



**Федеральное агентство железнодорожного транспорта**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ ИМПЕРАТОРА АЛЕКСАНДРА I»**  
(ФГБОУ ВО ПГУПС)  
190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

**УТВЕРЖДАЮ**

Заместитель генерального

директора ОАО «РЖД»

СОГЛАСОВАНО  
ПИСЬМОМ ОТ 16.01.2024 № 1590-АМ/03  
МИНИСТЕРСТВО  
СТРОИТЕЛЬСТВА И ЖИЛИЩНО -  
КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



О.В. Тони

«15» апреля 2024 г. № 647

## **СПЕЦИАЛЬНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ**

Проектирование, строительство и эксплуатация высокоскоростной  
железнодорожной магистрали Москва – Санкт-Петербург (ВСЖМ – 1)  
Изменение 1

Разработано:

Первый проректор - проректор по научной работе  
ФГБОУ ВО ПГУПС



Т.С. Титова

Санкт-Петербург  
2023

## Список исполнителей СТУ

Руководители разработки

Заведующий кафедрой «Изыскания и проектирование железных дорог»  
ФГБОУ ВО ПГУПС



С.В. Шкурников

Заведующий кафедрой «Строительство дорог транспортного комплекса»



А.Ф. Колос

Заведующий кафедрой  
«Железнодорожный путь»



А.В. Романов

Доцент кафедры «Электроснабжение железных дорог»



В.В. Сероносков

Заведующий кафедрой «Автоматика и телемеханика на железных дорогах»



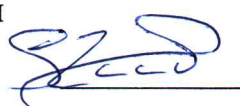
А.Б. Никитин

Доцент кафедры «Электрическая связь»



Д.Н. Роевков

Профессор кафедры «Электрическая связь»



А.К. Канаев

ФГБОУ ВО ПГУПС

Н.С. Бушуев, В.С. Шварцфельд, В.А. Анисимов, А.В. Бенин,  
В.В. Костенко, М.Я. Брынть, Н.Н. Богомолова, Д.А. Афонин,  
Е.В. Городнова, В.А. Алпысова, В.А. Голубцов, Ю.В. Федорова,  
О.С. Булакаева, Ю.А. Милюшкан, Н.В. Максимова, Н.А. Лабутич,  
А.В. Петряев, А.А. Конон, И.А. Терехин, А.Д. Манаков, О.А. Наседкин,  
В.В. Моисеев, В.А. Шатохин, О.А. Абрамов, В.В. Веселов, П.А. Плеханов

ФГАОУ ВО РУТ (МИИТ)  
Ю.А. Быков, В.С. Миронов

ФГБОУ ВО УрГУПС

Г.Л. Аккерман

ФГБОУ ВО ИрГУПС  
В.А. Подвербный

ООО «Инженерное бюро искусственных сооружений»  
Л.К. Дьяченко

АО «Универсал-контактные сети»  
Е.В. Кудряшов

## Содержание

1 Основные требования .....	8
1.1 Общие сведения.....	8
1.2 Термины и определения .....	15
1.3 Условные обозначения и сокращения.....	23
1.4 Нормативные ссылки.....	29
2 Проектирование высокоскоростной железнодорожной магистрали колеи 1520 мм Москва – Санкт-Петербург со скоростями движения до 400 км/ч .....	39
2.1. Основные требования .....	39
2.2 Основные требования к инженерным изысканиям .....	57
3 Земляное полотно высокоскоростной железнодорожной магистрали колеи 1520 мм Москва – Санкт-Петербург. Технические нормы и требования к проектированию и строительству .....	63
3.1 Общие сведения.....	63
3.2 Основные положения проектирования .....	64
3.3 Грунты земляного полотна и требования к ним .....	68
3.4 Основные конструктивные параметры земляного полотна .....	73
3.5 Проектирование и строительство насыпей .....	78
3.6 Проектирование и устройство выемок .....	82
3.7 Земляное полотно на карстоопасных участках.....	83
3.8 Земляное полотно станций и узлов .....	84
3.9 Устройства для отвода поверхностных и грунтовых вод .....	84
3.10 Защита и укрепление земляного полотна и водоотводных сооружений ....	86
3.11 Виброзащита земляного полотна .....	86
3.12 Особенности проектирования и строительства земляного полотна, возводимого в зимнее время .....	87
3.13 Контроль при строительстве земляного полотна .....	87
4 Верхнее строение пути высокоскоростной железнодорожной магистрали колеи 1520 мм Москва – Санкт-Петербург. Технические нормы и требования к проектированию и строительству.....	92
4.1 Основные требования к конструкции верхнего строения пути .....	92
4.2 Устройство бесстыкового пути.....	93
4.3 Конструкция безбалластного верхнего строения пути .....	96
4.4 Конструкция верхнего строения пути на балласте.....	101
4.5 Конструкция стрелочных переводов для безбалластного и балластного пути	101
4.6 Конструкция верхнего строения пути на мостах.....	103
4.7 Конструкция верхнего строения пути в тоннелях .....	103
4.8 Разработка мероприятий по защите от шума и вибрации при проектировании и строительстве верхнего строения пути.....	103
5 Железнодорожное электроснабжение высокоскоростной железнодорожной магистрали колеи 1520 мм Москва – Санкт-Петербург. Технические нормы и требования к проектированию и строительству .....	105

5.1 Общие сведения.....	105
5.2 Термины и определения .....	105
5.3 Нормативные ссылки .....	105
5.4 Тяговое электроснабжение.....	105
5.5 Внешнее электроснабжение .....	106
5.6 Тяговые подстанции и линейные устройства системы тягового электроснабжения .....	106
5.7 Тяговая сеть .....	107
5.8 Электроснабжение нетяговых потребителей .....	124
6 Железнодорожная автоматика и телемеханика высокоскоростной железнодорожной магистрали колеи 1520 мм Москва – Санкт-Петербург. Технические нормы и требования к проектированию, строительству.....	126
6.1 Общесистемные вопросы .....	126
6.2. Диспетчерский центр управления движением поездов. Требования к составу и расположению технологического оборудования .....	126
6.3 Станции, путевые посты и пункты концентрации оборудования. Требования к составу и расположению технологического оборудования .....	127
6.4. Требования к составным частям.....	127
6.5 Требования к проектированию .....	133
7 Железнодорожная электросвязь высокоскоростной железнодорожной магистрали колеи 1520 мм Москва – Санкт-Петербург. Технические нормы и требования к проектированию и строительству .....	136
7.1 Проводные сети и системы связи .....	136
7.2 Кабельные линии связи .....	155
7.3 Системы информирования пассажиров и оповещения работающих на путях .....	159
7.4. Железнодорожная радиосвязь .....	176
8 Автоматизированная система технического диагностирования и мониторинга объектов инфраструктуры и природно-климатических условий высокоскоростной железнодорожной линии Москва – Санкт-Петербург. Технические нормы и требования к проектированию и строительству .....	192
ПРИЛОЖЕНИЕ А .....	193
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	220
ПРИЛОЖЕНИЕ В .....	223
ПРИЛОЖЕНИЕ Г.....	232
ПРИЛОЖЕНИЕ Д .....	243
ПРИЛОЖЕНИЕ Е.....	254
Библиография .....	279

# **1 Основные требования**

## **1.1 Общие сведения**

### **1.1.1 Наименование и адрес объекта**

Высокоскоростная железнодорожная магистраль Москва – Санкт-Петербург (ВСЖМ-1).

### **1.1.2 Сведения о заказчике**

Открытое акционерное общество «Российские железные дороги» (ОАО «РЖД»).

Юридический адрес: 107174, г. Москва, Новая Басманная ул., д. 2

Фактический адрес: 107174, г. Москва, Новая Басманная ул., д. 2

Телефон/факс: +7 (499) 262-99-01 / +7 (499) 262-90-95

ИНН: 7708503727; КПП: 770801001

Генеральный директор-председатель правления – Белозёров О.В.

### **1.1.3 Сведения о генеральной проектной организации**

Акционерное общество «Росжелдорпроект» (АО «Росжелдорпроект»).

### **1.1.4 Сведения о разработчике СТУ**

Федеральное агентство железнодорожного транспорта. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I» (ФГБОУ ВО ПГУПС).

Юридический и фактический адрес: 190031, г. Санкт-Петербург, Московский пр., д. 9.

Телефон/факс: +7 (812)310-42-03/ +7(812)315-26-21

ИНН 7812009592; КПП 783801001

Ректор: Панычев А.Ю.

### **1.1.5 Основание для строительства**

Распоряжение Правительства РФ от 31 августа 2011 г. N 1522-р «Об утверждении плана мероприятий по реализации проектов организации движения высокоскоростного железнодорожного транспорта».

### **1.1.6 Основание для разработки СТУ**

1.1.6.1 Федеральный закон № 384-ФЗ от 30 декабря 2009 г. «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» п. 8 ст. 6.

1.1.6.2 «Положение о составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию», утвержденное Постановлением Правительства Российской Федерации от 16.02.2008 г. № 87 пункт 5.

### **1.1.7 Необходимость разработки СТУ**

СТУ разрабатываются в связи с недостаточностью требований в национальных стандартах и сводах правил, документах в области

стандартизации, в результате применения которых на обязательной основе обеспечивается соблюдение требований Федерального закона от 30 декабря 2009 г. N 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений», в том числе по разделам СТУ:

– Раздел 2 «Проектирование высокоскоростной железнодорожной магистрали колеи 1520 мм Москва – Санкт-Петербург со скоростями движения до 400 км/ч» разрабатывается в связи с:

- отсутствием в действующих нормативных документах требований к проектированию плана и продольного профиля линии, размещению отдельных пунктов и габаритам приближения строений для скоростей движения до 400 км/ч,
- ограничением применения СП 119.13330.2017 для скорости движения пассажирских поездов до 200 км/ч.;
- установлением дополнительных к СП 119.13330.2017 требований к проектированию плана и профиля пути;
- установлением дополнительных к СП 47.13330.2016 требований к проведению инженерных изысканий, вызванных необходимой точностью получения исходных данных для проектирования с целью обеспечения возможности строительства магистрали с минимальными деформациями в период эксплуатации при движении поездов со скоростью до 400 км/ч;
- установлением требований к расчету искусственных сооружений на аэродинамическое воздействие от высокоскоростных поездов при скоростях движения до 400 км/ч;
- установлением требований к конструктивно-технологическим решениям искусственных сооружений в теле насыпи при скоростях движения поездов до 400 км/ч;
- установлением дополнительных к СП 35.13330.2011 требований к устройству на мостовых сооружениях элементов контактной сети, лотков и кабельных коммуникаций, а также технологических и эксплуатационных обустройств;

– Раздел 3 «Земляное полотно высокоскоростной железнодорожной магистрали колеи 1520 мм Москва – Санкт-Петербург. Технические нормы и требования к проектированию и строительству» разрабатывается в связи с отсутствием требований к земляному полотну, работающему под вибродинамической нагрузкой с обеспечением минимально-допустимых деформаций при скоростях движения до 400 км/ч и ограничением применения раздела 5 СП 119.13330.2017 для скорости движения пассажирских поездов до 200 км/ч;

– Раздел 4 «Верхнее строение пути высокоскоростной железнодорожной магистрали колеи 1520 мм Москва – Санкт-Петербург. Технические нормы и требования к проектированию и строительству» разрабатывается в связи с отсутствием требований к проектированию конструкций верхнего строения пути для скоростей движения поездов до 400 км/ч, в том числе безбалластных конструкций бесстыкового пути, а

также с ограничением применения раздела 6 СП 119.13330.2017 для скорости движения пассажирских поездов до 200 км/ч;

– Раздел 5 «Железнодорожное электроснабжение высокоскоростной железнодорожной магистрали колеи 1520 мм Москва – Санкт-Петербург. Технические нормы и требования к проектированию и строительству» разрабатывается в связи с отсутствием требований к проектированию систем тягового энергоснабжения для скоростей движения поездов до 400 км/ч и ограничением действия ГОСТ Р 57670-2017 до скорости движения поездов - 250 км/ч;

– Раздел 6 «Железнодорожная автоматика и телемеханика высокоскоростной железнодорожной магистрали колеи 1520 мм Москва – Санкт-Петербург. Технические нормы и требования к проектированию и строительству» разрабатывается в связи с отсутствием требований к проектированию комплекса систем управления и безопасности движения поездов для скоростей до 400 км/ч, в составе системы централизованного контроля и управления стрелками, сигналами и маршрутами на станциях и системы, обеспечивающей безопасное автоматическое регулирование интервалов попутного следования поездов на перегонах;

– Раздел 7 «Железнодорожная электросвязь высокоскоростной железнодорожной магистрали колеи 1520 мм Москва – Санкт-Петербург. Технические нормы и требования к проектированию и строительству» разрабатывается в связи с отсутствием требований к проектированию систем передачи данных по радиосвязи на движущийся подвижной состав для скоростей движения поездов до 400 км/ч, а также для оперативной работы всех подсистем инфраструктуры в период эксплуатации ВСМ с заданной точностью и надежностью;

– Раздел 8 «Автоматизированная система технического диагностирования и мониторинга объектов инфраструктуры и природно-климатических условий высокоскоростной железнодорожной линии Москва – Санкт-Петербург. Технические нормы и требования к проектированию и строительству» разрабатывается для установления требований к системе технического диагностирования и мониторинга объектов инфраструктуры высокоскоростного железнодорожного транспорта в условиях движения поездов со скоростями до 400 км/ч.

Технические требования, установленные в СТУ, направлены на снижение риска причинения вреда (ущерба) охраняемым законом ценностям, определяемого в соответствии с Федеральным законом от 31 июля 2020 г. N 247-ФЗ «Об обязательных требованиях в Российской Федерации» при проектировании и строительстве высокоскоростной железнодорожной магистрали Москва – Санкт-Петербург.

### **1.1.8 Область применения**

Настоящие Специальные технические условия (далее – СТУ) содержат нормы и требования на проектирование новой высокоскоростной железнодорожной магистрали «Москва – Санкт-Петербург» (далее –



ВСЖМ-1), предназначенной для движения высокоскоростных пассажирских поездов со скоростью до 400 км/ч, пассажирских и специальных поездов.

### **1.1.9 Краткое описание объекта**

1.1.9.1 ВСЖМ-1 проектируется как комплекс путей, сооружений и устройств, предназначенных для обеспечения высокоскоростного железнодорожного сообщения, Москва – Санкт-Петербург со скоростями движения до 400 км/ч, с возможностью пропуска пассажирских и специальных поездов со скоростью до 200 км/ч.

1.1.9.2 Трасса высокоскоростной магистрали Москва – Санкт-Петербург проходит по территории шести субъектов Российской Федерации: городов Москвы и Санкт-Петербурга, Московской, Тверской, Новгородской, Ленинградской областей.

Трасса соединяет города Москву и Санкт-Петербург.

1.1.9.3 Район строительства располагается в средней части Восточно-Европейской (Русской) платформы. Геологическое строение состоит из складчатого кристаллического фундамента, не выходящего на поверхность, перекрытого породами осадочного чехла.

Породы кристаллического фундамента представлены гранитами и гнейсами архейского (A) и протерозойского (PR) возраста.

В составе осадочного чехла – отложения фанерозоя палеозойской эры (кембрия (Є), ордовика (O), силура (S) и девона (D), карбона (C), перми (P); мезозойской эры юры (J) и триаса (T), и четвертичные отложения (Q) кайнозойской эры.

Из четвертичных отложений наибольшее площадное распространение имеют ледниковые, позднеледниковые и межледниковые отложения, в меньшей степени распространены аллювиальные, озерные, болотные и техногенные.

На территории Русской платформы в предполагаемой полосе трассы залегают отложения днепровского (gII<sub>d</sub>), валдайского: (калининская (gIII<sub>k</sub>) и ошашковская (gIII<sub>os</sub>) стадии) оледенений. Собственно ледниковые отложения (морена) в основном представлены глинистыми грунтами от твердой до мягкопластичной консистенции с неравномерным включением валунов, гальки, гравия скальных и полускальных пород. Позднеледниковые – песками различной крупности, супесями, суглинками, ленточными глинами. Межледниковые отложения – песками, супесями, суглинками с включением органики, прослойками заторфованных грунтов.

Аллювиальные отложения равнинных рек (русловые, старичные, пойменные, надпойменные), как правило, характеризуются мелко- и тонкодисперсными фациями с содержанием органики, на старичных участках с прослоями и линзами торфа.

На русской равнине имеют распространение болота верхового, низинного и смешанного типа, это связано с достаточно большим количеством выпадающих осадков и их малой испаряемостью.

Болотные отложения представлены торфом разной степени разложения, сапропелем. Мощность торфа верховых болот не превышает трех, в редких случаях пяти метров; низинных болот – десяти метров, в редких случаях – тридцати.

Техногенные отложения имеют наибольшее распространение вблизи больших городов, на осваиваемых территориях. Они неоднородны по составу, мощности, физико-механическим свойствам и степени экологического загрязнения.

Гидрография характеризуется развитой озерно-речной системой и искусственными водоемами – водохранилищами, каналами, прудами. Наиболее крупные реки, пересекаемые трассой: Волхов, Тверца, Волга, Шоша, Клязьма. Кроме того, трасса пересекает более трех десятков средних и малых рек. Для рек характерно высокое весеннее половодье, обусловленное преимущественно снеговым питанием, что провоцирует подтопление прилегающих территорий. Следует отметить, что в последнее десятилетие наблюдается значительное увеличение дождей осадков в летний и осенний периоды, провоцирующее дополнительное подтопление территорий.

Озера встречаются трех генетических типов:

- ледниковые, наиболее ярко выраженные на Валдайской возвышенности;
- речных долин, приуроченные к поймам и надпойменным террасам рек;
- карстовые, распространенные в местах неглубокого залегания известняков, имеющие сложное очертание в плане, образующие озерно-речную систему с глубоко врезынными долинами.

Гидрогеология характеризуется наличием артезианских бассейнов, грунтовых вод и верховодки. Наибольший бассейн артезианских вод – Московский (площадь бассейна более 500 км<sup>2</sup>) – приурочен к Московской синеклизе. Мощность осадочного чехла содержит 15 водоносных горизонтов различного возраста.

Грунтовые воды валдайской и московской стадий днепровского оледенения характеризуются спорадическим распространением и глубиной залегания до 10 метров. Грунтовые воды, приуроченные к флювиогляциальным и аллювиальным отложениям, залегают на глубине от 0 до 20 метров. Водовмещающая порода флювиогляциальных отложений – преимущественно пески различной крупности; аллювиальных отложений – крупнообломочные грунты, пески различной крупности, торфы, илы.

На территории имеют развитие опасные геологические процессы: плоскостная эрозия, оползни, оврагообразование, карст, подтопление.

Плоскостная эрозия проявляется на склонах крутизной свыше 3-5° и резко увеличивается при крутизне более 15°. Процесс эрозии усиливается при удалении почвенно-растительного слоя. Интенсивность плоскостной эрозии предопределяется коэффициентом фильтрации пород, с уменьшением коэффициента фильтрации возрастает интенсивность эрозии, поэтому

процессу эрозии в большей степени при прочих равных условиях подвержены супеси, суглинки и глины.

Оползни имеют достаточно широкое распространение, чаще всего они приурочены к берегам рек, водохранилищ и бортам глубоких оврагов, склонам Валдайской возвышенности. Оползневые явления наблюдаются практически во всех стратиграфических подразделениях, имеющих в разрезе глинистые грунты. Основной причиной образования глубинных оползней является паводковый подмыв, наличие слабых прослоек глинистых грунтов, в том числе расположенных ниже подошвы склона. Глубокие оползни-блоки зафиксированы в пределах распространения калининского оледенения.

Густота овражного расчленения от Москвы до Санкт-Петербурга, в основном, характеризуется минимальными значениями – до  $0,01 \text{ км/км}^2$ , на отдельных небольших по площади участках крутых склонов речных долин Волги и в Подмосковье составляет  $0,01–0,1 \text{ км/км}^2$ .

Карст на рассматриваемой территории Русской равнины обусловлен наличием в геологическом строении карбонатных пород, выходящих на поверхность или перекрытых маломощными слоями. На данной территории развит поверхностный и подземный карст, проявляющийся в виде воронок, провалов, западин, сухих долин, карстовых озер и трещин, подземных рек. Карст распространен в долинах реки Волхов, на Ижорском плато и Валдайской возвышенности. В районе г.Селижарово вскрыты подземные каналы и пустоты.

1.1.9.4 Климат района строительства ВСЖМ-1 – умеренно континентальный, сезонность четко выражена: лето теплое, зима умеренно холодная. Самый холодный месяц – январь: среднемесячная температура в Москве (минус  $7,3^{\circ}\text{C}$ ), в Санкт-Петербурге (минус  $5,4^{\circ}\text{C}$ ); самый теплый – июль: среднемесячная температура в Москве – плюс  $24,6^{\circ}\text{C}$ , в Санкт-Петербурге – плюс  $21,6^{\circ}\text{C}$ . Среднегодовое количество осадков – около 700 мм в год. Наиболее дождливые месяцы – июнь и июль, наиболее ветреные – декабрь и март. Преобладающие направления ветра на рассматриваемой территории проектирования трассы – Южный и Юго-западный.

При проектировании трассы ВСЖМ-1 необходимо учитывать значительное изменение гидрометеорологических условий на данной территории. К наиболее характерным изменениям относится: усиление ветров, увеличение количества выпадающих осадков, в том числе ледяных дождей, способствующих развитию опасных процессов, включающих подтопление территорий во время паводков и наводнений, активизацию карста, оврагообразования, оползней и др.

1.1.9.5 ВСЖМ-1 проектируется двухпутной с шириной колеи 1520 мм со скоростями движения высокоскоростных пассажирских поездов до 400 км/ч при максимальной статической нагрузке на ось не более 171,7 кН, с возможностью пропуска пассажирских и специальных поездов со скоростями движения до 200 км/ч.

Максимальная статическая нагрузка на ось электровозов для пассажирских и специальных поездов принимается 226 кН, а пассажирских вагонов – 210 кН.

1.1.9.6 ВСЖМ-1 проектируется с электрической тягой.

1.1.9.7 Все сооружения и устройства ВСЖМ-1 и подвижного состава должны быть совместимы между собой.

1.1.9.8 При проектировании участков пути главного хода ВСЖМ-1 с реализуемыми скоростями движения поездов не более 200 км/ч и станционных путей (кроме главных и приемо-отправочных), используется существующая нормативная база. Исключение составляют сооружения или их составные части, для которых применяются инновационные проектные решения, специфические для ВСЖМ-1.

1.1.9.9 Основные данные Обоснований инвестиций:

- длина участка Москва – Санкт-Петербург составляет (ориентировочно) 679 км;

- максимальный уклон 24 ‰.

1.1.9.10 Перечень Разделов специальных технических условий для проектирования и строительства высокоскоростной железнодорожной магистрали Москва – Санкт-Петербург:

- Раздел 1 «Основные требования»;

- Раздел 2 «Проектирование высокоскоростной железнодорожной магистрали колеи 1520 мм Москва – Санкт-Петербург со скоростями движения до 400 км/ч»;

- Раздел 3 «Земляное полотно высокоскоростной железнодорожной магистрали колеи 1520 мм Москва – Санкт-Петербург. Технические нормы и требования к проектированию и строительству»;

- Раздел 4 «Верхнее строение пути высокоскоростной железнодорожной магистрали колеи 1520 мм Москва – Санкт-Петербург. Технические нормы и требования к проектированию и строительству»;

- Раздел 5 «Железнодорожное электроснабжение высокоскоростной железнодорожной магистрали колеи 1520 мм Москва – Санкт-Петербург. Технические нормы и требования к проектированию и строительству»;

- Раздел 6 «Железнодорожная автоматика и телемеханика высокоскоростной железнодорожной магистрали колеи 1520 мм Москва – Санкт-Петербург. Технические нормы и требования к проектированию и строительству»;

- Раздел 7 «Железнодорожная электросвязь высокоскоростной железнодорожной магистрали колеи 1520 мм Москва – Санкт-Петербург. Технические нормы и требования к проектированию и строительству»;

- Раздел 8 «Автоматизированная система технического диагностирования и мониторинга объектов инфраструктуры и природно-климатических условий высокоскоростной железнодорожной линии Москва – Санкт-Петербург. Технические нормы и требования к проектированию и строительству».

1.1.9.11 Проектирование и строительство искусственных сооружений высокоскоростной железнодорожной магистрали колеи 1520 мм Москва – Санкт-Петербург в части, не противоречащей настоящим СТУ, необходимо выполнить в соответствии с СП 453.1325800.2019.

1.1.9.12 Для разработки шумозащитных мероприятий при проектировании ВСЖМ-1 следует руководствоваться положениями СП 338.1325800.2018, в том числе и для скоростей более 200 км/ч.

1.1.9.13 При проектировании объектов инфраструктуры ВСЖМ-1 на участках с реализуемыми скоростями движения поездов менее 200 км/ч следует руководствоваться действующими нормативными документами, ссылки на которые содержатся в п. 1.4, за исключением отдельных положений, отраженных в тексте настоящих СТУ, ужесточающих или дополняющих требования действующей нормативной базы с учетом специфики объекта ВСЖМ-1.

## 1.2 Термины и определения

В настоящих СТУ применяются следующие термины с соответствующими определениями и сокращениями:

**безбалластное верхнее строение пути (БВСП):** составная часть подсистемы железнодорожный путь инфраструктуры высокоскоростного железнодорожного транспорта; конструкция верхнего строения пути, состоящая из рельсовых плетей, упругих промежуточных рельсовых скреплений, подрельсовых опор, несущего основания из плит или монолитного бетона, гидравлически связанного несущего слоя;

**безопасность инфраструктуры железнодорожного транспорта:** состояние инфраструктуры железнодорожного транспорта, при котором отсутствует недопустимый риск, связанный с причинением вреда жизни или здоровью граждан, имуществу физических или юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу, а также окружающей среде, жизни или здоровью животных и растений;

**бесстыковой путь:** элемент составной части верхнее строение пути подсистемы железнодорожный путь инфраструктуры высокоскоростного железнодорожного транспорта; температурно-напряженная конструкция пути со сварными рельсовыми плетями, у которых при изменении температуры удлиняются или укорачиваются концевые участки длиной до 50-70 м, а на остальном протяжении возникают продольные силы, пропорциональные изменению температуры;

**валидация математической (геомеханической) модели:** подтверждение адекватности математической модели моделируемому объекту с выделением диапазона решаемых задач;

**верхнее строение пути:** составная часть подсистемы железнодорожный путь инфраструктуры высокоскоростного железнодорожного транспорта, предназначенная для обеспечения пространственной стабильности рельсовой колеи и направляющей функции

для колес подвижного состава, распределения нагрузки от подвижного состава на нижнее строение пути и снижения генерируемых подвижным составом вибраций до приемлемого уровня; может быть представлено безбалластной конструкцией (БВСП) или конструкцией на балласте;

**высокоскоростная железнодорожная магистраль (ВСЖМ-1):** комплекс путей, сооружений и устройств, предназначенных для обеспечения железнодорожного сообщения Москва – Санкт-Петербург со скоростью движения пассажирских поездов до 400 км/ч;

**высокоскоростная железнодорожная магистраль (ВСМ):** железнодорожная линия, на которой на всей ее длине или на отдельных участках обращаются пассажирские поезда со скоростями свыше 200 км/ч;

**высокоскоростное движение пассажирских поездов:** движение пассажирских поездов со скоростями свыше 200 км/ч;

**габарит контактной сети:** очертание, в которое вписываются все находящиеся под напряжением элементы воздушной контактной сети с учетом изоляционного расстояния и вне которого должны размещаться все другие стационарные устройства;

**габарит подвижного состава ВСЖМ-1:** поперечное (перпендикулярное оси пути) очертание, в котором, не выходя наружу, должен помещаться установленный на прямом горизонтальном пути, как в порожнем, так и в нагруженном состоянии не только высокоскоростной, но и новый подвижной состав, и подвижной состав, имеющий максимально нормируемые износы;

**габарит приближения строений ВСЖМ-1:** предельное поперечное, перпендикулярное оси пути очертание, внутрь которого помимо подвижного состава не должны заходить никакие части сооружений и устройств, а также лежащие около пути материалы, запасные части и оборудование;

**габарит С400:** предельные поперечные (перпендикулярные оси пути) очертания на участках со скоростями движения свыше 200 до 400 км/ч, внутрь которых помимо подвижного состава не должны заходить никакие части сооружений и устройств, а также находящееся около пути оборудование, за исключением частей устройств, предназначенных для непосредственного взаимодействия с подвижным составом, при условии, что положение этих устройств во внутригабаритном пространстве увязано с частями подвижного состава, с которыми они могут соприкасаться, и что они не могут вызвать соприкосновения с другими элементами подвижного состава;

**геотехнические модели с объемным упрочнением:** модели механического поведения грунта, в которых вводятся поверхность текучести при уплотнении, а также зависимость, описывающая поведение грунта при деформациях формоизменения;

**геотехнический программный комплекс:** специализированное программное обеспечение для инженерного анализа, позволяющее моделировать физические процессы путем реализации моделей грунта численными методами;

**гидравлически связный несущий слой:** элемент безбалластного верхнего строения пути. Конструктивно располагается между несущей конструкцией безбалластного верхнего строения пути и верхним защитным слоем земляного полотна. Воспринимает нагрузку от несущей конструкции безбалластного верхнего строения пути, упруго перерабатывает ее и передает на верхний защитный слой земляного полотна;

**диспетчерский пост:** отдельный пункт, состоящий из пары разносторонних диспетчерских съездов и служащий для перевода движения с одного главного пути на другой в нештатной ситуации или при производстве ремонтных работ;

**железнодорожная линия:** технологический комплекс, включающий в себя главный железнодорожный путь с единым счетом километров, железнодорожные станции, полосу отвода земли и совокупность устройств железнодорожного электроснабжения, железнодорожной автоматики и телемеханики, железнодорожной электросвязи, здания, строения, сооружения, устройства и оборудование, обеспечивающие функционирование этого комплекса и безопасное движение железнодорожного подвижного состава;

**железобетонная шпала:** элемент составной части верхнего строения пути подсистемы железнодорожный путь инфраструктуры высокоскоростного железнодорожного транспорта; брус специального профиля и армирования, изготовленный из напряженного бетона, предназначенный для опирания рельсов в железнодорожном пути;

**защитные слои:** слои грунта, укладываемые в верхней части земляного полотна с целью увеличения несущей способности и морозостойкости, а также снижения деформативности основной площадки земляного полотна;

**защитные сооружения железнодорожного пути:** постоянные или временные, поверхностные или заглубленные сооружения и устройства, предназначенные для защиты от неблагоприятных природных воздействий материалов или конструкций строений, входящих в комплекс железнодорожного пути;

**защитные сооружения земляного полотна (защитные сооружения):** сооружения, построенные для защиты земляного полотна от разрушения, повреждений и загромождения в результате действия опасных природных явлений и процессов;

**здание:** результат строительства, представляющий собой объемную строительную систему, имеющую надземную и (или) подземную части, включающую в себя помещения, сети инженерно-технического обеспечения и системы инженерно-технического обеспечения и предназначенную для проживания и (или) деятельности людей, размещения производства, хранения продукции или содержания животных;

**зона оповещения:** неделимая совокупность путевых элементов станции или перегона, на которой могут проводиться работы и для которой предусматривается подача сигнала оповещения о приближении поезда;

**изменение температуры рельсовой плети:** разница между температурой закрепления и фактической температурой рельсовой плети вследствие ее нагрева или охлаждения;

**индивидуальное проектирование земляного полотна:** разработка конструкций земляного полотна на участках со сложными топографическими и природными условиями, поперечные профили которых обосновываются инженерными расчетами, доказывающими выполнение требований безопасности;

**информационная модель объекта:** совокупность взаимосвязанных сведений, документов и материалов об объекте капитального строительства или линейном объекте, формируемых в электронном виде на этапах выполнения инженерных изысканий, осуществления архитектурно-строительного проектирования, строительства, реконструкции, капитального ремонта, эксплуатации и (или) сноса объекта капитального строительства;

**инфраструктура высокоскоростного железнодорожного транспорта:** технологический комплекс, включающий в себя подсистемы инфраструктуры высокоскоростного железнодорожного транспорта, такие как железнодорожный путь, железнодорожное электроснабжение, железнодорожная автоматика и телемеханика, железнодорожная электросвязь, станционные сооружения и устройства, а также составные части подсистем и элементы составных частей подсистем инфраструктуры высокоскоростного железнодорожного транспорта;

**конечная пассажирская станция:** отдельный пункт, располагаемый в крупном городе, где начинают или заканчивают свое следование все высокоскоростные пассажирские поезда;

**координация нормативных документов в области высокоскоростного движения пассажирских поездов:** согласование технических регламентов, правил и отраслевых стандартов в области российского железнодорожного транспорта с международными нормами и стандартами по ВСЖМ-1;

**междупутное расстояние (расстояние между осями путей):** кратчайшее (по нормали) расстояние между осями соседних путей, обеспечивающее безопасное движение поездов с учетом взаимодействия встречных высокоскоростных и высокоскоростного и обычного поездов, размещения необходимых устройств и сооружений (платформ, опор контактной сети и др.);

**мобильные диагностические средства (МДС):** прицепная или самоходная железнодорожная единица, оснащенная средствами технического диагностирования и мониторинга, предназначенная для автоматизированного контроля и оценки состояния железнодорожного пути;

**модули деформации (при первичном и повторном нагружении)  $E_{V_1}$ ,  $E_{V_2}$ :** показатели, определяемые величиной общей деформации от прикладываемой нагрузки при проведении измерений методом статического нагружения при первичном и повторном циклах нагружения;

**модуль деформации  $E_{vd}$ :** показатель, определяемый величиной



деформации от прилагаемой нагрузки при проведении измерений методом динамического нагружения;

**модуль упругости пути:** численно равен распределенному реактивному упругому отпору подрельсового основания, возникающему на единице длины рельса, отнесенному к единице прогиба;

**мониторинг:** систематическое или непрерывное наблюдение за объектом с обеспечением контроля и/или измерения его параметров диагностирования, а также проведение анализа с целью предсказания изменчивости параметров диагностирования и принятия решения о необходимости и составе корректирующих и предупреждающих действий;

**несущая конструкция безбалластного верхнего строения пути:** элемент безбалластного верхнего строения пути. Состоит из плит промышленного изготовления или монолитного бетона. Непосредственно воспринимает нагрузку от промежуточных рельсовых скреплений или подрельсовых опор, перераспределяет, упруго перерабатывает и передает ее на гидравлически связанный несущий слой. Обеспечивает заданную точность положения рельсовой колеи в плане и профиле;

**нормативная документация:** документация, устанавливающая комплекс норм, правил, положений, требований, обязательных при проектировании, строительстве, реконструкции, капитальном ремонте и эксплуатации зданий и сооружений, а также при изготовлении строительных конструкций, изделий и материалов (СНиП, ГОСТ, ТУ, ТСН и т.д.);

**обгонный пункт:** отдельный пункт с путевым развитием, обеспечивающим обгон высокоскоростными поездами других категорий поездов, а также при необходимости пересадку пассажиров из неисправного в исправный поезд;

**обратный провод (тяговой рельсовой сети):** провод, расположенный на опорах железнодорожной контактной сети и включенный параллельно железнодорожной тяговой рельсовой сети, используемый для заземления опор контактной сети и снижения электрических потенциалов рельсов относительно земли;

**опасные природные и техногенные процессы и явления:** событие природного (техногенного) происхождения или результат деятельности природных (техногенных) процессов, которые по своей интенсивности, масштабу распространения и продолжительности могут вызвать поражающее воздействие на людей, объекты экономики и окружающую природную среду;

**оптимальная температура закрепления рельсовой плети:** температура закрепления рельсовых плетей с установленными допусками, при которой обеспечивается прочность и устойчивость бесстыкового пути, а также создаются наиболее благоприятные технологические и экономические условия для проведения путевых работ;

**пассажирская промежуточная станция:** отдельный пункт с путевым развитием, на котором обеспечивается остановка части высокоскоростных пассажирских поездов для посадки, высадки и в необходимых случаях

пересадки пассажиров, а также безопасный пропуск высокоскоростных поездов без остановки;

**пассажирская техническая станция:** отдельный пункт (или парк крупной станции), служащий для комплексного технического обслуживания и ремонта высокоскоростных поездов;

**патрульная автомобильная дорога:** автодорога, расположенная на территории промышленного или иного предприятия (организации), находящаяся на его балансе, обслуживающая его производственные, технологические перевозки и подъезды к нему;

**поверхность текучести:** графическое представление уровня напряжений, характеризующего границу области упругого поведения грунта;

**подсистема диагностики и мониторинга:** система, обеспечивающая контроль технического состояния устройств и систем железнодорожной автоматики и телемеханики;

**подсистема диспетчерского управления:** телемеханическая система, обеспечивающая удаленное управление маршрутами на станциях;

**подсистема интервального регулирования движения поездов на перегонах и станциях:** комплекс аппаратно-программных средств для пространственного разграничения поездов на высокоскоростной железнодорожной магистрали с обеспечением требований безопасности движения поездов;

**подсистема управления стрелками и светофорами на станциях:** комплекс аппаратно-программных средств для управления стрелками, светофорами и другими объектами, обеспечивающий безопасность движения поездов и маневровых передвижений составов на станциях;

**подтопление временное:** подтопление насыпи, при котором уровень поверхностных вод сохраняется не более 30 суток;

**полоса отвода земли:** земельные участки, которые прилегают к железнодорожным путям, заняты ими или предназначены для них, а также необходимые для различных сооружений и устройств железнодорожного транспорта;

**пост примыкания:** отдельный пункт без путевого развития, устраиваемый в случае соединения или разветвления магистральных железнодорожных линий вне станций. Пост примыкания обычно состоит из стрелочных переводов пологих марок для распределения направления движения поездов и предохранительных тупиков;

**пост ЭЦ:** помещение на железнодорожной станции (здание, транспортабельный модуль), в котором располагается комплекс технических средств для управления движением поездов и маневровых единиц на станциях и сортировочных горках, обеспечивающих функционирование сигналов (светофоров), стрелок, их взаимозависимость, установку и замыкание маршрутов, контроль проследования поездов по маршрутам, размыкание маршрутов;

**радиоблокцентр:** стационарный комплекс программно-аппаратных средств для интервального регулирования движения поездов по радиоканалу;

**расстояние между осями путей ВСЖМ-1:** кратчайшее (по нормали) расстояние между осями соседних путей, обеспечивающее безопасное движение поездов по соседним путям с учетом взаимодействия встречных высокоскоростных и высокоскоростного и обычного поездов, размещения необходимых устройств и сооружений (платформ, опор контактной сети);

**режим пропуска высокоскоростного поезда:** состояние устройств инфраструктуры при организации движения высокоскоростных поездов по участку с автоматической установкой маршрутов по главным путям станций;

**рельсовая плеть:** элемент составной части верхнее строение пути подсистемы железнодорожный путь инфраструктуры высокоскоростного железнодорожного транспорта; рельс, имеющий длину более стандартной, изготовленный сваркой рельсов стандартной длины;

**рельсы новые железнодорожные:** элемент составной части верхнего строения пути подсистемы железнодорожный путь инфраструктуры высокоскоростного железнодорожного транспорта; рельсы железнодорожные первично укладываемые (уложенные) в железнодорожный путь;

**система информирования пассажиров о приближении высокоскоростного состава, СИП:** система, предназначенная для подачи сигналов пассажирам и иным лицам, находящимся на платформе, о необходимости соблюдения мер безопасности, связанных с прохождением мимо платформы высокоскоростного поезда;

**сложные инженерно-геологические условия:** наличие в основании земляного полотна специфических грунтов и (или) риска возникновения (развития) опасных геологических процессов и явлений на территории, по которой проходит высокоскоростная железнодорожная магистраль;

**сложные топографические условия:** участки железнодорожной линии, где по условиям рельефа имеются рабочие отметки земляного полотна, превышающие 12 м, либо участки, расположенные на склонах с крутизной, превышающей 1:5;

**сложные природные условия:** наличие специфических по составу и состоянию грунтов и/или риска возникновения (развития) опасных природных процессов и явлений и/или техногенных воздействий на территории, на которой будут осуществляться строительство, реконструкция и эксплуатация железнодорожной линии и других сооружений;

**соединительная (железнодорожная) линия:** железнодорожная линия, соединяющая станцию на высокоскоростной железнодорожной магистрали с действующей станцией железнодорожной магистрали;

**сооружение:** результат строительства, представляющий собой объемную, плоскостную или линейную строительную систему, имеющую наземную, надземную и (или) подземную части, состоящую из несущих, а в отдельных случаях и ограждающих строительных конструкций и предназначенную для выполнения производственных процессов различного вида, хранения продукции, временного пребывания людей, перемещения людей;

**специальный поезд:** железнодорожный подвижной состав, предназначенный для обеспечения строительства и функционирования инфраструктуры железнодорожного транспорта при максимальной статической нагрузке на ось не более 226 кН;

**специфические грунты:** грунты, обладающие специфическими свойствами, которые под действием природных факторов изменяют свои прочностные или деформативные характеристики;

**сплошное ограждение:** не имеющее разрывов (за исключением технологических) инженерное средство физической защиты, предназначенное для исключения случайного прохода людей, животных, въезда транспорта, препятствующее проникновению нарушителя на территорию охраняемого объекта;

**средства технического диагностирования:** аппаратура и программы, с помощью которых осуществляется диагностирование (контроль);

**температура закрепления плети:** температура рельсовой плети, при которой она была закреплена на подрельсовых опорах;

**температура рельсов:** температура рельсов в процессе изготовления плетей, укладки и эксплуатации, измеряемая непосредственно на рельсах (в летнее время, как правило, выше температуры воздуха);

**техническое диагностирование:** определение технического состояния объекта;

**техническое состояние объекта:** состояние, которое характеризуется в определенный момент времени, при определенных условиях внешней среды, значениями параметров, установленных технической документацией на объект;

**удельная эффективная активность естественных радионуклидов:** отношение активности радионуклида в образце к массе образца;

**уравнительный прибор:** элемент составной части верхнее строение пути подсистемы железнодорожный путь инфраструктуры высокоскоростного железнодорожного транспорта; подвижной рельсовый стык специальной конструкции для соединения рельсовых плетей, допускающий значительные (более 320 мм) продольные перемещения конца одного рельса относительно другого;

**уравнительный стык:** элемент составной части верхнего строения пути подсистемы железнодорожный путь инфраструктуры высокоскоростного железнодорожного транспорта; подвижной рельсовый стык специальной конструкции для соединения рельсовых плетей на мостах или со стрелочными переводами, допускающий малые (не более 320 мм) продольные перемещения конца одного рельса относительно другого;

**участки применения предельно допустимых норм (значений):** топографические, инженерно-геологические, планировочные и другие местные условия, при которых соблюдение настоящих норм требует экономически неоправданных капитальных вложений;

**участок переменной жесткости (УПЖ):** элемент составной части верхнее строение пути подсистемы железнодорожный путь инфраструктуры

высокоскоростного железнодорожного транспорта; специальная конструкция пути с плавным изменением жесткости, предусматриваемая в местах сопряжения безбалластного верхнего строения пути и пути на балласте;

**хозяйственный поезд:** специальный подвижной состав или путевые машины, предназначенные для выполнения ремонтных путевых работ;

**штамповые испытания:** метод испытаний, заключающийся в последовательном ступенчатом нагружении и разгрузении грунта штампом с измерением нагрузки на штамп и его осадки;

**эффективное напряжение:** напряжение, действующее в скелете грунта, определяемое как разность между полным напряжением в образце грунта и поровым давлением.

### 1.3 Условные обозначения и сокращения

В настоящих СТУ применены следующие обозначения и сокращения:

АВС – аварийно-восстановительная связь

АКБ – аккумуляторная батарея

АЛС – автоматическая локомотивная сигнализация

АЛС-ЕН – многозначная автоматическая локомотивная сигнализация

АРМ – автоматизированное рабочее место

АРМ ДНЦ – автоматизированное рабочее место диспетчера

АРМ ДСП – автоматизированное рабочее место дежурного по станции

АРМ ШН – автоматизированное рабочее место электромеханика (инженера)

АРМ-З – автоматизированное рабочее место дежурного по зонам информирования

АРМ-СМА – автоматизированное рабочее место системы мониторинга и администрирования

АСКУЭ – автоматизированная система контроля расхода электроэнергии

АСТДМ – автоматизированная система технического диагностирования и мониторинга ОИ и ПКУ

АФТ – антенно-фидерный тракт

БД – база данных

БСС – блок сетевой синхронизации

БСПД – беспроводная система передачи данных

БЖЧС – безопасность жизнедеятельности в чрезвычайных ситуациях

ВЗГ – генератор задающий вторичный

ВКС – высокоточная координатная система

ВОК – волоконно-оптический кабель

ВОЛП – волоконно-оптическая линия передачи

ВОЛС – волоконно-оптическая линия связи

ВС – высокоскоростной

ВСП – верхнее строение пути

ВСЖМ-1 – высокоскоростная железнодорожная магистраль Москва – Санкт-Петербург

ВСМ – высокоскоростная магистраль

ВСТСПД – высокоскоростная технологическая сеть передачи данных

ВУ – вводное устройство

ГЛОНАСС – Глобальная навигационная спутниковая система

ГО – гражданская оборона

ДГУ – дизельная генераторная установка

ДНЦ – поездной диспетчер

ДПС – двухсторонняя парковая связь

ЕСМА – единая система мониторинга и администрирования технологической связи ОАО «РЖД»

ЖАТ – железнодорожная автоматика и телемеханика

ЗОЗ – зона ограничения застройки

ЗП – земляное полотно

ИНО – индивидуальный носимый оповещатель о приближении подвижного состава

ИРДП – интервальное регулирование движения поездов

ИС – измерительные системы

ИССО – искусственные сооружения

ИУС – информационно-управляющая система

КПО – коллективный переносимый оповещатель о приближении подвижного состава

КС – контактная сеть

ЛСО – локальная система оповещения

ЛТ – линейный тракт

МДС – мобильные диагностические средства

МЖС – межстанционная связь

МЗГ – генератор задающий местный

МПЦ – микропроцессорная централизация

МСЭ-Т – обозначение стандарта

ОбТС – общетехнологическая телефонная связь

ОГС – опорная геодезическая сеть

ОИ – объект инфраструктуры

ОК – объектный контроллер (раздел 6)

ОК – оптический кабель (раздел 7)

ОКС – общекабельная сигнализация

ОТПО – охраняемые территории полосы отвода

ОТС – оперативно-технологическая связь

ОУ – оптический усилитель

ОУТ СС – управление технологическими сетями связи

ПАК – пост акустического контроля

ПГС – перегонная связь

ПДС – поездная диспетчерская связь

ПЕ – подвижная единица

ПКУ – природно-климатические условия  
 ПО – программное обеспечение  
 ППУ – парковое переговорное устройство  
 ППУ.В – внутреннее парковое переговорное устройство  
 ППУ.У – упрощенное парковое переговорное устройство  
 ПР – пульт руководителя в системе парковой связи  
 ПРС – поездная радиосвязь  
 ПРСЦ-160 – система передачи данных в радиочастотном диапазоне 160 МГц  
 ПТЭ – правила технической эксплуатации  
 ПУ – периферийный узел  
 ПУЭ – правила устройства электроустановок  
 ПЭГ – генератор эталонный первичный  
 РАЭС – резервная автономная электростанция  
 РБЦ – радиоблокцентр  
 РМ-1 – рабочие места в системе СМА  
 РН – носимая радиостанция  
 РОРС – ремонтно-оперативная радиосвязь  
 РСУДП – российская система управления движением поездов  
 РУ – региональный узел  
 СЕВ – система Единого времени ОАО «РЖД»  
 СЗЗ – санитарно-защитная зона  
 СИП – система информирования пассажиров  
 СКП – средняя квадратическая погрешность  
 СМА – система мониторинга и администрирования  
 СМИК – система мониторинга инженерных конструкций  
 СМИС – система мониторинга и управления инженерными системами  
 СПД – сеть передачи данных  
 СПД ОБТН – сеть передачи данных общетехнологического назначения  
 СПД ОТН – сеть передачи данных оперативно-технологического назначения  
 СДС – стационарные диагностические средства  
 СРС – система радиосвязи  
 СС – станционный сервер  
 СТЗ – служебно-техническое здание  
 СТУ – специальные технические условия  
 СУБД – система управления базами данных  
 СУДП – система управления движением поездов  
 СЭ – сетевой элемент  
 СЦИ – синхронная цифровая иерархия  
 ТАРБ – терминальный абонентский радиоблок  
 ТД – техническое диагностирование  
 ТДМ – техническое диагностирование и мониторинг  
 ТЗВ – типовое звено  
 ТИ – телеизмерения

ТО – техническое обслуживание  
 ТП – тяговая подстанция  
 ТПУ – транзитно-периферийный узел транспортной сети связи  
 ТР – технические решения  
 ТС – телесигнализация (раздел 6)  
 ТС – типовая секция (раздел 7)  
 ТСС – система тактовой сетевой синхронизации  
 ТУ – телеуправление  
 УВК – управляющий вычислительный комплекс  
 УК РСУДП – управляющий комплекс российской системы управления движением поездов  
 УП – установка питания  
 УПАТС – учрежденческо-производственная автоматическая телефонная станция  
 УПЖ – участок переменной жесткости  
 УТ – трансляционный усилитель  
 ДЦУ – диспетчерский центр управления движением поездов  
 ЦИС – центральный информационный сервер  
 ЦИСОП – централизованная система информирования пассажиров, оповещения работающих на железнодорожных путях и парковой станционной связи  
 ЦСС – Центральная станция связи – филиал ОАО «Российские железные дороги»  
 ЦСТР – цифровая система технологической радиосвязи  
 ЦТО – центр технического обслуживания  
 ЦТУ – центр технологического управления  
 ЦФАПЧ – цифровая фазовая автоподстройка частоты  
 ЧС – чрезвычайная ситуация  
 ЭДС – энергодиспетчерская связь  
 ЭМС – электромагнитная совместимость  
 ЭПУ – электропитающая установка  
 ЭЦ – электрическая централизация стрелок и светофоров  
 BSS (Base Station Sub-System) – подсистема базовых станций  
 BTS (Base Transceiver Station) – базовая приемо-передающая станция  
 CORBA (Common Object Request Broker Architecture) – общая архитектура брокера объектных запросов  
 CRS (Common Registration Service) – служба общей регистрации  
 CSD (Circuit Switched Data) – режим передачи данных с коммутацией цепей  
 CWDM (Coarse Wavelength-Division Multiplexing) – разряженное мультиплексирование по длине волны  
 DEF – телефонный код, присвоенный по негеографическому признаку, например, по признаку оператора связи  
 DMR (Digital Mobile Radio) – цифровое мобильное радио



DSS1 (Digital Subscriber Signaling № 1) – протокол цифровой абонентской сигнализации

DWDM (Dense Wavelength-Division Multiplexing) – плотное мультиплексирование по длине волны

EDGE (Enhanced Data-rates for GSM Evolution) – усовершенствованная технология передачи данных для развития сетей GSM

EDSS1 – протокол информационно-логического взаимодействия в сетях автоматически коммутируемой телефонной связи

EPC (Evolved Packet Core) – усовершенствованное пакетное ядро

Ethernet – интерфейс сопряжения с сетью с коммутацией пакетов

FA (Functional Address) – функциональный вызов

FDN (Fixed Dialing Number) – подсистема фиксированной диспетчерской связи

GPRS (General Packet Radio Service) – служба общей пакетной передачи данных по радиоканалу

GPS (Global Positioning System) – глобальная система позиционирования

GSM (Global System for Mobile Communications) – глобальная система мобильной связи

GSM-R (Global System for Mobile communications – Railways) – глобальная система мобильной связи для железных дорог

IP (Internet Protocol) – межсетевой протокол

IRIG (Inter Range Instrumentation Group ) – протокол синхронизации времени

ISDN (Integrated Services Digital Network) – цифровая сеть с интеграцией обслуживания

LDA (Location-Dependent Address) – адресация в зависимости от местоположения

LPWAN (Low-power wide area network) – энергоэффективные сети дальнего радиуса действия

LTE (Long Term Evolution) – технология подвижной связи четвертого поколения («развитие на длительный период»)

L2 – уровень 2 в соответствии с эталонной моделью взаимодействия открытых систем (ЭМ ВОО)

L3 – уровень 3 в соответствии с ЭМ ВОО

MCPTT (Mission Critical Push-To-Talk) – критически важная функция «нажми и говори»

MOS (Mean Opinion Score) – средняя экспертная оценка

MPLS (Multiprotocol Label Switching) – многопротокольная коммутация по меткам

MSC (Mobile Switching Centre) – центр коммутации мобильной связи

MSISDN (Mobile Station International ISDN Number) – номер подвижной станции в сетях ISDN

MSS (Mobile Station Sub-System) – подсистема мобильных станций

NGN (Next Generation Network) – сеть следующего поколения.

NG SDH (Next Generation of Synchronous Digital Hierarchy) – следующее поколение синхронной цифровой иерархии

NMEA (National Marine Electronics Association) – стандарт, определяющий текстовый протокол связи для предоставления навигационных данных

NMS (Network Management Sub-System) – подсистема управления сетью

NSS (Network Sub-System) – сетевая подсистема

NTP (Network Time Protocol) – сетевой протокол синхронизации времени

OADM (Optical Add and Drop Multiplexors) – мультиплексор оптического ввода-вывода

OSI (Open System Interconnection) – взаимодействие открытых систем

PTP (Precision Time Protocol) – протокол точного времени

PDU (Protocol Data Unit) – блок данных протокола

QSIG (Q-Point Signalling System) – симметричный протокол сигнализации между узлами сетей

OSPF (Open Shortest Path First) – протокол динамической маршрутизации

ROADM (Reconfigurable optical add-drop multiplexer) – перестраиваемый мультиплексор ввода вывода

Rx (Receive) – прием

RFC 3261 – SIP: протокол инициации сеанса

SDH (Synchronous Digital Hierarchy) – синхронная цифровая иерархия

SDS (Short Data Service) – служба коротких сообщений

SIP (Session Initiation Protocol) – протокол установления сеанса

SMS (Short Message Service) – служба коротких сообщений

SNMP – протокол системы мониторинга и администрирования

STM (Synchronous Transport Module) – синхронный транспортный модуль

SQL (Structured Query Language) – язык структурированных запросов

TETRA (Terrestrial Trunked Radio) – наземное транкинговое радио

TCP (*Transmission Control Protocol*) – протокол управления передачей

TCP/IP – протокол в сетях связи с коммутацией пакетов

TDM (Time Division Multiplexing) – мультиплексирование с разделением по времени

TOD (Time of Day) – режим отображения временного кода

Tx (Tranceive) – передача

UTC (Coordinated Universal Time) – всемирное координированное время

VBS (Voice Broadcast Service) – служба широковещательных голосовых вызовов

VGSC (Voice Group Call Service) – служба групповых голосовых вызовов

VLAN (Virtual Local Area Network) – виртуальная локально-вычислительная сеть

VPN (Virtual Private Network) – виртуальная частная сеть

WDM (Wavelength Division Multiplexing) – спектральное уплотнение каналов

Wi-Fi (Wireless Fidelity) – стандарт беспроводной связи («беспроводная точность»)

E1 – интерфейс первичного цифрового канала.

#### **1.4 Нормативные ссылки**

В настоящих СТУ использованы ссылки на следующие нормативные документы:

ФЗ РФ от 31.08.2020 № 247-ФЗ	Об обязательных требованиях в Российской Федерации
ФЗ РФ от 27.12.2002 № 184-ФЗ	О техническом регулировании (с изменениями на 22 декабря 2020 года) (редакция, действующая с 1 января 2021 года)
ФЗ РФ от 10.01.2003 № 17-ФЗ	О железнодорожном транспорте в Российской Федерации (с изменениями на 8 декабря 2020 года)
ФЗ РФ от 03.03.1995 № 27-ФЗ	О недрах (с изменениями на 8 декабря 2020 года)
ФЗ РФ от 06.07.2016 №374-ФЗ	О внесении изменений в Федеральный закон «О противодействии терроризму» и отдельные законодательные акты Российской Федерации в части установления дополнительных мер противодействия терроризму и обеспечения общественной безопасности
ФЗ РФ от 30.12.2009 № 384-ФЗ	Технический регламент о безопасности зданий и сооружений (с изменениями на 2 июля 2013 года)

ФЗ РФ от 30.12.2020 №488-ФЗ	Об обеспечении вызова экстренных оперативных служб по единому номеру «112» и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации
ФЗ РФ от 24.04.1995 № 52-ФЗ	О животном мире (с изменениями на 8 декабря 2020 года)
Постановление Правительства Российской Федерации от 16.02.2008 г. № 87	О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию (с изменениями на 21 декабря 2020 года)
Постановление Правительства России от 12 октября 2006 г. № 611	О порядке установления и использования полос отвода и охранных зон железных дорог (с изменениями на 17 апреля 2019 года)
Приказ Минстроя РФ № 734/пр от 30.11.2020	Об утверждении Порядка разработки и согласования специальных технических условий для разработки проектной документации на объекты капитального строительства
Приказ Министерства цифрового развития, связи и массовых коммуникаций РФ N 113 от 29 марта 2019 г.	Об утверждении Концепции построения и развития узкополосных беспроводных сетей связи «Интернета вещей» на территории Российской Федерации.

Приказ Минкомсвязи РФ N 268 от 19.11.2012	Об утверждении правил применения оборудования систем коммутации, включая программное обеспечение, обеспечивающего выполнение установленных действий при проведении оперативно - розыскных мероприятий. Часть II. Правила применения оборудования транзитных, оконечно - транзитных и оконечных узлов связи сети фиксированной телефонной связи, включая программное обеспечение, обеспечивающего выполнение установленных действий при проведении оперативно - розыскных мероприятий
Приказ Минкомсвязи РФ N 572 от 29.10.2018	Об утверждении требований к техническим и программным средствам информационных систем, содержащих базы данных абонентов оператора связи и предоставленных им услугах связи, а также информацию о пользователях услугами связи и о предоставленных им услугах связи, обеспечивающих выполнение установленных действий при проведении оперативно-розыскных мероприятий
ТР ТС 002/2011	Технический регламент Таможенного союза «О безопасности высокоскоростного железнодорожного транспорта», утвержденный решением Комиссии Таможенного союза от 15.07.2011 № 710
ГОСТ 12248.1-2020	Определение характеристик прочности методом одноплоскостного среза
ГОСТ 12248.3-2020	Грунты. Определение характеристик прочности и деформируемости методом трехосного сжатия
ГОСТ 12248.4-2020	Грунты. Определение характеристик деформируемости методом компрессионного сжатия
ГОСТ 12393-2019	Арматура контактной сети железной дороги линейная. Общие технические условия

ГОСТ 19281-2014	Прокат повышенной прочности. Общие технические условия
ГОСТ 19330-2013	Стойки для опор контактной сети железных дорог. Технические условия
ГОСТ 19912-2012	Грунты. Методы полевых испытаний статическим и динамическим зондированием
ГОСТ 20522-2012	Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний
ГОСТ 21153.2-84	Породы горные. Методы определения предела прочности при одноосном сжатии
ГОСТ 22261-94	Средства измерений электрических и магнитных величин. Общие технические условия (с Изменением № 1)
ГОСТ 22733-2016	Грунты. Метод лабораторного определения максимальной плотности
ГОСТ 25100-2020	Грунты. Классификация
ГОСТ 26.205-88	Комплексы и устройства телемеханики. Общие технические условия
ГОСТ 26633-2015	Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия
ГОСТ 27751-2014	Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения (Переиздание)
ГОСТ 27772-2015	Прокат для строительных стальных конструкций. Общие технические условия
ГОСТ 29192-91	Совместимость технических средств электромагнитная. Классификация технических средств
ГОСТ 30284-2017	Изоляторы для контактной сети железных дорог. Общие технические условия

ГОСТ 30416-2012	Грунты. Лабораторные испытания. Общие положения
ГОСТ 30893.1-2002 (ИСО 2768-1-89)	Основные нормы взаимозаменяемости. Общие допуски. Предельные отклонения линейных и угловых размеров с неуказанными допусками
ГОСТ 30893.2-2002 (ИСО 2768-2-89)	Основные нормы взаимозаменяемости. Общие допуски. Допуски формы и расположения поверхностей, не указанные индивидуально
ГОСТ 31938-2012	Арматура композитная полимерная для армирования бетонных конструкций. Общие технические условия (с Поправкой)
ГОСТ 32144-2013	Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения
ГОСТ 32209-2013	Фундаменты для опор контактной сети железных дорог. Технические условия
ГОСТ 32697-2019	Тросы контактной сети железной дороги несущие. Технические условия
ГОСТ 32698-2014	Скрепление рельсовое промежуточное железнодорожного пути. Требования безопасности и методы контроля
ГОСТ 32793-2014	Токосям токоприемником железнодорожного электроподвижного состава. Номенклатура показателей качества и методы их определения
ГОСТ 32895-2014	Электрификация и электроснабжение железных дорог. Термины и определения
ГОСТ 33325-2015	Шум. Методы расчета уровней внешнего шума, излучаемого железнодорожным транспортом (с Поправкой, с Изменением № 1)

ГОСТ 33797-2016	Ригели жестких поперечин для контактной сети железнодорожного транспорта. Общие технические условия
ГОСТ 33896-2016	Системы диспетчерской централизации и диспетчерского контроля движения поездов. Требования безопасности и методы контроля
ГОСТ 34012-2016	Аппаратура железнодорожной автоматики и телемеханики. Общие технические требования
ГОСТ 34028-2016	Прокат арматурный для железобетонных конструкций. Технические условия
ГОСТ 34078-2017	Прокладки рельсовых скреплений железнодорожного пути. Технические условия
ГОСТ 34663-2020	Стыки рельсов и стрелочных переводов. Методы неразрушающего контроля
ГОСТ 34664-2020	Рельсы железнодорожные, сваренные термитным способом. Технические условия
ГОСТ 34665-2020	Рельсы железнодорожные, сваренные электроконтактным способом. Технические условия
ГОСТ 34666-2020	Элементы сварные соединений и пересечений железнодорожных путей. Технические условия (с Поправкой)
ГОСТ 34773-2021	Системы технического диагностирования и мониторинга железнодорожной электросвязи высокоскоростных железнодорожных линий. Общие технические требования
ГОСТ 34783-2021	Средства технического диагностирования и мониторинга железнодорожного пути высокоскоростных железнодорожных линий. Общие технические требования
ГОСТ 34832-2022	Средства технического диагностирования и мониторинга объектов электроснабжения



	высокоскоростных железнодорожных линий. Общие технические требования
ГОСТ 34913-2022	Системы технического диагностирования и мониторинга железнодорожной автоматики и телемеханики высокоскоростных железнодорожных линий. Общие технические требования
ГОСТ 5237-83	Аппаратура электросвязи. Напряжения питания и методы измерений
ГОСТ 5520-2017	Прокат толстолистовой из нелегированной и легированной стали для котлов и сосудов, работающих под давлением. Технические условия
ГОСТ 577-68	Индикаторы часового типа с ценой деления 0,01 мм. Технические условия
ГОСТ ИСО 4378-1-2001	Подшипники скольжения. Термины, определения и классификация. Часть 1. Конструкция, подшипниковые материалы и их свойства
ГОСТ 6357-81 (СТ СЭВ 1157-78)	Основные нормы взаимозаменяемости. Резьба трубная цилиндрическая
ГОСТ 7392-2014	Щебень из плотных горных пород для балластного слоя железнодорожного пути. Технические условия
ГОСТ 839-2019	Провода неизолированные для воздушных линий электропередачи. Технические условия
ГОСТ 9238-2013	Габариты железнодорожного подвижного состава и приближения строений
ГОСТ Р 50571.4.44-2019	Электроустановки низковольтные. Часть 4.44. Защита для обеспечения безопасности. Защита от резких отклонений напряжения и электромагнитных возмущений
ГОСТ Р 51685-2013	Рельсы железнодорожные. Общие технические условия

ГОСТ Р 53245-2008	Информационные технологии. Системы кабельные структурированные. Монтаж основных узлов системы. Методы испытания
ГОСТ Р 54271-2010	Анкеры для контактной сети железных дорог. Технические условия
ГОСТ Р 55223-2012	Динамометры. Общие метрологические и технические требования
ГОСТ Р 55647-2018	Провода контактные из меди и ее сплавов для электрифицированных железных дорог. Технические условия
ГОСТ Р 57670-2017	Системы тягового электроснабжения железной дороги. Методика выбора основных параметров
ГОСТ Р 58320-2018	Электроустановки систем тягового электроснабжения железной дороги постоянного тока. Требования к заземлению
ГОСТ Р 58321-2018	Электроустановки систем тягового электроснабжения железной дороги переменного тока. Требования к заземлению
СП 11-105-97	Инженерно-геологические изыскания для строительства
СП 116.13330.2012	Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 22-02-2003
СП 119.13330.2017	Железные дороги колеи 1520 мм. Актуализированная редакция СНиП 32-01-95
СП 14.13330.2018	Строительство в сейсмических районах
СП 16.13330.2017	Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81*

СП 22.13330.2016	Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83*
СП 224.1326000.2014	Тяговое электроснабжение железной дороги
СП 235.1326000.2015	Железнодорожная автоматика и телемеханика. Правила проектирования
СП 24.13330.2011	Свайные фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85
СП 338.1325800.2018	Защита от шума для высокоскоростных железнодорожных линий. Правила проектирования и строительства
СП 35.13330.2011 СП 36.13330.2012	Мосты и трубы Магистральные трубопроводы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.06-85*
СП 441.1325800.2019	Защита зданий от вибрации, создаваемой железнодорожным транспортом. Правила проектирования
СП 46.13330.2012	Мосты и трубы. Актуализированная редакция СНиП 3.06.04-91
СП 446.1325800.2019	Инженерно-геологические изыскания для строительства. Общие правила производства работ
СП 453.1325800.2019	Сооружения искусственные высокоскоростных железнодорожных линий. Правила проектирования и строительства
СП 47.13330.2012	Инженерные изыскания для строительства. Основные положения
СП 47.13330.2016	Инженерные изыскания для строительства. Основные положения
СП 63.13330.2018	Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения СНиП 52-01-2003

ПУЭ

Правила устройства электроустановок  
(Издание седьмое)

РСН 74-88

Инженерные изыскания для строительства,  
технические требования к производству  
буровых и горнопроходческих работ  
(актуализация 01.01.2020)

Примечание – При пользовании настоящими СТУ целесообразно проверить действие ссылочных документов в информационной системе общего пользования – на официальном сайте национального органа Российской Федерации по стандартизации в сети интернет или по ежегодно издаваемым информационным указателям, опубликованным по состоянию на 1 января текущего года. Если ссылочный документ заменен (изменен), то при пользовании настоящими СТУ следует руководствоваться новым (измененным) документом. Если ссылочный документ отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

## **2 Проектирование высокоскоростной железнодорожной магистрали колеи 1520 мм Москва – Санкт-Петербург со скоростями движения до 400 км/ч**

### **2.1. Основные требования**

В связи с высокой значимостью объекта и большими объемами выполняемых работ, соответствие проектных значений и характеристик зданий или сооружения в составе объекта требованиям безопасности (включая указания СТУ), а также проектируемые мероприятия по обеспечению его безопасности должны быть обоснованы одним или несколькими способами из указанных в ч. 6 ст. 15 № 384-ФЗ.

#### **2.1.1 Габариты приближения строений**

2.1.1.1 Все сооружения и устройства, входящие в инфраструктуру ВСЖМ-1, должны обеспечивать безопасный пропуск подвижного состава габарита Т в соответствии с ГОСТ 9238-2013 для скоростей движения до 400 км/ч.

2.1.1.2 Габарит приближения строений на участках, предназначенных для пропуска высокоскоростных поездов со скоростью более 200 км/ч, должен соответствовать габариту С400, приведенному на рисунке 2.1.

2.1.1.3 Междупутное расстояние между осями главных путей на прямых участках перегонов и станций должно быть:

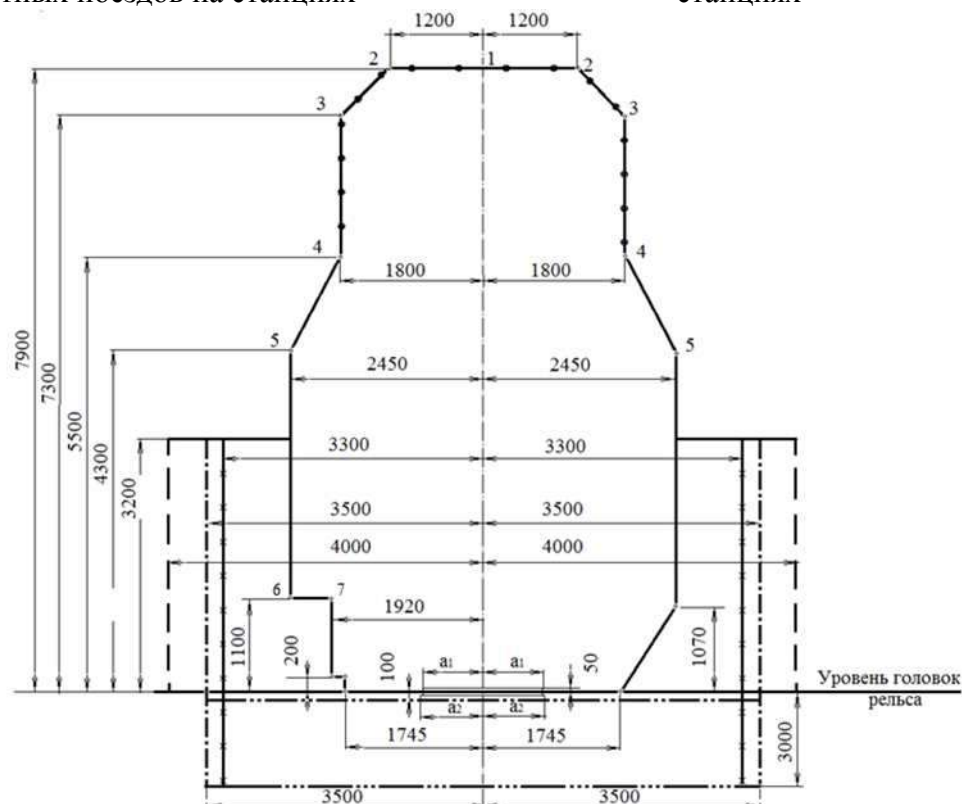
- при скоростях движения до 250 км/ч включительно – не менее 4100 мм;

- при скоростях движения от 251 км/ч до 400 км/ч – не менее 5000 мм.

2.1.1.4 При скоростях более 250 км/ч минимальное расстояние между осями главного пути ВСЖМ-1 и соединительных главных путей, а также путей железных дорог общего пользования, следует принимать не менее 10 м. На участках применения предельно допустимых норм данное расстояние может составлять не менее 5,3 м при сплошном ограждении пути ВСЖМ-1 и соседнего пути, исключающем допуск на эти участки людей, в том числе для производства работ в периоды пропуска высокоскоростных поездов.

Приемо-отправочные пути  
высокоскоростных поездов на станциях

Главные пути на перегоне и  
станциях



- Линия приближения пролетных строений мостов, платформ, настилов переездов, механизмов стрелочных переводов и расположенных в их пределах устройств СЦБ, а также устройств, располагаемых между смежными путями. *В целях улучшения условий посадки и высадки пассажиров высоту пассажирских платформ (обозначенные линией 6-7) допускается принимать более 1100 мм, но не более 1300 мм от уровня верха головок рельсов при расстоянии от оси пути 1920 мм в случаях, когда возможно организовать пропуск негабаритного подвижного состава по параллельным путям.*
- 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.
- x — x — Размер 3300 мм – линия приближения выступающих частей конструкций отдельных опор контактной сети.
- • — • — Линия, ограничивающая пространство для размещения устройств контактной сети и токоприемника
- — 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 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 2.1 – Габарит приближения строений С400

## **2.1.2 Продольный профиль и план пути**

### **2.1.2.1 План пути**

#### **2.1.2.1.1 План пути на перегонах**

2.1.2.1.1.1 План пути на перегонах проектируют с учетом топографических и ситуационных условий в зависимости от скорости движения поездов по участку при обязательном обеспечении следующих требований:

– непогашенное поперечное ускорение на буксе колеса при максимальной скорости движения по условиям комфортабельности езды для пассажиров, плавности движения и допустимого динамического воздействия на путь не должно превышать:

для высокоскоростных пассажирских поездов:

– плюс  $0,4 \text{ м/с}^2$  – при скорости 400 км/ч;

– плюс  $0,5 \text{ м/с}^2$  – при скорости 350 км/ч;

– плюс  $0,6 \text{ м/с}^2$  – при скорости 300 км/ч;

– плюс  $0,7 \text{ м/с}^2$  – при скорости 250 км/ч и менее (для промежуточных уровней скорости нормативные значения непогашенного поперечного ускорения определяются путем интерполяции);

для скоростных пассажирских поездов:

– плюс  $0,7 \text{ м/с}^2$ .

Норма отрицательного непогашенного ускорения не должна превышать значения минус  $0,3 \text{ м/с}^2$ . На участках применения предельно допустимых норм допускается норма отрицательного непогашенного ускорения до минус  $0,6 \text{ м/с}^2$ .

Расчетное значение возвышения наружного рельса определяется во взаимосвязи с уровнем скорости движения поездов и величиной радиуса круговой кривой исходя из условий обеспечения требований, указанных в данном пункте. Максимально допустимое возвышение наружного рельса в кривых на ВСЖМ-1 принимается 150 мм.

2.1.2.1.1.2 Радиус круговой кривой определяется расчетом и принимается кратным 500 м, на участках применения предельно допустимых норм – 100 м. Круговые кривые на всем протяжении должны иметь постоянное значение радиуса.

Длина круговой кривой при скоростях движения до 200 км/ч должна быть не менее 50 м, при скоростях движения в диапазоне 201-350 км/ч – не менее 200 м, и при скоростях движения в диапазоне 351 - 400 км/ч – не менее 250 м.

На участках применения предельно допустимых норм минимальная длина круговой кривой радиусом 4000 м и более может быть уменьшена до 25 м при скоростях движения до 200 км/ч.

2.1.2.1.1.3 Длину переходной кривой определяют исходя из обеспечения следующих требований:

а) допускаемые значения вертикальной составляющей скорости подъема колеса на возвышение наружного рельса не должны превышать

35 мм/с при скоростях движения от 25 до 200 км/ч и 28 мм/с – при скоростях движения от 201 до 400 км/ч;

б) допускаемые значения крутизны отвода возвышения наружного рельса не должны превышать величин, соответствующих допускаемому значению вертикальной составляющей скорости подъема колеса в пределах отвода возвышения наружного рельса и реализуемой на данном участке максимальной скорости движения поездов;

в) допускаемая в пределах переходной кривой скорость нарастания непогашенного поперечного ускорения не должна быть более  $0,6 \text{ м/с}^3$  при скоростях движения до 200 км/ч, и не более  $0,4 \text{ м/с}^3$  – при скоростях движения 201 – 400 км/ч.

Отвод кривизны должен быть пропорционален отводу возвышения в пределах переходной кривой.

Из значений длины переходной кривой, установленных в соответствии с перечисленными требованиями, в качестве окончательного на ВСЖМ-1 принимают наибольшее значение, кратное 10. Длина переходной кривой должна быть не менее 20 м.

2.1.2.1.1.4 На участках со скоростями движения 201 – 400 км/ч длина прямой вставки между начальными точками соседних переходных кривых должна быть не менее 400 м; на участках применения предельно допустимых норм длину прямой вставки допускается уменьшить до 300 м.

На участках со скоростями движения до 200 км/ч прямые вставки между начальными точками переходных кривых принимаются возможно большей длины, но не менее 150 м. В трудных условиях допускается уменьшать длину прямой вставки до 100 м, а на подходах к перронным путям при скорости движения менее 80 км/ч – до 50 м.

#### **2.1.2.1.2 План пути на отдельных пунктах**

2.1.2.1.2.1 План линии главных путей на отдельных пунктах следует проектировать по нормам п. 2.1.2.1.1 настоящего раздела.

Главные и приемо-отправочные пути в пределах пассажирских платформ следует располагать на прямом участке пути в плане. На участках применения предельно допустимых норм допускается расположение пассажирских платформ на кривых, отвечающих требованиям п. 2.1.2.1.1 настоящих СТУ.

#### **2.1.2.2 Продольный профиль пути**

##### **2.1.2.2.1 Продольный профиль пути на перегонах**

2.1.2.2.1.1 Величина наибольшего уклона продольного профиля главных путей не должна превышать 24‰. Величина уклона продольного профиля определяется с точностью до 0,1‰.

2.1.2.2.1.2 Прямолинейные элементы продольного профиля следует сопрягать вертикальной кривой.

Допускается сопряжение без устройства вертикальной кривой при условии, что изменение отметок продольного профиля составит меньше заданной точности вычислений в результате устройства вертикальной кривой, определенной техническим заданием на проектирование.



Радиус вертикальной кривой на участках со скоростями движения 201 – 400 км/ч определяют с учетом ограничения наибольшей величины вертикального ускорения при следовании поездов по этой кривой (для обеспечения пассажирам комфортных условий поездки и плавности движения поездов), которое принимают:

- на выпуклых переломах профиля – не более  $0,3 \text{ м/с}^2$ ;
- на вогнутых переломах профиля – не более  $0,4 \text{ м/с}^2$ .

2.1.2.2.1.3 Длина элемента продольного профиля с постоянным уклоном между конечной и начальной точками соседних вертикальных кривых должна быть не менее 300 м.

Предельно допустимое значение длины участка пути с постоянным уклоном продольного профиля, расположенного между смежными вертикальными кривыми, может быть уменьшено до 200 м, при условии, что на этом участке поезда следуют в режиме тяги или холостого хода.

На участках со скоростями движения до 200 км/ч длина элементов профиля принимается возможно большей длины, но не менее 250 м.

2.1.2.2.1.4 На участках со скоростями движения 201 – 400 км/ч вертикальные кривые допускается размещать в пределах:

- переходных кривых в плане;
- мостовых переходов, не допускающих устройства переломов профиля.

2.1.2.2.1.5 На участках со скоростями движения 201 – 400 км/ч в выемках длиной более 400 м продольный профиль пути допускается проектировать одним и более элементами профиля, направления уклонов которых должны обеспечивать беспрепятственный отвод поверхностных вод в стороны начала и конца выемки. Величина уклонов продольного профиля в выемках должна быть не менее 3‰.

2.1.2.2.1.6 На подходах к мостам и трубам, а также при расположении трассы ВСЖМ-1 вдоль берегов рек и водоемов, бровка основной площадки земляного полотна должна возвышаться над наивысшим уровнем воды вероятности превышения 0,33% с учетом подпора, ветрового нагона, наката волны на откос насыпи и ледовых явлений на расчетную величину толщины верхнего защитного слоя земляного полотна и технического запаса не менее чем 0,5 м. Верхняя отметка незатопляемых регуляционных сооружений и берм должна возвышаться над указанным наивысшим уровнем воды с учетом подпора, ветрового нагона, наката волны на откос насыпи и ледовых явлений не менее чем на 0,25 м.

2.1.2.2.1.7 Бровка основной площадки земляного полотна на снегозаносимых участках должна возвышаться над расчетным уровнем снежного покрова вероятности превышения 2% не менее чем на 1,0 м.

#### **2.1.2.2.2 Продольный профиль пути на отдельных пунктах**

2.1.2.2.2.1 На отдельных пунктах профиль главных путей должен соответствовать нормам, установленным для главных путей на перегонах.

Главные и приемо-отправочные пути в пределах пассажирских платформ следует располагать на площадке в продольном профиле. На

участках предельно допустимых норм допускается расположение участков пассажирских платформ на вертикальных кривых, отвечающих требованиям п. 2.1.2.2.1.2 настоящих СТУ.

2.1.2.2.2.2 Для станционных путей, кроме главных, приемо-отправочных и соединительных, по которым будет осуществляться пропуск высокоскоростных поездов, радиус вертикальной кривой определяется в соответствии с действующей нормативной базой, но не менее 3000 м.

### **2.1.3 Раздельные пункты**

2.1.3.1 Размещение и техническое оснащение раздельных пунктов на проектируемой ВСЖМ-1 должны обеспечивать:

- заданную скорость и безопасность движения поездов и маневровой работы, а также личную безопасность работников ВСЖМ-1 и пассажиров. Выполнение этого требования достигают за счет соблюдения нормативных значений параметров плана и профиля путей, параметров стрелочных переводов, установленных габаритов, оборудованием раздельных пунктов электрической централизацией стрелок и сигналов, устройством пересечения путей с проходами для людей, автодорогами и другими железнодорожными путями только в разных уровнях, соответствующим размещением и размерами пассажирских платформ, ограждением территории, оборудованием раздельных пунктов системами визуального и звукового оповещения о приближении поездов;

- заданную пропускную и перерабатывающую способность, которая достигается укладкой необходимого числа путей, сооружением вокзальных комплексов, пассажирских платформ и переходов необходимых размеров, строительством потребного числа и мощности устройств для технического обслуживания и ремонта подвижного состава и инфраструктуры, экипировки и сервисного обслуживания составов поездов;

- комплексность проектного решения путем учета размещения населенных пунктов, обеспечения удобной связи с существующей инфраструктурой смежных видов транспорта, требований экологии и БЖЧС;

- экономичность проекта за счет технико-экономического обоснования вариантов обслуживания населенных пунктов, связей с существующей железнодорожной сетью, размещения баз технического обслуживания и ремонта устройств и сооружений инфраструктуры, а также подвижного состава;

- учет перспективы развития, который достигают резервированием размеров станционной площадки для возможности удлинения и увеличения числа путей, замены стрелочных переводов в горловинах на новые типы, обеспечением возможности примыкания новых подходов и дополнительных станционных устройств;

- возможность и удобство выполнения всего комплекса технологических операций, включающего в себя прием, отправку и пропуск поездов, посадку, высадку и обслуживание пассажиров, связь с существующей железнодорожной сетью, пересадку пассажиров на другие

виды транспорта, текущее содержание и ремонт сооружений, устройств и подвижного состава, а также его экипировку.

2.1.3.2 Для осуществления указанного в п. 2.1.3.1 комплекса технологических операций на участке Москва – Санкт-Петербург проектируемой ВСЖМ-1 должны быть предусмотрены следующие виды отдельных пунктов:

- конечные пассажирские станции в Москве и Санкт-Петербурге;
- пассажирские технические станции для комплексного технического обслуживания и ремонта высокоскоростного подвижного состава в конечных пунктах (с основным или оборотным депо);

- обгонные пункты для возможности обгона высокоскоростными поездами других категорий поездов, а также для обеспечения пересадки пассажиров из технически неисправного поезда в резервный поезд. При необходимости на обгонном пункте возможна организация базы ремонта, технического обслуживания и отстоя подвижного состава, машин и механизмов для диагностики, текущего содержания и ремонта сооружений и устройств ВСЖМ-1;

- диспетчерские посты, состоящие из пары разносторонних стрелочных съездов и служащие для перевода поездов с одного главного пути на другой при производстве работ по диагностике, техническому обслуживанию и ремонту устройств ВСЖМ-1 и в нештатных ситуациях. При необходимости устройства ответвлений от основной трассы ВСЖМ-1 и нецелесообразности устройства в этом месте отдельного пункта с путевым развитием, примыкания соединительных путей могут быть совмещены с диспетчерскими постами;

- пассажирские промежуточные станции, на которых часть высокоскоростных пассажирских поездов имеют остановку для выполнения пассажирских операций.

Кроме этого, пассажирские промежуточные станции должны предусматривать:

- примыкания соединительных линий к существующей железнодорожной сети (узловые станции). Примыкания предусматриваются при необходимости пересадки пассажиров ВСЖМ-1 в пассажирские поезда других категорий, захода высокоскоростных пассажирских поездов по существующим железнодорожным путям в центральную часть городов, въезда на ВСЖМ-1 специальных поездов;

- примыкания баз ремонта, технического обслуживания и отстоя подвижного состава, машин и механизмов для диагностики, текущего содержания и ремонта сооружений и устройств ВСЖМ-1 (опорные станции);

- устройства для оборота части составов высокоскоростных поездов (зонные станции).

2.1.3.3 Как правило, среднее расстояние между отдельными пунктами должно быть 20 - 40 км, для отдельных пунктов с путевым развитием – 50 - 80 км, а для опорных станций – 200 - 250 км.

Количество и размещение на линии отдельных пунктов, характер их функций, состав проектируемых устройств и примыканий определяется и обосновывается проектом.

2.1.3.4 Конечные пассажирские и пассажирские технические станции должны проектироваться в составе транспортных узлов Москвы и Санкт-Петербурга в соответствии с действующими нормативными документами.

На пассажирских промежуточных станциях проектируемой высокоскоростной железнодорожной магистрали Москва – Санкт-Петербург в соответствии с функциональным назначением должны быть предусмотрены устройства, обеспечивающие:

- пропуск поездов по главным путям со скоростями не ниже установленных на прилегающих перегонах;
- обгон поездов всех категорий;
- прием к пассажирским платформам на специализированные приемо-отправочные пути всех обрабатываемых типов пассажирских поездов для посадки-высадки и пересадки пассажиров;
- оборот (при необходимости) части высокоскоростных поездов;
- возможность безостановочного перехода высокоскоростных поездов со снижением скорости движения на другой главный путь;
- выполнение маневровых операций с высокоскоростными и специальными поездами (нештатные ситуации, выполнение ремонтов);
- отстой путевых машин для обслуживания пути, контактной сети, других сооружений и устройств.

На обгонных пунктах проектируемого участка ВСЖМ-1 в соответствии с функциональным назначением должны быть предусмотрены устройства, обеспечивающие:

- пропуск поездов по главным путям со скоростями не ниже установленных на прилегающих перегонах;
- возможность безостановочного перехода высокоскоростных поездов со снижением скорости движения на другой главный путь;
- обгон всех категорий обрабатываемых поездов;
- пересадку пассажиров из неисправного высокоскоростного поезда в исправный;
- отстой путевых машин и другой ремонтной техники (при необходимости) для обслуживания ВСЖМ-1.

На всех типах станций для предотвращения несанкционированного выхода подвижного состава на главные и приемо-отправочные пути ВСЖМ-1 должны быть предусмотрены предохранительные устройства (предохранительные тупики) в местах примыкания к ним путей отстоя подвижного состава и ремонтно-эксплуатационных баз, прочих приемо-отправочных путей, соединительных путей общей сети ОАО «РЖД». Предохранительные тупики не предусматриваются в случаях, когда взаимное расположение стрелочных переводов позволяет исключить самопроизвольный выход подвижного состава на ограждаемые маршруты.

При этом соответствующие стрелочные переводы должны быть оборудованы устройствами автовозврата.

2.1.3.5 Главные пути на пассажирских промежуточных станциях и обгонных пунктах должны быть размещены в плане на прямых участках. В трудных условиях допускается размещение в плане главных и приемо-отправочных путей на пассажирских промежуточных станциях и обгонных пунктах в кривых участках с соблюдением требований к параметрам плана линии, принятых для главных путей на перегонах и приемо-отправочных путей на станциях.

Главные пути на пассажирских промежуточных станциях и обгонных пунктах должны быть размещены в профиле в пределах размещения пассажирских платформ – на горизонтальных площадках, в трудных условиях – на уклонах до 1,5‰.

Радиусы закрестовинных кривых должны быть приняты не менее радиусов переводных кривых прилегающих стрелочных переводов.

2.1.3.6 Путевые схемы отдельных пунктов следует проектировать однотипными по всей магистрали, отступления от этого принципа должны быть обоснованы в проекте.

Пассажирские промежуточные станции и обгонные пункты предусматриваются с параллельным расположением основных путей с укладкой не менее одного диспетчерского съезда на подходах с каждого из направлений. Сторонность диспетчерских съездов должна быть увязана с расположением приемо-отправочных путей для обеспечения возможности прямого приема и отправления по правильному и неправильному пути двух поездов каждого направления.

На промежуточных пассажирских станциях должно быть предусмотрено устройство не менее двух приемо-отправочных с одной стороны от главных путей и одного приемо-отправочного пути с другой стороны, для приема и отправления высокоскоростных, обычных пассажирских и специальных поездов с размещением высоких островных и боковых платформ. Пути отстоя путевых машин и другой ремонтной техники укладываются параллельно или последовательно с приемо-отправочными путями с примыканием к ним в горловинах станции.

На опорных станциях в составе баз текущего содержания и ремонта устройств ВСЖМ-1 предусматриваются специальные приемо-отправочные пути для техники, путевых машин, пожарного и восстановительного поездов, для стоянки снегоуборочной техники, тупики для выгрузки снегоуборочных машин и снеговых поездов без выезда на перегон. Тупики для выгрузки снега следует располагать на насыпях. Количество и длину тупиков для выгрузки снега, высоту насыпей следует определять из условия обеспечения складирования на прилегающих к ним площадках всего снега, вывозимого с железнодорожной станции в течение зимнего периода. На этих площадках предусматривают устройства для отвода талой воды в систему очистных сооружений.

Путевые схемы баз текущего содержания и ремонта устройств обосновываются в проекте.

Путевое развитие узловых станций должно обеспечивать одновременный прием и отправление поездов по главному и примыкающему подходам.

На обгонных пунктах должно быть предусмотрено устройство двух приемо-отправочных путей с высокой платформой между ними для пересадки пассажиров из неисправного поезда в резервный с одной стороны от главных путей и одного приемо-отправочного пути с другой стороны. Четная и нечетная сторонность расположения приемо-отправочных путей должна чередоваться по трассе ВСЖМ-1.

При выделении станционных площадок необходимо исходить из полного путевого развития раздельного пункта, если на этапе реализации проекта будет принято меньшее количество съездов или приемо-отправочных путей.

2.1.3.7 Полезная длина приемо-отправочных путей на промежуточных пассажирских станциях и обгонных пунктах определяется конструктивно, с учетом размещения пассажирских платформ и применением стрелочных переводов пологих марок 1/25 и 1/18 в маршруте приема и отправления высокоскоростных поездов. Окончательное значение должно быть принято в проекте с учетом длины всех возможных типов поездов, предусмотренных к обращению на ВСЖМ-1. Длина пассажирских платформ должна быть не менее 420 м.

Полезная длина специальных приемо-отправочных путей опорных станций обосновывается в проекте на основании принятой системы эксплуатации ВСЖМ-1.

2.1.3.8 Расстояние между осями смежных путей на промежуточных станциях и обгонных пунктах ВСЖМ-1 следует принимать исходя из очертания габарита приближения строений С400, с учетом размещения между путями необходимых устройств:

- между главными путями – равным расстоянию между осями путей на примыкающих перегонах;

- между главным путем и смежным с ним приемо-отправочным – не менее 7740 мм. При отсутствии необходимости расположения между этими путями опор контактной сети, пешеходных мостов, путепроводов и других сооружений, проектом может быть обосновано уменьшение этого расстояния до 5300 мм.

Расстояние между осями приемо-отправочных путей устанавливается по расчету по габариту приближения строений С (согласно ГОСТ 9238-2013) с учетом ширины и габарита высоких пассажирских платформ, а при их отсутствии – 5300 мм.

Ширина островных пассажирских платформ должна определяться в проекте исходя из необходимости устройства выходов из пассажирского тоннеля (лестничного, эскалаторного или лифтового), конструкции навеса над платформой, расчетного пассажиропотока, но во всех случаях должна

быть принята не менее 8500 мм. При размещении платформы в кривом участке пути допускается уменьшение ширины островных платформ на части длины, где отсутствуют конструктивные элементы, ограничивающие возможность отхода пассажиров на расстояние менее 3000 мм от края платформы.

При устройстве боковых платформ их ширина должна быть принята не менее 6000 мм.

Расчет ширины платформ должен учитывать возможность установки эскалаторов с шириной ступеней не менее 1000 мм.

Ширина пешеходных переходов на вновь устраиваемых вокзалах определяется по расчету в зависимости от пассажиропотока, но не менее 6,0 м: с учетом разделения пассажиропотока прибытия и отправления, с учетом обеспечения запаса пропускной способности в каждую сторону не менее 0,75 м, выделения полосы движения для маломобильных групп населения кресла-коляски в каждом направлении 1,5 м, в двух направлениях 1,8 м.

Расстояние между осями путей баз текущего содержания и ремонта устройств ВСЖМ-1 должно быть установлено в проекте с учетом размещения технологического оборудования и очертания габарита Сп.

2.1.3.9 Стрелочные переводы, укладываемые в главных путях на промежуточных пассажирских станциях, обгонных пунктах, и диспетчерских постах ВСЖМ-1 должны обеспечивать следующие скорости движения:

- по прямому направлению главного пути ВСЖМ-1 – 400 км/ч;
- по боковому направлению стрелочного перевода при организации безостановочного пропуска высокоскоростных, обычных пассажирских и специальных поездов на ответвления от основной магистрали для захода в города, выхода на существующую железнодорожную сеть и обратно на ВСЖМ-1, должна обеспечиваться скорость не менее 120 км/ч;
- при переходе поездов с одного главного пути на другой по диспетчерским съездам должна обеспечиваться скорость движения не менее 120 км/ч;
- при отклонении поездов с главного пути на приемо-отправочный с целью остановки для посадки-высадки пассажиров или для обгона, скорость движения на боковой путь должна устанавливаться не менее 120 км/ч.

При выделении проектных станционных площадок должна быть обеспечена возможность укладки требуемых стрелочных переводов с учетом перспективы развития примыканий.

На участках со скоростями движения поездов ВСЖМ-1 до 200 км/ч (конечные станции при заходе поездов ВСЖМ-1 в Санкт-Петербург и Москву) допускается, при обосновании в проекте, применение на главных путях стрелочных переводов с маркой крестовины не круче 1/11.

Стрелочные переводы, укладываемые на приемо-отправочных путях, на маршрутах отклонения высокоскоростных поездов на соседний приемо-отправочный путь должны обеспечивать скорость не менее 80 км/ч.

Прямые вставки между последовательно уложенными стрелочными переводами (между стыками рамных рельсов, либо между стыком рамного рельса и торцом крестовины смежных стрелочных переводов, между стыком рамного рельса, либо крестовины и началом переходной кривой) должны составлять:

- на главных путях ВСЖМ-1 – не менее 50 м;
- на приемо-отправочных путях для движения высокоскоростных поездов – не менее 25 метров.

Требования к укладке уравнильных стыков, уравнильных приборов или устройству анкерных участков определяются в Разделе 4 настоящих СТУ.

2.1.3.10 С целью согласования основных параметров проектируемых сооружений и устройств ВСЖМ-1 и подвижного состава, проверки выполнения целевых показателей высокоскоростной линии, устанавливаемых заказчиком (времени доставки пассажиров, объемов пассажирских перевозок, пропускной и перерабатывающей способности), при безусловном выполнении требований безопасности, в проекте должен быть разработан график движения поездов.

Размеры движения и порядок пропуска специальных поездов должны быть определены исходя из реальной возможности их пропуска после прокладки в графике всех типов пассажирских поездов (высокоскоростных и скоростных региональных). Прокладка ниток графика специальных поездов не должна требовать изменения основных параметров магистрали.

#### **2.1.4 Защита пути и сооружений**

2.1.4.1 Для обеспечения безопасности движения поездов должны быть предусмотрены мероприятия и (или) сооружения, обеспечивающие защиту ВСЖМ-1 от неблагоприятных природных и техногенных процессов и явлений в соответствии с требованиями ТР ТС 002/2011.

2.1.4.2 Защита пути и сооружений от снежных заносов проектируется в соответствии с требованиями СП 119.13330.2017 как для скоростных линий.

2.1.4.3 На участках развития опасных геологических процессов (оползней, обвалов, карста, пучения, образования наледей, подтопления и затопления территорий, переработки берегов водохранилищ, озер и рек) предусматривается проектирование защитных мероприятий и сооружений. Проектирование ВСЖМ-1 выполняется в соответствии с СП 116.13330.2012 как для защиты зданий и сооружений ФЗ РФ № 384-ФЗ с применением предельно допустимых норм.

2.1.4.4 Ширина полосы отвода под ВСЖМ-1 определяется в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 12.10.2006 N 611 «О порядке установления и использования полос отвода и охранных зон железных дорог» и назначается необходимой для обеспечения безопасности движения поездов площади, с учетом размещения защитных сооружений от неблагоприятных природных и техногенных воздействий и сервисной автодороги.



На участках развития опасных природных и техногенных явлений и процессов, кроме полосы отвода, в соответствии с действующим ФЗ «О железнодорожном транспорте» (№ 17-ФЗ) определяются специальные охранные зоны, в которых влияние этих процессов может вызывать негативное воздействие на безопасность ВСЖМ-1, и устанавливаются требуемые ограничения на их использование.

### **2.1.5 Полоса отвода земель**

2.1.5.1 Полоса отвода железной дороги необходима для обеспечения требований безопасности при строительстве и эксплуатации всех объектов инфраструктуры.

Границы полос отвода и охранных земель железных дорог, отводимых для ВСЖМ-1, устанавливают проектом в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 12.10.2006 N 611 «О порядке установления и использования полос отвода и охранных зон железных дорог»

2.1.5.2 Полоса отвода на перегонах должна обеспечить размещение и безопасную эксплуатацию двухпутного земляного полотна с водоотводящей системой, устройств тягового энергоснабжения, линий и устройств СЦБ и связи, а также обеспечить размещение инфраструктуры комплексной системы безопасности, зданий и сооружений инфраструктуры ВСЖМ-1, сервисных дорог для обслуживания. В полосе отвода ВСЖМ-1 необходимо учитывать все элементы инфраструктуры ВСЖМ-1.

2.1.5.3 На станциях в полосу отвода железных дорог должны входить земли, занятые железнодорожными путями и непосредственно примыкающими к ним сооружениями, устройствами, зданиями, станции со станционными путями, пассажирские вокзалы, искусственные сооружения, здания и сооружения сигнализации и связи, энергетического, локомотивного, вагонного, путевого и пассажирского хозяйств, водоснабжения и канализации, служебные здания, сервисные автодороги и иные сооружения, обеспечивающие деятельность высокоскоростной железной дороги.

### **2.1.6 Примыкания и пересечения**

2.1.6.1 Высокоскоростная железнодорожная магистраль должна иметь собственную развитую инфраструктуру в отдельных случаях при проектировании должна быть предусмотрена возможность примыкания к существующей инфраструктуре железнодорожного транспорта общего пользования для следующих целей:

- реализации возможности отклонения маршрутов пассажирских и специальных поездов на другие направления;
- передачи высокоскоростных пассажирских, специальных поездов для производства технических операций, которые не могут быть осуществлены с использованием инфраструктуры линии ВСЖМ-1, на другие направления;
- доставки нового и ввода-вывода с инфраструктуры ВСЖМ-1 подвижного состава; специальных подвижных единиц (вагонов, моторис), осуществляющих мониторинг состояния инфраструктуры;

- пропуска подвижного состава, проводящего исследования состояния пути, земляного полотна, мостов (нагрузочных поездов);
- при необходимости, пропуска пожарных и восстановительных поездов, размещенных на линиях общего пользования;
- обеспечения при организации на головных участках ВСЖМ-1 при входе в Москву и Санкт-Петербург совмещенного движения высокоскоростных поездов и других типов поездов со скоростями до 200 км/ч.

2.1.6.2 Пути общего пользования должны примыкать к путям линии ВСЖМ-1 соединительными путями в горловинах станций. Примыкание соединительных линий и главных путей общего пользования к главным железнодорожным путям ВСЖМ-1 на перегонах допускается с устройством постов примыкания и пропуском высокоскоростных поездов без отклонения на боковой путь стрелочных переводов.

2.1.6.3 Все пересечения ВСЖМ-1 с железными и автомобильными дорогами должны осуществляться в разных уровнях. При невозможности устройства пересечения под прямым углом, при технико-экономическом обосновании допускается косое пересечение.

2.1.6.4 Все организованные места пересечения ВСЖМ-1 пешеходами должны располагаться либо в тоннелях, либо на пешеходных путепроводах. Пересечение в одном уровне не допускается.

2.1.6.5 В случае устройства пересечения ВСЖМ-1 поверху (пешеходные, автомобильные и железнодорожные путепроводы), в обязательном порядке должна предусматриваться защита пути, устройств контактной сети и подвижного состава от попадания посторонних предметов.

2.1.6.6 Все конструкции искусственных сооружений (пешеходные, автомобильные, железнодорожные путепроводы или коммуникационные переходы, конкорсы, здания и сооружения), пересекающие ВСЖМ-1 поверху или располагающиеся от оси трассы на расстоянии менее 10 м в плане и (или) менее 12 м от уровня головки рельса по высоте, должны быть рассчитаны на аэродинамическое воздействие от проходящих высокоскоростных поездов. В общем случае, при расчете указанных конструкций должны учитываться лобовая, подъемная и боковая аэродинамические нагрузки.

В случаях, рассмотренных в Приложении Д настоящих СТУ, для горизонтальных, вертикальных и наклонных поверхностей конструкций, расположенных вдоль трассы ВСЖМ-1, аэродинамическое воздействие может быть заменено соответствующими эквивалентными нагрузками.

Во всех остальных случаях аэродинамические нагрузки на сооружения должны быть получены по результатам натурных экспериментов, аэродинамических исследований на масштабных моделях или численного математического моделирования методами аэро- и гидродинамики. Результаты численного моделирования должны быть верифицированы путем их сопоставления с опытными (эталонными или эмпирическими) данными. Полученные значения аэродинамических нагрузок должны быть учтены при

расчете конструкций в виде динамических (переменных во времени) воздействий.

2.1.6.7 При проектировании пересечений ВСЖМ-1 с магистральными трубопроводами следует руководствоваться требованиями СП 36.13330.2012.

### **2.1.7 Инженерно-геодезическое обеспечение**

2.1.7.1 Для выполнения требований по безопасности, при проектировании, строительстве и эксплуатации сооружений и устройств ВСЖМ-1 должно быть реализовано инженерно-геодезическое обеспечение на основе высокоточной координатной системы (ВКС), создаваемой на основе местной системы координат направления Москва – Санкт-Петербург Октябрьской железной дороги ОАО «РЖД».

ВКС должна обеспечивать:

- производство всех съемочных и разбивочных геодезических работ, возникающих при проектировании, строительстве и эксплуатации ВСЖМ-1;
- выполнение функций геометрической основы закрепления проектного положения пути в плане и продольном профиле и приведения фактического положения пути к проектному;
- мониторинг объектов инфраструктуры ВСЖМ-1;
- контроль точной привязки датчиков технических средств систем диагностики для безусловного определения места возникновения и нарастания дефекта или неисправности;
- межевание земель и создание кадастра ВСЖМ-1 в полосе отвода с последующим пересчетом в местную систему координат;
- использование ВКС в качестве основы расчета, корректировки и закрепления пикетажа;
- использование пунктов опорной геодезической сети в качестве опознавательных знаков при аэрокосмическом мониторинге и дистанционном зондировании ВСЖМ-1 и железнодорожной инфраструктуры;
- использование ВКС в качестве координатно-метрической основы геоинформационной системы ВСЖМ-1.

2.1.7.2 Система координат – местная железнодорожная система координат ВСЖМ-1 в составе пространственной местной железнодорожной системы координат и плоской системы координат проекта, обеспечивающей для всей трассы ВСЖМ-1 единство высокоточного координатного пространства на плоскости с наименьшими (пределах 0,01 м на км) деформациями проектных длин на поверхности.

Система высот – Балтийская 1977 года.

2.1.7.3 ВКС создается на основе сети постоянно действующих базовых станций, которые располагаются на объектах инфраструктуры ОАО «РЖД», которые должны быть однородным по точности геодезическим построением, и обеспечивать сохранность и стабильность положения станций, имеющих устойчивый канал связи и надежную систему энергоснабжения. Для размещения временных базовых станций создать спутниковую каркасную

геодезическую сеть ВСЖМ-1 с закреплением знаками в соответствии с требованиями к главным пунктам ВКС. Спутниковая каркасная геодезическая сеть ВСЖМ-1 после утверждения оси трассы сгущается сетью главных и промежуточных пунктов. Дифференциальный сегмент ВКС создается на этапе строительства для эксплуатации ВСЖМ-1. Созданная опорная геодезическая сеть (ОГС) на этапе строительства включается в разбивочную геодезическую основу. Проектом предусмотреть расположение постоянно действующих базовых станций на объектах инфраструктуры ВСЖМ-1 с учетом устойчивого канала связи и надежной системы энергоснабжения.

2.1.7.4 ОГС создается преимущественно методами спутниковых геодезических измерений. В отдельных случаях, когда невозможно использовать спутниковые методы, в соответствии с проектом на производство работ, допускается осуществлять определение координат отдельных пунктов или групп пунктов ОГС традиционными методами геодезии с опорой на пункты спутниковых определений. Промежуточные пункты ОГС при строительстве безбалластного пути закладываются в опоры контактной сети.

Средняя квадратическая погрешность (СКП) взаимного положения смежных пунктов ОГС в плане не должна превышать 8 мм.

СКП определения разностей высот смежных пунктов ОГС не должна превышать 5 мм.

2.1.7.5 При выполнении инженерно-геодезических изысканий топографическую съемку выполнять следующими методами:

- тахеометрическим;
- спутниковых геодезических определений;
- воздушным лазерным сканированием в сочетании с цифровой аэрофотосъемкой;
- наземным статическим или мобильным лазерным сканированием;
- цифровой аэрофотосъемкой, в том числе с применением беспилотных летательных аппаратов;
- стереотопографическим,
- комбинированным аэрофототопографическим, в том числе с применением результатов дистанционного зондирования Земли;
- сочетанием различных методов.

2.1.7.6 На этапе строительства и эксплуатации ВСЖМ-1 необходимо осуществлять геодезический мониторинг объектов инфраструктуры, который проводится на основе разрабатываемой программы мониторинга и является составной частью мониторинга технического состояния объектов инфраструктуры. В период строительства геодезический мониторинг выполняется в увязке с этапами строительных работ, нулевой цикл наблюдений за деформациями должен быть реализован перед началом строительства. После окончания строительных работ геодезический мониторинг осуществляется в течение всего периода эксплуатации ВСЖМ-1.

2.1.7.7 Программа геодезического мониторинга должна включать в себя следующие сведения и разделы:

- перечень контролируемых деформаций;
- значения предельных деформаций и скоростей деформаций;
- периодичность и продолжительность геодезического мониторинга деформаций;
- требования к точности определения деформаций;
- требования к конструкции деформационных марок и реперов, схему их расположения;
- требования к оформлению отчетной документации.

2.1.7.8 Места расположения, количество деформационных марок и реперов должны максимально полно отражать характер протекающих деформационных процессов. Конструкции деформационных марок и реперов должны обеспечивать их долговременную сохранность и устойчивость.

2.1.7.9 В качестве деформационных марок могут использоваться визирные марки, пленочные отражатели, призмённые отражатели, прецизионные кубические угловые отражатели или другие устройства для наблюдений.

2.1.7.10 Геодезический мониторинг деформаций ВСЖМ-1 осуществляется в непрерывном режиме наблюдений путем использования автоматизированных систем регистрации, сбора, хранения и передачи данных на основе различных комбинаций спутниковой геодезической аппаратуры, роботизированных электронных тахеометров и геотехнических датчиков деформаций, либо дискретно с установлением периодичности наблюдений.

2.1.7.11 Методики линейно-угловых измерений и геометрического нивелирования при реализации геодезического мониторинга должны быть ориентированы на максимальное ослабление влияния различных источников ошибок.

2.1.7.12 Геодезический мониторинг деформаций ВСЖМ-1 должен осуществляться с учетом требований раздела 8 настоящих СТУ и действующих нормативных документов.

## **2.1.8 Охрана окружающей среды**

### **2.1.8.1 Защита от шума**

Мероприятия по защите от шума обеспечиваются в соответствии с действующими нормативными правовыми актами Российской Федерации. Для разработки шумозащитных мероприятий при проектировании ВСЖМ-1 следует руководствоваться положениями СП 338.1325800.2018, в том числе и для скоростей более 200 км/ч при обосновании принятых решений соответствующими расчетами.

### **2.1.9 Трубы под насыпями**

2.1.9.1 Минимальное значение толщины засыпки (расстояние от подошвы рельса до верхней точки конструкции свода или перекрытия

конструкции) над звеньями или плитами перекрытия труб, а также пешеходными тоннелями или другими сооружениями в теле насыпи следует назначать из условий:

≥ 3,0 м – при скальных и нескальных грунтах основания с нормативным значением модуля деформации ≥ 40 МПа [допускается определять по СП 22.13330.2016 (приложение А)], а также при свайной конструкции фундамента;

≥ 2,0 м – при нескальных грунтах основания с нормативным значением модуля деформации < 40 МПа [допускается определять по СП 22.13330.2016 (приложение А)].

При соблюдении указанных условий не требуется выполнение проверок комфортности и безопасности движения высокоскоростных поездов, а также могут не учитываться динамические воздействия от высокоскоростных поездов. Проектная скорость движения поездов на участке расположения водопропускных труб, пешеходных тоннелей или других сооружений в теле насыпи при этом не должна превышать 400 км/ч. При скоростях движения поездов менее 350 км/ч следует руководствоваться положениями СП 453.1325800.2019.

2.1.9.2 При проектировании всех видов сооружений в теле насыпи (водопропускных труб, пешеходных тоннелей, путепроводов и скотопрогонов тоннельного типа), в том числе при разработке унифицированных конструкций, по результатам расчетного обоснования толщина засыпки может быть уменьшена.

В этом случае должны быть выполнены динамические расчеты согласно методике Б п. 6.3.10 СП 453.1325800.2019 с учетом положений и требований к моделям, изложенным в п. 5.2.5 СП 453.1325800.2019.

2.1.9.3 Конструктивно-технологические решения, применяемые при проектировании искусственных сооружений в теле насыпи, должны обеспечивать отсутствие неравномерных осадок сооружения и примыкающих участков насыпи в процессе эксплуатации.

### **2.1.10 Мосты и эстакады**

2.1.10.1 На мостах и эстакадах предусмотреть размещение:

- конструкций крепления опор, кронштейнов контактной сети;
- кабельных лотков для прокладки кабельных коммуникаций устройств СЦБ и электроснабжения.

2.1.10.2 Все части пролетных строений должны быть доступны для осмотра и обслуживания (ухода), для чего следует устраивать технологические проходы, люки, отверстия, лестницы, перильные ограждения, специальные смотровые приспособления. Эксплуатационные люки и отверстия, а также технологические проходы, в том числе внутри мостовых конструкций, при наличии конструктивной возможности, должны иметь габаритные размеры в свету не менее 1600 мм по высоте и 750 мм по ширине и располагаться на высоте от низа люка (отверстия) до уровня технологического прохода не более 500 мм.

Решения по обслуживанию и осмотру конструкций ИССО должны приниматься на основании местных условий и конструктивных решений.

Для пролетных строений мостов с пролетами длиной более 50 м следует предусматривать доступ к внешним (фасадным) поверхностям с использованием передвижных или мобильных механизированных смотровых приспособлений.

2.1.10.3 При проектировании искусственных сооружений на станционных путях, соединительных ветках и участках со скоростями движения до 200 км/ч следует руководствоваться требованиями СП 35.13330. Нормативную временную вертикальную нагрузку от подвижного состава следует принимать С-11.

## **2.2 Основные требования к инженерным изысканиям**

### **2.2.1 Требования к инженерно-геологическим изысканиям**

2.2.1.1 Инженерно-геологические изыскания для проектирования объектов и сооружений, входящих в инфраструктуру высокоскоростной железной магистрали, должны выполняться с соблюдением требований государственных стандартов, норм, сводов правил и инструкций, регламентирующих выполнение изыскательских работ, а также в соответствии с требованиями настоящих СТУ.

2.2.1.2 Состав и объем буровых и горнопроходческих работ устанавливаются с учетом сложности инженерно-геологических условий и уровня ответственности сооружения. На участках индивидуального проектирования конструкций безбалластного земляного полотна глубина проходки выработок должна быть не менее 25 м.

2.2.1.3 Организация и производство буровых и горнопроходческих работ выполняются в соответствии с требованиями РСН 74-88 Инженерные изыскания для строительства, технические требования к производству буровых и горнопроходческих работ (дата актуализации 01.01.2020).

2.2.1.4 В районах развития опасных геологических процессов проводится специальная инженерно-геологическая съемка (оползневая, карстологическая, суффозионная). На основе выполненной съемки выполняется районирование площадки по степени опасности с учетом максимальных размеров их проявления в плане.

2.2.1.5 На территориях распространения карста скважины закладываются на участках геофизических аномалий, зон разуплотнения, погребенных карстовых полостей. Скважины располагаются на каждом геоморфологическом элементе. При бурении фиксируются интервалы глубин быстрого погружения бурового снаряда и выход керна; определяются показатели сохранности, коэффициенты закарстованности и кавернозности. Параллельно проводятся гидрогеологические наблюдения за появлением и установлением уровня и температуры подземных вод, отбираются пробы воды, выполняются лабораторные исследования химического состава воды.

На основе анализа сведений о природных и природно-техногенных условиях территории, данных космической и аэросъемки, геофизических

методов и маршрутных наблюдений устанавливается площадное развитие карстовых и карстово-суффозионных процессов, проводится их типизация и картирование. При проведении изысканий фиксируются особенности залегания карстующихся пород, диаметры, глубины и скорости образования подземных пустот и провалов, оседаний и других видов отрицательных деформаций земной поверхности. Определяются физико-механические параметры грунтовых массивов. Оценивается влияние изменения гидрометеорологических условий и техногенных воздействий на активизацию карстовых процессов в период строительства и эксплуатации ВСЖМ-1.

Виды, объемы инженерно-геологических изысканий и оценку карстоопасности следует устанавливать в соответствии с требованиями СП 47.13330.2016. Определение параметров карстово-суффозионных деформаций необходимо выполнять: для I – II категории карстоопасности – двумя способами, приведенными в Приложении А настоящих СТУ; III – VI категорий – одним из предложенных способов.

2.2.1.6 На оползневых участках скважины размещаются по створам, пересекающим все элементы оползневого тела (валы выпирания, ступени, западины). Количество скважин устанавливается в зависимости от его плановых параметров – 3-6 скважин на 1 створ. Глубина, расположение и количество геологических скважин назначаются на основе анализа архивных данных по инженерно-геологическим и инженерно-гидрогеологическим изысканиям и комплекса геофизических исследований. Глубина скважин должна обеспечивать получение всех необходимых и достоверных исходных данных по физико-механическим свойствам грунтов для проведения геотехнических расчетов, обосновывающих принятие эффективных конструктивно-технологических решений. Гидрогеологические исследования должны обеспечивать определение горизонтов грунтовых вод и наличие напорных горизонтов подземных вод.

2.2.1.7 На участках распространения органо-минеральных, минеральных (илы, торфы, сапропели) и специфических грунтов бурение скважин и статическое зондирование выполняется по поперечным профилям из 3-5 скважин и точек зондирования через 50-100 м с заглублением в прочные грунты не менее 5 метров. На первом этапе инженерно-геологических изысканий выполняются геофизические исследования методами, приведенными в Приложении Б настоящих СТУ, включая метод георадиолокации в режиме непрерывного сканирования по параллельным оси трассы сечениям. На втором этапе изысканий в зонах выявленных инженерно-геологических или гидрогеологических аномалий расстояние между скважинами принимается не более 25 м. Гидрогеологические наблюдения проводятся совместно с бурением с отбором проб на химический анализ каждого водоносного горизонта.

2.2.1.8 На затапливаемых и подтапливаемых территориях состав и объем инженерных изысканий определяется в соответствии с данными прогноза изменения гидрометеорологических условий.



2.2.1.9 В процессе горнопроходческих работ формируется сеть скважин, точек зондирования и других видов наблюдения, обеспечивающих мониторинг (тектонических подвижек земной коры, напряженно-деформированного состояния грунтов основания, гидрологических условий) в процессе строительства и эксплуатации сооружений на участках индивидуального проектирования высоких насыпей, глубоких выемок, больших и средних искусственных сооружений и участках распространения опасных геологических процессов, слабых грунтов. Наблюдательные скважины устраиваются в полосе отвода, а при большом площадном развитии опасных процессов, при необходимости, за ее пределами.

2.2.1.10 Геофизические исследования проводятся в составе инженерно-геологических изысканий до проведения горнопроходческих работ для выбора оптимального расположения разведочных скважин и во время их выполнения – для разработки проектной и рабочей документации.

2.2.1.11 Геофизические исследования выполняются с целью:

- определения мощности четвертичных природных отложений и техногенных грунтов; мощности коры выветривания и зоны экзогенной трещиноватости;

- установления геологических границ, обусловленных сменой литологического состава, трещиноватостью, обводненностью;

- уточнения положения водоносных горизонтов и их мощности;

- фиксации зон трещиноватости в массиве;

- корректировки и детализации инженерно-геологических разрезов;

- выявления линз (не вскрытых скважинами) слабых грунтов;

- выявления наличия динамически неустойчивых грунтов: тиксотропных глинистых, песчаных водонасыщенных грунтов (пывунов), слоев, прослоев и линз минерально-органических и органических грунтов (илов, погребенных торфов, сапропелей);

- уточнения физико-механических характеристик динамических параметров грунтов основания и глубины распространения динамически неустойчивых грунтов;

- выявления, оконтуривания глубины залегания и мощности участков развития опасных инженерно-геологических процессов: карста, оползневых и оврагообразующих процессов.

2.2.1.12 Выбор комплекса и состава геофизических методов проводится в зависимости от решения поставленных задач и инженерно-геологических условий. Основные и вспомогательные геофизические методы, позволяющие решить конкретные задачи, приведены в Приложении Б настоящих СТУ.

2.2.1.13 Испытания грунтов статическими нагрузками производятся:

- на этапе Проектная документация в скважинах плоским или винтовым штампом площадью  $600 \text{ см}^2$  в пределах активной зоны взаимодействия зданий и сооружений с грунтовым основанием;

- на подготовительном этапе строительно-монтажных работ в шурфах (дудках) и в котлованах на глубинах (отметках) залегания подошвы

фундаментов и на 2-3 м ниже в основании зданий или сооружений штампами площадью 2500 или 5000 см<sup>2</sup>.

2.2.1.14 В местах, где требуется обоснование принимаемых конструктивно-технологических решений и проведение геотехнических расчетов, определение деформативных и прочностных характеристик грунтов следует производить с применением приборов трехосного сжатия по схемам, в наибольшей степени соответствующим условиям работы грунта в натуральных условиях (дренированное, неконсолидированно-недренированное, консолидированно-недренированное, консолидированно-дренированное испытания). Трехосные испытания грунтов следует сочетать с полевыми методами определения деформационных свойств грунтов.

Дополнительные требования к инженерно-геологическим изысканиям при определении параметров моделей для численных расчетов приведены в Приложении В.

2.2.1.15 Для зданий и сооружений со свайными фундаментами несущая способность свай определяется по результатам полевых испытаний грунтов строительными штампами, либо натурной (эталонной) сваей на подготовительном этапе строительно-монтажных работ с применением строительного оборудования и привлечением строительных организаций.

2.2.1.16 Исходная сейсмичность строительства определяется в соответствии с СП 14.13330.2018 с вероятностью превышения 5% (В) в течении 50 лет.

Необходимо включить в программу инженерно-геологических изысканий выявление зон тектонических разломов с нанесением их на инженерно-геологические карты.

2.2.1.17 На этапе изысканий при разработке Проектной документации в районах развития опасных геологических процессов (карст, оползни, подтопления) выполняется комплексная оценка их проявления и развития, устанавливается степень взаимодействия на сооружение, составляется прогноз изменения гидрометеорологических, геолого-гидрогеологических условий и техногенных воздействий, устанавливается возможность активизации опасных геологических процессов в процессе эксплуатации проектируемых объектов под влиянием природных и техногенных факторов и выдаются рекомендации по защите объектов высокоскоростной железнодорожной магистрали в период строительства и эксплуатации.

2.2.1.18 Опытно-фильтрационные работы выполняются:

– на стадии Проектная документация на опорных площадках участков сооружений, для которых гидрогеологические параметры водоносных горизонтов имеют решающее влияние на выбор проектных решений, в том числе всех параметров напорных горизонтов для оценки порового давления.

По результатам рекогносцировки и анализа гидрогеологических условий при необходимости закладывается сеть первоочередных гидрогеологических наблюдательных скважин.

– на стадии Рабочая документация на площадках размещения противofильтрационных и водопонижающих систем, с учетом принятых проектных решений.

На площадках сооружений (для безопасной эксплуатации которых по принятым проектным решениям, инженерно-геологическим и гидрогеологическим условиям, необходим мониторинг динамики подземных вод) закладываются стационарные наблюдательные сети. Стационарные наблюдательные сети передаются по Акту заказчику (застройщику) для продолжения наблюдений в период строительства и эксплуатации.

2.2.1.19 Разведка грунтовых строительных материалов для разработки проектной и строительной документации проводится в соответствии с разработанной и утвержденной программой в взаимодействии с инженерно-геологическими, геодезическими гидрологическими и экологическими изысканиями и учетом требований к грунтовым материалам, используемым для строительства ВСЖМ-1, а также требованиями, предъявляемыми в разделе 3 настоящих СТУ.

## **2.2.2 Требования к инженерно-гидрометеорологическим изысканиям**

2.2.2.1 Инженерно-гидрометеорологические изыскания для проектирования объектов и сооружений, входящих в инфраструктуру ВСЖМ-1, должны выполняться с соблюдением требований государственных стандартов, норм, сводов правил и инструкций, регламентирующих выполнение изыскательских работ, а также в соответствии с требованиями настоящих СТУ.

2.2.2.2 Состав, объемы методики и технологии гидрометеорологических изысканий устанавливается на основании действующих нормативных документов с учетом уровня ответственности сооружений ВСЖМ-1.

2.2.2.3 По результатам выполненных изысканий составляется прогноз изменения гидрометеорологических параметров и процессов на период строительства и эксплуатации ВСЖМ-1:

– в части метеорологических изысканий прогнозируется изменение: температурного режима, влажности воздуха, скорости и направления ветра, объема и вида атмосферных осадков, включая ледяные дожди, облачности, метеорологической видимости, снежного покрова, испарение с водной поверхности;

– в части гидрологических исследований изменение объемов поверхностного стока, уклонов водной поверхности, паводков, русловых процессов, уровней и температуры воды, ледового режима.

2.2.2.4 По данным наблюдений и прогноза изменения гидрометеорологических параметров производится оценка их влияния на активизацию опасных инженерно-геологических процессов и разрабатываются варианты защиты объектов высокоскоростной магистрали.

2.2.2.5 Категория опасности гидрометеорологических процессов определяется в соответствии с действующими нормативными документами и оценки риска.

### 3 Земляное полотно высокоскоростной железнодорожной магистрали колеи 1520 мм Москва – Санкт-Петербург. Технические нормы и требования к проектированию и строительству

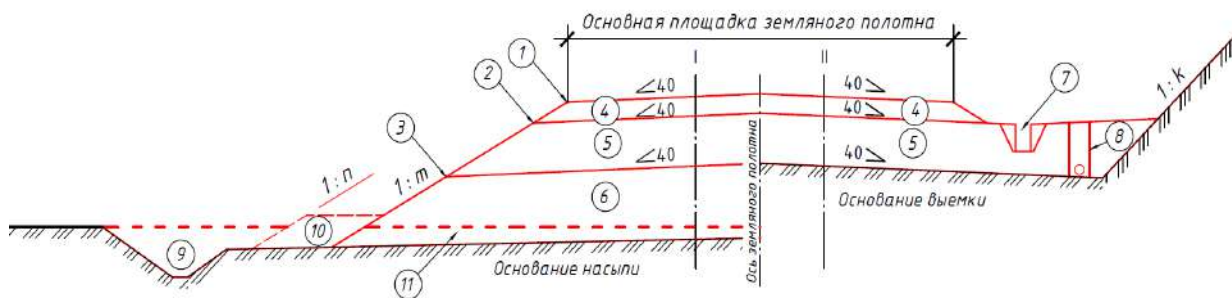
#### 3.1 Общие сведения

3.1.1 При проектировании и строительстве должны быть обеспечены прочность, устойчивость и требования по деформативности земляного полотна, установленные разделами 3.2.1-3.2.2 настоящих СТУ, с учетом вибродинамического воздействия поездов.

3.1.2 Проектирование земляного полотна следует выполнять в сочетании с проектированием конструкций верхнего строения пути, искусственных сооружений и инженерных коммуникаций.

3.1.3 Земляное полотно ВСЖМ-1 следует проектировать под максимально допустимую вертикальную динамическую нагрузку от колеса на рельс 160 кН (16,3 т), а также с учетом нагрузки от применяемого типа верхнего строения пути.

3.1.4 Земляное полотно ВСЖМ-1 включает в себя следующие основные элементы: защитный слой, насыпь, откосы насыпи, основание насыпи, откосы выемки, основание выемки, устройства для отвода поверхностных и грунтовых вод (водоотводные канавы, кюветы, лотки, а также дренажи), защитные и укрепительные сооружения (рисунок 3.1).



- 1 – бровка основной площадки земляного полотна (первого защитного слоя); 2 – бровка второго защитного слоя; 3 – бровка насыпи ниже защитных слоев; 4 – первый защитный слой; 5 – второй защитный слой (морозоустойчивый слой); 6 – тело насыпи; 7 – водоотводный лоток; 8 – дренаж; 9 – водоотводная канава; 10 – берма для укладки лотков для прокладки силовых кабелей; 11 – почвенно-растительный слой

Рисунок 3.1 – Основные элементы земляного полотна ВСЖМ-1

3.1.5 Земляное полотно на всем протяжении устраивается с защитными слоями в соответствии с рисунком 3.1.

3.1.6 При проектировании земляного полотна должны быть разработаны групповые решения с учетом требований и норм настоящих СТУ для наиболее часто встречающихся условий строительства.

Земляное полотно проектируется в индивидуальном порядке в

следующих случаях:

- насыпи высотой более 12 м;
- насыпи на поймах рек, на участках пересечения водоемов и водотоков, а также на участках временного подтопления, на участках земляного полотна, расположенных вдоль водотоков, водоемов и водохранилищ;
- насыпи на косогорах круче 1:5, сложенных скальными грунтами, на косогорах круче 1:3, сложенных нескальными грунтами, а также на косогорах крутизной от 1:5 до 1:3 при высоте низовых откосов более 12 м;
- насыпи на слабых основаниях, за исключением участков, где слабые грунты залегают с поверхности земли, подстилаются прочными минеральными грунтами и имеют мощность до 4 м;
- насыпи на недостаточно прочных и слабых основаниях на участках укладки безбалластного пути;
- насыпи в зоне сопряжения с искусственными сооружениями;
- земляное полотно, при сооружении которого используется гидромеханизация и взрывные способы производства работ;
- насыпи на участках выхода ключей в пределах основания;
- выемки при высоте откосов более 12 м в любых грунтах;
- выемки в скальных грунтах при залегании пластов горных пород с наклоном круче 1:3 в сторону пути;
- выемки на участках залегания уровня грунтовых вод выше подошвы второго защитного слоя или в глинистых грунтах с показателем консистенции более 0,5;
- выемки глубиной более 6 м в глинистых и пылеватых грунтах в районах избыточного увлажнения;
- выемки в грунтах, резко снижающих свои прочностные и деформативные характеристики при воздействии климатических факторов и динамических воздействиях;
- выемки в слабых грунтах (таблица 3.2);
- земляное полотно в стесненных условиях, где невозможно или нецелесообразно устроить откосы стандартной крутизны;
- земляное полотно в местах активных склоновых процессов;
- земляное полотно на участках с развитием карстовых процессов;
- земляное полотно в местах пересечения его трубопроводами.

## **3.2 Основные положения проектирования**

### **3.2.1 Требования к прочности и устойчивости земляного полотна**

3.2.1.1 Конструкцию земляного полотна следует проектировать с обеспеченной несущей способностью и устойчивостью откосов.

3.2.1.2 При проектировании земляного полотна на слабых основаниях необходимо обеспечить несущую способность основания насыпи.

3.2.1.3 Несущая способность основания земляного полотна считается обеспеченной при выполнении условия (3.1):

$$P \leq \frac{\gamma_c \cdot [P]}{\gamma_n}, \quad (3.1)$$

где  $P$  – расчетная нагрузка на основание, определяемая с учетом нагрузки от подвижного состава, веса верхнего строения пути и собственного веса грунтов насыпи, кПа;

$[P]$  – несущая способность (прочность) основания земляного полотна, кПа;

$\gamma_c$  – коэффициент условий работы, принимаемый:

для песков, кроме пылеватых .....	1,0
для песков пылеватых, а также глинистых грунтов в стабилизированном состоянии .....	0,9
для слабых водонасыщенных грунтов в нестабилизированном состоянии .....	0,85
для скальных грунтов:	
невыветрелых и слабыветрелых .....	1,0
выветрелых .....	0,9
сильновыветрелых .....	0,8.

$\gamma_n$  – коэффициент надежности по ответственности, принимаемый для земляного полотна ВСЖМ-1 равным 1,30.

Несущая способность должна определяться по схеме предельного равновесия. Оценка несущей способности (прочности) основания земляного полотна может осуществляться на основе анализа напряженно-деформированного состояния грунтов основания, выполняемого численными методами и базирующегося на достоверных и апробированных на практике теориях и методиках расчета. При этом за критерий обеспечения прочности принимается условие отсутствия в основании земляного полотна зон, в которых наблюдается предельное напряженное состояние грунтов.

3.2.1.4 Общая и местная устойчивость откосов насыпей или выемок, а также общая устойчивость земляного полотна на косогорах считается обеспеченной при выполнении условия (3.2):

$$K_y \geq K_{\text{треб}}, \quad (3.2)$$

где  $K_y$  – минимальный расчетный коэффициент устойчивости;

$K_{\text{треб}}$  – минимальный требуемый коэффициент устойчивости, определяемый по формуле:

$$K_{\text{треб}} = \frac{\gamma_{fc} \cdot \gamma_n}{\gamma_d}, \quad (3.3)$$

где  $\gamma_n$  – коэффициент надежности по ответственности сооружения, принимаемый в соответствии с п. 3.2.1.3;

$\gamma_{fc}$  – коэффициент сочетания нагрузок, принимаемый равным: для строительного периода 0,95; для основного сочетания эксплуатационного периода 1,0;

$\gamma_d$  – коэффициент, учитывающий точность и условность методов расчета, принимается равным 1,0 для методов:

- а) откосов, при условии учета их полного взаимодействия;
- б) основанных на анализе напряженно-деформированного состояния земляного полотна и его основания (в том числе метода снижения прочности), выполняемого численными методами, с отысканием наиболее потенциально опасной поверхности скольжения, в том числе произвольной формы. Для откосов, сложенных однородными грунтами и прочном основании, допускается принимать форму потенциальной наиболее опасной поверхности скольжения в виде круглоцилиндрической поверхности;
- в) для остальных методов  $\gamma_d$  принимается равным 0,95.

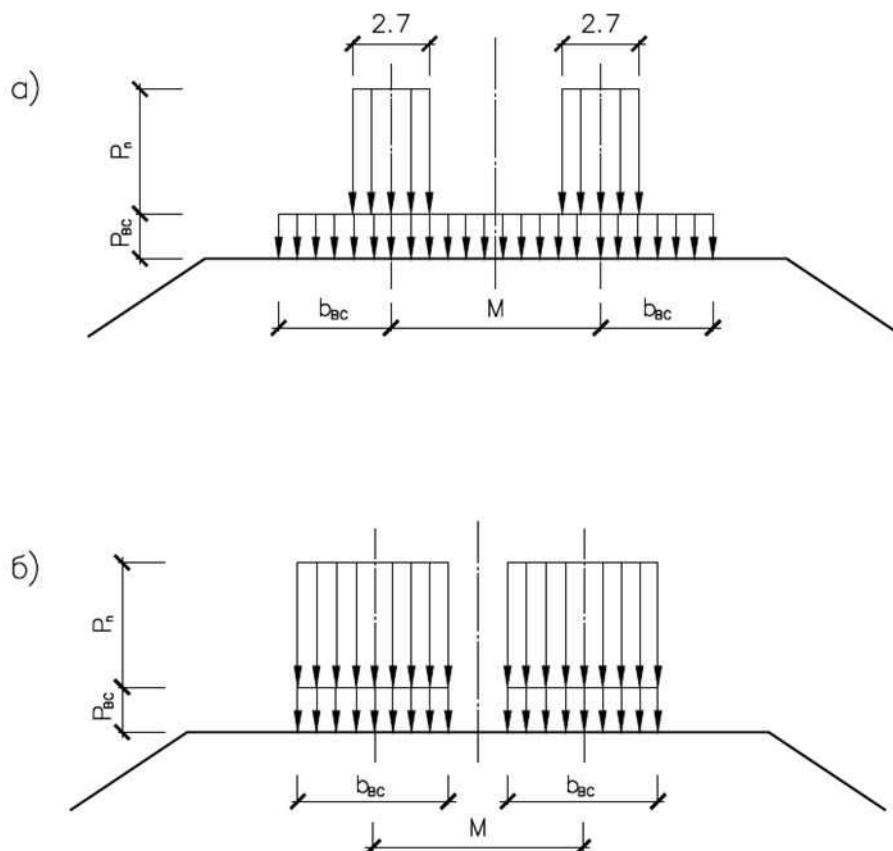
Расчетные значения обобщенных предельных сил сопротивления и активных сдвигающих сил должны определяться с учетом коэффициента надежности по нагрузке  $\gamma_f$ . Значение коэффициента надежности  $\gamma_f$  принимается при расчетах устойчивости откосов выемок равным 1,10, а при расчетах устойчивости насыпей 1,15. Если ухудшение устойчивости может произойти за счет уменьшения действующих сил, следует принимать  $\gamma_f = 0,9$ .

3.2.1.5 Расчетные значения прочностных характеристик грунтов земляного полотна и его основания устанавливаются с учетом коэффициента надежности по грунтам  $\gamma_g$  в соответствии с СП 22.13330, а также ГОСТ 20522.

3.2.1.6 При выполнении вышеуказанных расчетов на головных участках трассы, где реализуются скорости движения от 200 до 400 км/ч, расчетную динамическую нагрузку от подвижного состава  $P_n$  (рисунок 3.2 а и 3.2 б) принимают 100 кПа для участков с ездой на балласте и 60 кПа – для участков с безбалластным верхним строением пути.

Ширину приложения нагрузки на основную площадку земляного полотна от верхнего строения пути в прямых участках пути устанавливают в соответствии с рисунком 3.2. При верхнем строении пути с ездой на балласте расстояние  $b_{вс}$  (рисунок 3.2 а) определяется расчетом в зависимости от толщины щебня под подошвой шпалы, ширины плеча балластной призмы и крутизны откосов балластной призмы. В кривых участках пути значение  $b_{вс}$  с наружной стороны кривой определяют с учетом возвышения наружного рельса. Ширина нагрузки от безбалластного верхнего строения пути на основной площадке земляного полотна  $b_{вс}$  (рисунок 3.2 б) определяется принятым в проекте типом конструкции безбалластного пути.





$M$  – расстояние между осями смежных путей;  $b_{вс}$  – расстояние от оси пути до края нагрузки (в кривых участках балластного пути учитывается увеличение  $b_{вс}$  с наружной стороны кривой за счет устройства возвышения наружного рельса);  $P_n$  – расчетная динамическая нагрузка на основную площадку земляного полотна от движущегося поезда;  $P_{вс}$  – расчетная нагрузка на основную площадку земляного полотна от веса верхнего строения пути.

Рисунок 3.2 – Нагрузки на земляное полотно ВСЖМ: а – в прямом участке при верхнем строении пути с ездой на балласте; б – в прямом участке пути при безбалластном верхнем строении пути

Величина давления на основную площадку земляного полотна от балластного или безбалластного верхнего строения пути устанавливается в зависимости от принятых в проекте параметров конструкций верхнего строения пути.

### 3.2.2 Требования к деформативности земляного полотна

3.2.2.1 Остаточные деформации основной площадки земляного полотна должны соответствовать следующим требованиям:

а) максимальная накопленная остаточная деформация основной площадки земляного полотна при безбалластной конструкции верхнего строения пути за весь срок ее службы, принимаемый равным не менее 50 лет, не должна превышать 15 мм для возможности устранения просадок путем регулировки креплений;

б) максимальная накопленная остаточная деформация основной площадки земляного полотна при верхнем строении пути с ездой на балласте

не должна превышать 100 мм за 25 лет эксплуатации при интенсивности не более 10 мм в год;

в) величина остаточной деформации основной площадки должна быть равномерной в продольном направлении: уклон, вызванный осадкой, не должен превышать 0,25 ‰.

3.2.2.2 Разница в осадках земляного полотна и искусственного сооружения (мост, водопропускная труба, тоннель и т.д.) в зоне их сопряжения в один и тот же момент времени не должна превышать 5 мм.

3.2.2.3 Деформации морозного пучения грунтов в уровне основной площадки земляного полотна должны быть исключены.

3.2.2.4 Под поездной нагрузкой упругие деформации основной площадки земляного полотна не должны превосходить допустимые:

$$S_y = [S_y], \quad (3.4)$$

где  $S_y$  – расчетная упругая осадка основной площадки земляного полотна, мм;  
 $[S_y]$  – допустимая упругая осадка основной площадки земляного полотна под поездной нагрузкой, мм, принимаемая равной 1 мм.

### **3.3 Грунты земляного полотна и требования к ним**

#### **3.3.1 Грунты, применяемые при строительстве земляного полотна**

3.3.1.1 Грунты, используемые для земляного полотна, классифицируются в соответствии с ГОСТ 25100.

3.3.1.2 Для сооружения насыпей (рисунок 3.1), опирающихся на прочное и недостаточно прочное основание (п. 3.3.2.1), следует применять скальные слабовыветрелые грунты, крупнообломочные грунты, крупнообломочные грунты с песчаным дренирующим заполнителем, пески гравелистые, крупные и средней крупности со степенью неоднородности более 3.

Для участков пути с ездой на балласте, кроме участков, сооружаемых на слабых основаниях (табл. 3.2), и постоянно подтопленных насыпей (более 30 суток), допускается использовать мелкие пески с содержанием частиц размером менее 0,1 мм не более 10% по массе со степенью неоднородности более 3, а в летнее время – глинистые грунты твердой и полутвердой консистенции ( $I_L \leq 0,25$ ), кроме глинистых грунтов с влажностью на границе текучести  $w_L$  более 0,40. В процессе строительства не допускается замачивание глинистых грунтов с момента их разработки в карьере (выемке) до момента укладки и уплотнения в теле насыпи, приводящее к увеличению показателя текучести свыше 0,25.

Насыпи, сооружаемые на слабых основаниях (табл. 3.2), а также постоянно подтопленные насыпи (более 30 суток) следует проектировать исключительно из скальных слабовыветрелых грунтов, крупнообломочных грунтов, крупнообломочных грунтов с дренирующим песчаным заполнителем, песков гравелистых, крупных и средней крупности со степенью неоднородности более 3.

3.3.1.3 Первый защитный слой земляного полотна (рисунок 3.1) должен устраиваться из щебеночно-песчано-гравийной смеси (далее – ЩПГС).

Диапазон гранулометрических составов щебеночно-песчано-гравийных смесей для первого защитного слоя должен соответствовать требованиям, представленным в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Гранулометрический состав смеси для первого защитного слоя

Полный остаток на ситах размером в мм, в % по массе								
45	31,5	16	8	4	2	1	0,5	0,063
0	1-10	21-45	37-65	48-78	60-84	65-91	70-95	95-100

Содержание пылеватых частиц размером 0,1 мм и менее в готовых смесях не должно превышать 10% по массе, при этом содержание фракций размером 0,063 мм и менее не должно превышать 5%. Содержание глины в комках от общего количества пылеватых и глинистых частиц в готовых смесях должно быть, в процентах по массе, не более 20.

Щебень, входящий в состав смеси, по прочности, морозостойкости, содержанию зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой формы должен соответствовать ГОСТ 7392. При этом количество зерен пластинчатой и игловатой формы допускается до 15%, потеря массы щебня после испытаний на истираемость в полочном барабане не должна превышать 15% от общей массы, а марка по морозостойкости должна быть не ниже F150. Содержание зерен слабых пород в щебне должно быть не более 5%.

В готовых смесях допускается применение щебня из двух и более разновидностей горных пород.

Готовая смесь должна поставляться с влажностью гравийно-песчаного заполнителя близкой к оптимальной величине, определяемой по ГОСТ 22733. Наибольшая допускаемая влажность смеси, при которой обеспечивается проектная плотность, определяется по кривой стандартного уплотнения в соответствии с ГОСТ 22733.

Готовые смеси в зависимости от величины суммарной удельной эффективной активности естественных радионуклидов ( $A_{эфф}$ ) применяют:

- при  $A_{эфф}$  до 740 Бк/кг – для строительства в пределах территории населенных пунктов и зон перспективной застройки;
- при  $A_{эфф}$  св. 740 до 1500 Бк/кг – для строительства вне населенных пунктов.

3.3.1.4 Для второго (морозоустойчивого) защитного слоя (рисунок 3.1) следует использовать несвязные непучинистые грунты по ГОСТ 25100, с размером частиц 0,063 мм и менее не более 5 % по массе, со степенью неоднородности гранулометрического состава не менее 6 по ГОСТ 25100, обладающие коэффициентом фильтрации при максимальной стандартной плотности, определяемой по ГОСТ 22733, не менее 0,5 м/сутки.

3.3.1.5 Если в основании выемки (рисунок 3.1) до глубины, соответствующей подошве нижнего защитного слоя, располагаются грунты, отвечающие требованиям, приведенным в п. 3.3.1.4, то их допускается использовать в качестве материала нижнего защитного слоя при условии их уплотнения до нормируемых величин, установленных п.п. 3.3.3.3 – 3.3.3.4.

### 3.3.2 Естественные основания

3.3.2.1 В зависимости от влажности, прочностных и деформативных свойств грунтов, однородности их залегания, основания земляного полотна следует подразделять на прочные, недостаточно прочные и слабые (таблица 3.2).

Таблица 3.2 – Классификация оснований земляного полотна

Тип основания	Характеристика грунтов основания	
	Насыпей	Выемок
Прочное	Основание земляного полотна <b>в пределах деформируемой толщи</b> сложено: скальными грунтами; крупнообломочными грунтами с дренирующим песчаным заполнителем; крупнообломочными грунтами с глинистым заполнителем с показателем текучести $I_L \leq 0,25$ ; песками (за исключением песков, обладающих плавунными свойствами), имеющими плотность сухого грунта, равную 0,95 от максимальной стандартной плотности по ГОСТ 22733 или выше; глинистыми грунтами с показателем текучести $I_L \leq 0,25$ , имеющими плотность сухого грунта, равную 0,95 от максимальной стандартной плотности по ГОСТ 22733 или выше.	
Недостаточно прочное	1. Основание земляного полотна <b>в пределах деформируемой толщи</b> сложено глинистыми грунтами с показателем текучести $I_L \leq 0,25$ , а также песками (за исключением песков, обладающих плавунными свойствами) и имеющими плотность сухого грунта менее 0,95 от максимальной стандартной плотности по ГОСТ 22733. 2. Основание земляного полотна <b>в пределах деформируемой толщи</b> сложено глинистыми грунтами с показателем текучести $0,25 < I_L \leq 0,50$ суммарной мощностью свыше 0,5 м. 3. Основание земляного полотна <b>в пределах деформируемой толщи</b> сложено скальными, крупнообломочными песками, глинистыми грунтами твердой и полутвердой консистенции, в толще которых имеются прослои глинистых грунтов с показателем текучести $I_L > 0,5$ суммарной мощностью не более 0,5 м.	

Тип основания	Характеристика грунтов основания	
	Насыпей	Выемок
Слабое	<p>1. Основание насыпей сложено связными грунтами, имеющими прочность на сдвиг в условиях природного залегания при испытании прибором вращательного среза менее 75 кПа по ГОСТ 20276, и (или) удельное сопротивление статическому зондированию конусом с углом при вершине 30° менее 20 кПа по ГОСТ 19912 и (или) модуль осадки при нагрузке 250 кПа более 50 мм/м (модуль деформации ниже 5 МПа). При этом суммарная мощность слоев таких грунтов в <b>пределах деформируемой толщи</b> составляет более 0,5 м.</p> <p>2. Основания, сложенные торфом, заторфованными грунтами, илами, сапропелями, глинистыми грунтами с показателем текучести более 0,5, суммарная мощность слоев которых в <b>пределах деформируемой толщи</b> составляет более 0,5 м.</p> <p>3. Основания, в которых в <b>пределах деформируемой толщи</b> залегают пески, обладающие плавунными свойствами.</p>	<p>Основание выемки сложено глинистыми грунтами с показателем текучести <math>I_L &gt; 0,50</math></p>
<p><b>Примечания</b></p> <p>1. При расчете осадок земляного полотна мощность деформируемой толщи принимается равной глубине от поверхности основания, на которой напряжения от веса земляного полотна, верхнего строения пути и временной нагрузки не превышают 10 % от бытового давления. При этом мощность деформируемой толщи не должна быть меньше половины ширины насыпи понизу.</p> <p>2. На слабых основаниях в качестве нижней границы деформируемой толщи принимается кровля прочного практически несжимаемого грунта</p>		

### 3.3.3 Требования к уплотнению грунтов земляного полотна.

#### Методы контроля

3.3.3.1 Требуемый коэффициент уплотнения грунтов верхнего защитного слоя должен составлять не менее 1,0 при определении максимальной стандартной плотности по ГОСТ 22733.

3.3.3.2 Для оценки качества уплотнения грунтов верхнего защитного слоя должно производиться определение модуля деформации  $E_{v2}$  на основе штамповых испытаний, методика проведения которых представлена в Приложении Г настоящих специальных технических условий. Модуль деформации  $E_{v2}$  на поверхности первого защитного слоя из ЩПГС должен обеспечиваться по всей ширине основной площадки земляного полотна и составлять не менее 120 МПа.

3.3.3.3 Требуемый коэффициент уплотнения грунтов второго (морозоустойчивого) защитного слоя должен составлять не менее 1,0 при определении максимальной стандартной плотности по ГОСТ 22733.

3.3.3.4 Модуль деформации  $E_{v2}$  по верху второго морозоустойчивого защитного слоя, контролируемый в процессе строительства, должен обеспечиваться по всей ширине земляного полотна и составлять не менее 80 МПа.

3.3.3.5 Требуемый коэффициент уплотнения грунтов насыпи должен составлять не менее 0,98 при определении максимальной стандартной

плотности по ГОСТ 22733. Соотношение штамповых модулей деформации  $E_{v2}/E_{v1}$ , измеренных на поверхности отсыпанного тела насыпи (рисунок 3.3 а) или на поверхности основания выемки (рисунок 3.3 б), должно обеспечиваться по всей ширине слоя и составлять не более 2,3.

На рисунке 3.3 приведены обобщенные требования к параметрам уплотнения конструктивных и технологических слоев отсыпаемого земляного полотна.

3.3.3.6 Наибольшая допускаемая влажность насыпных грунтов должна определяться на основании стандартного уплотнения по ГОСТ 22733 в зависимости от требуемого коэффициента уплотнения и для глинистых грунтов не должна превышать значений, указанных в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Допускаемая влажность грунтов при уплотнении

Грунты, допускаемые к применению	Допустимая влажность $W_{adm}$ в долях от оптимальной $W_0$ по ГОСТ 22733 при требуемом коэффициенте уплотнения грунта 1,0–0,98
Супеси легкие крупные	1,35
Супеси легкие и пылеватые	1,25
Супеси тяжелые пылеватые; суглинки легкие и легкие пылеватые	1,15
Суглинки тяжелые и тяжелые пылеватые, глины	1,05
Примечание – Величина допустимой влажности грунта может уточняться с учетом технологических возможностей и имеющихся в наличии конкретных уплотняющих средств	

3.3.3.7 Для контроля коэффициента уплотнения грунтов насыпи и материала защитных слоев, а также для достижения требуемых модулей деформации, должна осуществляться проверка каждого отсыпанного слоя на соответствие нормам, указанным на рисунке 3.3 и в пп. 3.3.3.1 – 3.3.3.5.

Объемы работ по оценке качества уплотнения грунтов приведены в таблице 3.7 настоящих специальных технических условий.

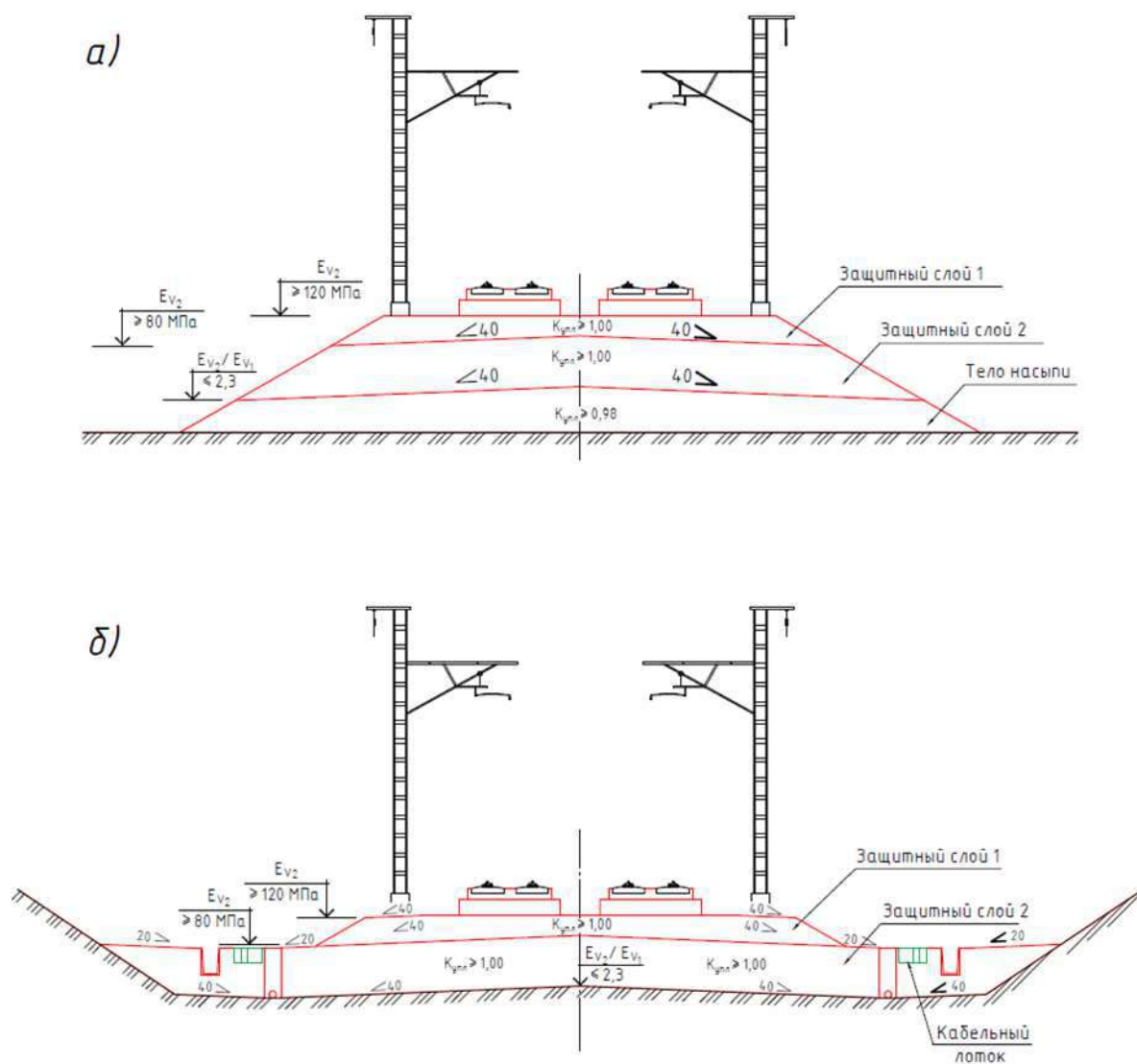


Рисунок 3.3 – Требования к уплотнению грунтов земляного полотна:  
 а – при строительстве насыпи; б – при строительстве выемки

### 3.4 Основные конструктивные параметры земляного полотна

#### 3.4.1 Общие положения

3.4.1.1 Земляное полотно ВСЖМ-1, за исключением отдельных пунктов, проектируется под два пути.

3.4.1.2 В случае отсыпки тела насыпи (рисунок 3.1) дренирующими грунтами, поверхности основания земляного полотна на перегонах и на отдельных пунктах следует придавать поперечный уклон 0,02 – 0,04 в сторону водоотводных сооружений. При этом для уменьшения глубины водоотводных сооружений при равнинном характере рельефа допускается в конструкции нижней части насыпи использовать местные грунты с улучшенными характеристиками, обеспечивающих соотношение штамповых модулей деформации  $E_{V2}/E_{V1}$  не более 2,2 на поверхности таких грунтов и обеспечение отвода поверхностных и грунтовых вод от земляного полотна.

### 3.4.2 Основная площадка земляного полотна

3.4.2.1 Основная площадка земляного полотна располагается в уровне верха первого защитного слоя (рисунки 3.4 и 3.5).

Ширина основной площадки  $B_0$  на перегонах определяется расчетным путем из условия обеспечения расчетного расстояния между осями смежных путей  $M$  и размещения опор контактной сети в соответствии с рисунками 3.4 и 3.5 и формулой (3.5).

$$B_0 = M + \Gamma_1 + \Gamma_2 + 2 \cdot b_0 \quad (3.5)$$

где  $M$  – расстояние между осями смежных путей, определяемое в зависимости от максимальной скорости движения поездов, м;

$\Gamma_{1,2}$  – расстояние от внутренней стороны кабельного лотка до оси ближайшего пути, принимается равным 3,25 м;

$b_0$  – проектная ширина кабельного лотка, м.

Ширина основной площадки земляного полотна на отдельных пунктах принимается с учетом междупутных расстояний между осями главных, приемо-отправочных и других путей и минимально требуемых расстояний от осей крайних станционных путей до бровки земляного полотна. При этом, если на крайнем станционном пути реализуются скорости движения 200 км/ч и менее, расстояние от оси крайнего станционного пути до бровки земляного полотна принимается в соответствии с действующими нормами.

3.4.2.2 Поперечные уклоны основной площадки для балластной конструкции верхнего строения пути, верха нижнего защитного слоя и верха насыпи принимаются 0,04 в обе стороны от оси земляного полотна. Для безбалластной конструкции верхнего строения пути основная площадка принимается горизонтальной в пределах монолитной и фундаментной плиты (гидравлически связанного несущего слоя). Остальную часть основной площадки земляного полотна устраивают с уклоном 0,04 в полевую сторону. При необходимости следует предусматривать отвод воды из междупутного пространства.

### 3.4.3 Защитные слои

3.4.3.1 Земляное полотно ВСЖМ-1 на всем протяжении проектируется с устройством в верхней части защитных слоев. Конструкция земляного полотна включает в себя два защитных слоя (рисунки 3.1, 3.4 и 3.5).

3.4.3.2 Для обеспечения прочности и требуемого уровня деформативности основной площадки земляного полотна минимальная толщина первого защитного слоя должна составлять 0,70 м, второго защитного слоя – не менее 1,80 м.

Минимальную толщину первого защитного слоя допускается уменьшить до 0,40 м при условии наличия в конструкции безбалластного пути фундаментной плиты (гидравлически связанного несущего слоя) толщиной не менее 30 см (рисунок 3.5).



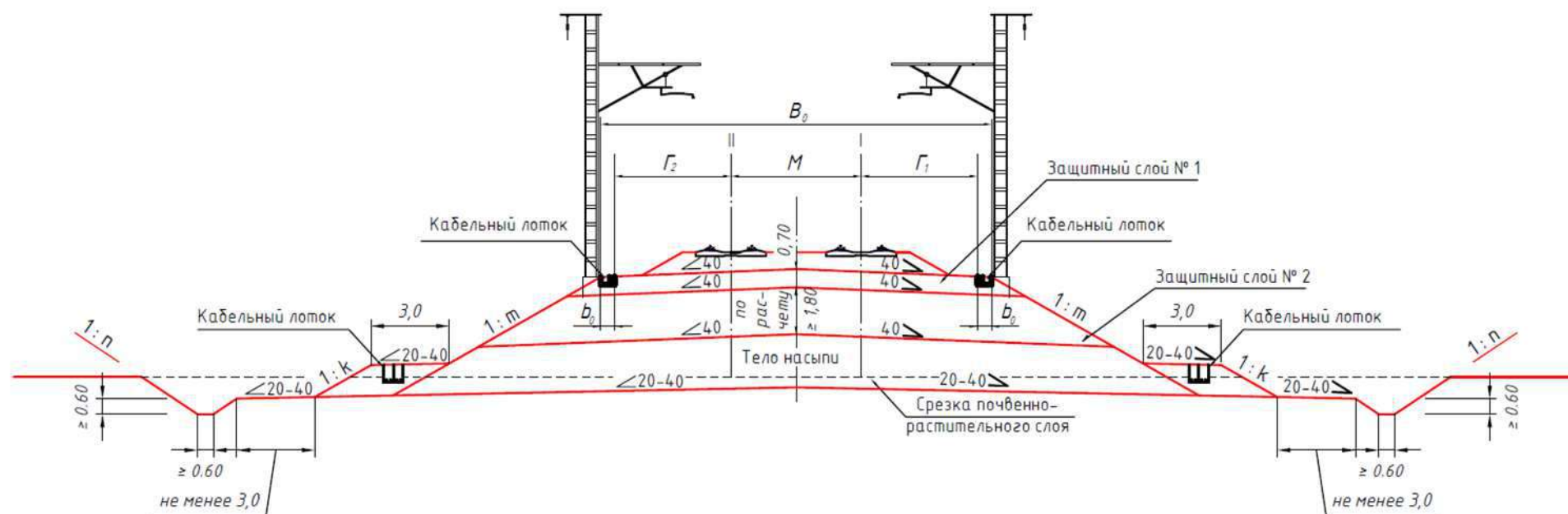


Рисунок 3.4 – Конструкция насыпи на участке укладки верхнего строения пути с ездой на балласте

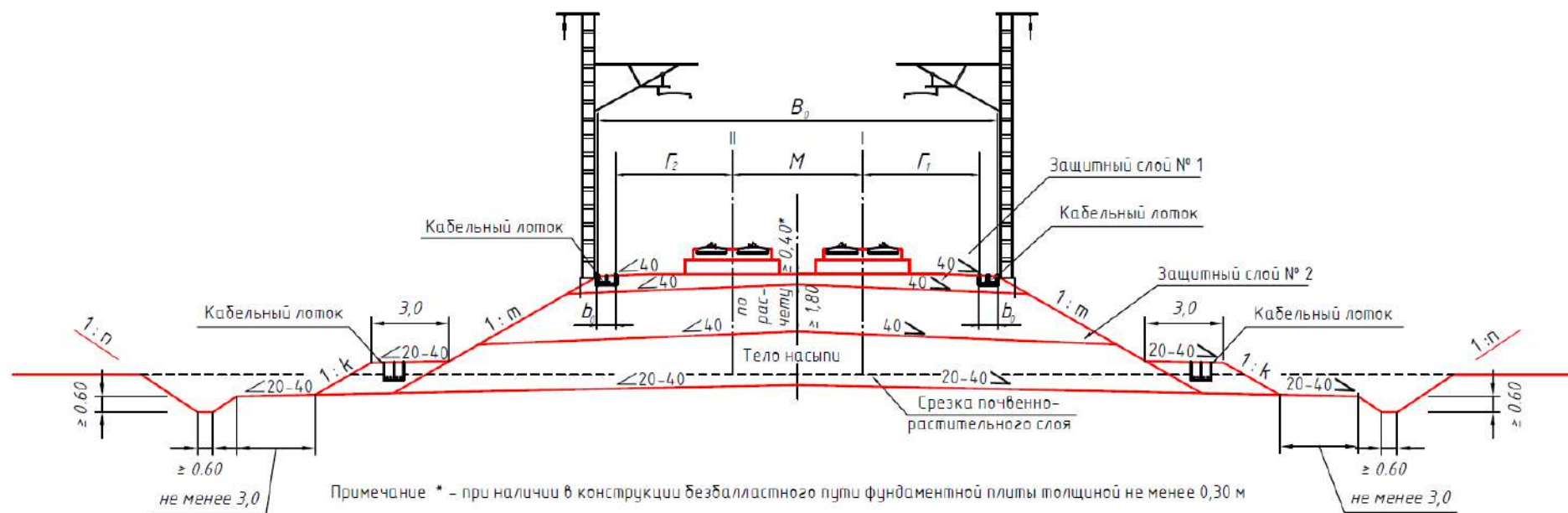


Рисунок 3.5 – Конструкция насыпи на участке укладки безбалластного верхнего строения пути

3.4.3.3 Для исключения деформаций морозного пучения основной площадки земляного полотна толщина нижнего защитного слоя должна назначаться из расчета полного выведения грунтов насыпи и основания выемки из зоны промерзания, но не менее величины, установленной п. 3.4.3.2.

3.4.3.4 Если основание выемки сложено скальными слабовыветрелыми грунтами, допускается устраивать только первый защитный слой из ЩПГС толщиной не менее 0,20 м.

#### 3.4.4 Высота насыпей, глубина выемок, крутизна откосов

3.4.4.1 Максимальные значения высоты насыпей и глубины выемок назначают на основе проектирования продольного профиля, технико-экономического сравнения вариантов, обеспечения наилучших условий охраны окружающей среды во исполнение требований Федерального закона от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды», Федерального закона от 24 апреля 1995 г. № 52-ФЗ «О животном мире».

3.4.4.2 Крутизну откосов насыпей и выемок при групповых решениях следует назначать в соответствии с требованиями таблиц 3.4 и 3.5.

3.4.4.3 Крутизна откосов насыпей и выемок при индивидуальном проектировании определяется на основании расчетов местной и общей устойчивости откосов, а также несущей способности основания земляного полотна при выполнении требований, изложенных в п. 3.1.7.

Таблица 3.4 – Крутизна откосов насыпей, применяемая при групповом проектировании

Вид используемых грунтов в теле насыпи	Крутизна откосов при высоте насыпи		
	До 6 м	До 12 м	
		В верхней части высотой 6 м	В нижней части от 6 до 12 м
Скальные слабовыветрелые, крупнообломочные, в том числе с песчаным и глинистым заполнителем твердой консистенции, пески гравелистые, крупные и средней крупности со степенью неоднородности $C_u > 3$	не круче 1:1,75	не круче 1:1,75	не круче 1:2,0
Пески мелкие, глинистые грунты твердой и полутвердой консистенции ( $I_L \leq 0,25$ ), кроме глинистых грунтов с влажностью на границе текучести $w_L$ более 0,40, крупнообломочные с глинистым заполнителем полутвердой консистенции	не круче 1:2,0	не круче 1:2,0	не круче 1:2,5

Таблица 3.5 – Крутизна откосов выемок, применяемая при групповом проектировании

Вид грунта	Высота откосов выемок, м	Крутизна откосов выемок
Крупнообломочные, пески гравелистые, крупные и средней крупности	12	1:1,5
Глинистые грунты, мелкие и пылеватые пески	12	1:2

### 3.5 Проектирование и строительство насыпей

#### 3.5.1 Насыпи на прочном и недостаточно прочном основаниях при конструкции верхнего строения пути с ездой на балласте

3.5.1.1 Для сооружения насыпей, возводимых на прочном и недостаточно прочном основании (таблица 3.2), допускаются все грунты, пригодные для применения в соответствии с п. 3.3.1.2.

3.5.1.2 Допускается в конструкции насыпи использовать разнородные грунты, удовлетворяющие требованиям п. 3.3.1.2. В случае расположения дренирующего грунта над глинистым, поверхности последнего необходимо придавать поперечный уклон не менее 0,04 от оси земляного полотна к краям насыпи. Не допускается расположение недренирующих грунтов над дренирующими.

В случае расположения второго защитного слоя над недренирующей поверхностью, а также в случае отсыпки насыпи из крупнообломочных грунтов, на границе раздела следует предусматривать укладку разделительного слоя из геотекстиля.

3.5.1.3 При сооружении насыпей из скальных слабовыветрелых грунтов, а также крупнообломочных грунтов (валунных и галечниковых), максимально допустимый размер камня не должен превышать 75 мм.

3.5.1.4 Для насыпей, сооружаемых на прочных основаниях (таблица 3.2), дополнительных мероприятий по усилению основания не требуется.

3.5.1.5 На участках насыпей, сооружаемых на недостаточно прочных основаниях, должны предусматриваться дополнительные мероприятия по снижению деформативности основания с учетом требований пп. 3.2.2.1-3.2.2.4 настоящих специальных технических условий.

3.5.1.6 При высоте насыпей менее суммарной толщины защитных слоев выполняют вырезку грунтов основания на глубину, достаточную для создания защитного слоя. В случае залегания в основании насыпей грунтов, свойства которых соответствуют требованиям ко второму защитному слою (п. 3.3.1.4), такие грунты могут не вырезаться в случае выполнения мероприятий достаточных для достижения нормативных требований по деформативности земляного полотна, указанных в разделе 3.2.2.

3.5.1.7 В пределах косогоров крутизной от 1:5 до 1:3 независимо от высоты насыпей в основании требуется нарезка уступов, шириной от 1 до 4 м и высотой 1-2 м с приданием поверхности уступов поперечного уклона

в низовую сторону величиной 0,01-0,02. Стенки уступов выполняют вертикальными при высоте до 1 м и с уклоном крутизной 1:0,5 при высоте до 2 м.

В пределах косогоров крутизной круче 1:3 необходимость нарезки уступов в основании земляного полотна определяется при разработке индивидуальной конструкции земляного полотна.

### **3.5.2 Насыпи на слабых основаниях при конструкции верхнего строения пути с ездой на балласте**

3.5.2.1 Насыпи на слабых основаниях следует проектировать с учетом мощности слабой толщи, уклона минерального дна, вида слабых грунтов, особенностей их физико-механических свойств, высоты насыпи и рельефа местности.

3.5.2.2 Для сооружения насыпей следует использовать дренирующие грунты, требования к которым приведены в последнем абзаце п. 3.3.1.2.

3.5.2.3 Насыпи на участках болот глубиной до 4,0 м, а также в районах с залеганием с поверхности основания глинистых грунтов с показателем текучести свыше 0,5 мощностью до 4,0 м, подстилаемые грунтовой толщей, классифицируемой в соответствии с таблицей 3.2 как прочное или недостаточно прочное основание, проектируются с полным удалением слабого грунта.

3.5.2.4 При сооружении насыпей на слабых основаниях в условиях, не предусмотренных п. 3.5.2.3, проектирование ведется в индивидуальном порядке.

### **3.5.3 Насыпи на участках безбалластного пути**

3.5.3.1 При проектировании насыпей на прочном или недостаточно прочном основании должна рассматриваться необходимость улучшения физико-механических свойств грунтов основания, что должно подтверждаться расчетами.

3.5.3.2 При невозможности обеспечения требований раздела 3.2, насыпи на участках укладки безбалластного пути проектируются в индивидуальном порядке. Запроектированная конструкция должна соответствовать требованиям разделов 3.2.1 и 3.2.2 настоящих специальных технических условий.

### **3.5.4 Пойменные насыпи и насыпи в условиях подтопления**

3.5.4.1 Пойменные насыпи следует проектировать с учетом постоянного или периодического воздействия водных масс водотоков или водоемов, которое проявляется в виде обводнения грунта тела насыпей, размывающего воздействия, вызываемого течением водного потока или волнением, разрушения и загромождения откосов земляного полотна льдом.

3.5.4.2 Не допускается обводнение подошвы верхнего защитного слоя, которая должна возвышаться над наивысшим расчетным уровнем воды не менее чем на 0,5 м, определяемым исходя из вероятности превышения

1:300 (0,33 %).

3.5.4.3 Отметка верха укрепления подтопляемых откосов земляного полотна должна возвышаться над наивысшим расчетным уровнем воды с учетом подпора, наката волны на откос и ветрового нагона и ледовых явлений не менