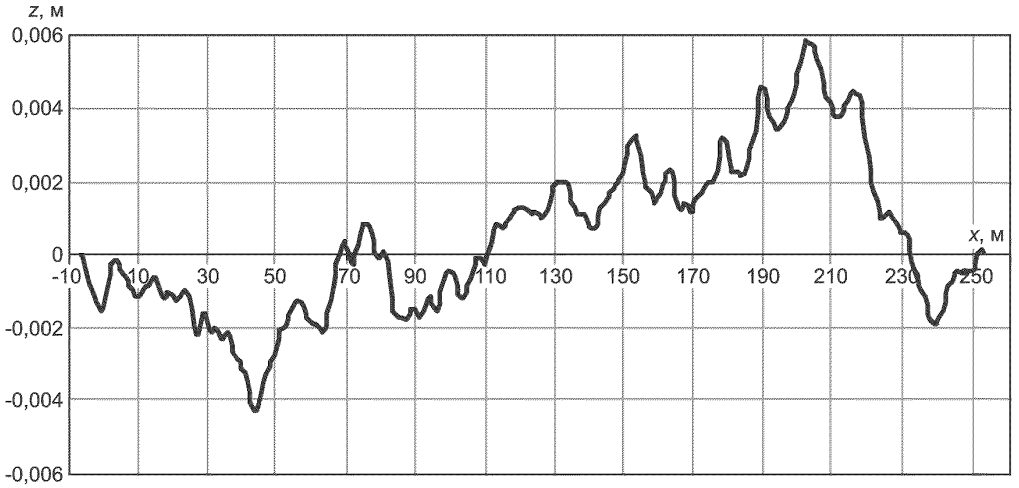


Рисунок Т.1 — Пример сгенерированного профиля пути

Приложение У

Параметры высокоскоростных поездов для динамических расчетов

Проектирование искусственных сооружений на ВСМ по методике Б (см. 6.3.10) возможно только при известных параметрах поездов, предполагаемых для эксплуатации.

У.1 Общие положения

В задании на проектирование искусственного сооружения заказчиком должны быть представлены список поездов и характеристики этих поездов.

Список поездов должен включать одну или несколько схем (моделей) поездов, предполагаемых для движения на линии (например, разная компоновка состава), и несколько поездов (аналог А1—А10 приложения Г), необходимых для оценки возможного отклонения параметров, а также для исследования окрестностей полученных динамических результатов[1)].

В приложении Г приведены некоторые параметры поездов, которые могут являться ориентиром при формировании набора поездов для проектирования конкретного сооружения.

У.2 Изменчивость параметров

При выполнении динамических расчетов необходимо знать не только все параметры подвижного состава (перечисленные ниже), но и характер изменчивости этих параметров. Как минимум, для основных параметров необходимы значения:

- среднее, ожидаемое при эксплуатации;
- диапазон отклонений, допускаемых при эксплуатации (максимальное и минимальное).

У.3 Форма представления параметров поездов

У.3.1 Ниже приведен минимальный набор параметров поезда, достаточный для практического проектирования (исследования вертикальных колебаний пролетного строения).

Массы

Должны быть известны значения для всех масс поезда, участвующих в колебательном процессе (неподрессоренные, межрессорные и подрессоренные).

Необходимо знать массы, соответствующие: наиболее вероятной загрузке поезда, порожнему поезду, максимально нагруженному.

Желательно иметь информацию о распределении масс по длине вагонов, соответствующих вариантам загрузки.

Жесткости

Должны быть известны жесткости, при которых допускается выход поезда на линию без ограничений в скорости: ожидаемые (проектные), минимальные и максимальные. Необходимо знать как жесткости пружин подвески, так и изгибную жесткость EI кузова вагона.

Желательно иметь информацию об изгибной жесткости сцепных устройств и (при необходимости) других гибких элементов кузова и балок тележек.

Устройства гашения колебаний (демпферы, амортизаторы и т. д.)

При выполнении динамических расчетов взаимодействия поезда и моста работу демпферов (или других устройств гашения колебаний) обычно учитывают одним параметром — C, имеющим размерность «сила/скорость».

Если имеются функции, описывающие работу демпферов, желательно их привести.

Параметры этих устройств гашения необходимо знать для всех элементов системы, в которых они конструктивно присутствуют.

---

1) Любая модель является приближенной. При динамических расчетах даже незначительные изменения исходных параметров могут приводить к большому разбросу результатов, что связано прежде всего с резонансами. Для того чтобы «не пропустить» каких-либо локальных явлений и учесть возможные отклонения параметров модели поезда (и сооружения) от фактических значений, следует рассматривать не один поезд, а серию «похожих» поездов (с близкими длинами пролетов, числом вагонов и т. д.), а также варианты загруженного состава, обычной загрузки и порожнего.

Приложение Ф

Перечень физико-механических характеристик грунтов, дополнительно определяемых при инженерно-геологических изысканиях

По согласованию программы изысканий с проектной и (или) специализированной научно-исследовательской организацией, выполняющей геотехнические расчеты и (или) научное сопровождение строительства, при выполнении инженерно-геологических изысканий дополнительно полевыми и лабораторными методами определяются следующие физико-механические характеристики грунтов:

а) для дисперсных грунтов:

- модуль деформации для первичной ветви компрессии E^{c1};
- модуль деформации для ветви декомпрессии E^{d};
- модуль деформации для ветви вторичной компрессии E^{c2};
- секущий модуль общей деформации E_{50}^{ref};
- разгрузочный модуль общей деформации E_{ur}^{ref};
- одометрический модуль общей деформации E_{oed}^{ref};
- модуль деформации при небольших значениях напряжения E_0^{ref};
- коэффициент поперечной деформации v;
- разгрузочный коэффициент поперечной деформации v_{ur};
- параметры ползучести глинистых грунтов δ_{crp} и $\delta_{i,crp}$;
- прочностные характеристики: угол внутреннего трения φ и удельное сцепление c, определяемые для нагрузок, соответствующих всем этапам строительства и эксплуатации подземных и заглубленных сооружений;
- коэффициент морозного пучения K_h, удельные нормальные и касательные силы морозного пучения σ_h и τ_h;
- коэффициент фильтрации k грунтов.

Значения модулей деформации по результатам лабораторных испытаний необходимо корректировать на основе результатов полевых испытаний грунтов штампами или прессиометрами;

б) для скальных грунтов:

- коэффициент крепости f (по Протодьяконову);
- прочностные характеристики (угол внутреннего трения φ и удельное сцепление c) как материала скальной отдельности, так и по плоскостям системных трещин;
- показатель качества массива скальных грунтов RQD;
- степень трещиноватости скального массива, модуль деформации $E_{ск}$ и другие его классификационные характеристики по показателю качества RQD (см. таблицу Ф.1).

Таблица Ф.1 — Классификация скальных массивов по степени трещиноватости

Степень трещиноватости	M_j	RQD	$K_{т.п}$, %	Объем породных блоков, дм	$E_{ск}/E_{бл}$, %	$V_p/V_{рб}$, %
Очень слаботрещиноватые	<1,5	>90	<0,5	Тысячи	>70	>95
Слаботрещиноватые	1,5—5	75—90	0,5—1,0	Сотни	50—70	85—95
Среднетрещиноватые	5—10	50—75	1,0—1,5	Десятки—сотни	25—50	65—85
Сильнотрещиноватые	10—30	25—50	1,5—2,5	Единицы—десятки	10—25	48—65
Очень сильнотрещиноватые	>30	0—25	>2,5	Менее единицы	3—10	33—48

Примечания

1 В настоящей таблице применены следующие обозначения: M_j — модуль трещиноватости скального массива (число трещин на 1 м линии измерения нормально главной системе трещин); RQD — показатель качества породы; $K_{т.п}$ — коэффициент трещинной пустотности (отношение суммарной площади трещин к площади породы); $E_{ск}$ — модуль деформации скального массива; $E_{бл}$ — модуль упругости скальной отдельности; V_p — скорость распространения продольных волн в массиве; $V_{рб}$ — скорость распространения продольных волн в скальной отдельности.

2 Слаботрещиноватые и очень сильнотрещиноватые массивы рекомендуется характеризовать одним значением M_j, относящимся к любой системе трещин. Средне- и сильнотрещиноватые массивы могут характеризоваться несколькими значениями M_j, относящимися к различным главным системам трещин.

При соответствующем обосновании в программе инженерно-геологических изысканий могут быть определены другие классификационные и физико-механические характеристики грунтов.

Библиография

[1] Федеральный закон от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений»

[2] Федеральный закон от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды»

[3] Федеральный закон от 24 апреля 1995 г. № 52-ФЗ «О животном мире»

[4] ПУЭ Правила устройства электроустановок (7-е изд.)

[5] ТР ТС 003/2011 Технический регламент Таможенного союза «О безопасности инфраструктуры железнодорожного транспорта»

[6] СП 11-105-97 Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть I. Общие правила производства работ

[7] СП 11-110-99 Авторский надзор за строительством зданий и сооружений

[8] СП 32-102-95 Сооружения мостовых переходов и подтопляемых насыпей. Методы расчета местных размывов

[9] СП 33-101-2003 Определение основных расчетных гидрологических характеристик

[10] ПМП-91 Пособие к СНиП 2.05.03-84 «Мосты и трубы» по изысканиям и проектированию железнодорожных и автодорожных мостовых переходов через водотоки

УДК 625.1 ОКС 93.040

Ключевые слова: искусственные сооружения, высокоскоростные железнодорожные линии, проектирование, строительство, высокоскоростные поезда, мосты, трубы, расчеты по предельным состояниям, нагрузки и воздействия, расчеты конструкций, схемы нагрузок, расчетные модели

Технический редактор *И.Е. Черепкова*
Корректор *Л.С. Лысенко*
Компьютерная верстка *Л.А. Круговой*

Сдано в набор 18.02.2020. Подписано в печать 02.06.2020. Формат 60×84 1/8. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 16,74. Уч.-изд. л. 15,15.
Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком свода правил

Создано в единичном исполнении во ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ» для комплектования Федерального информационного фонда стандартов, 117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.
gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru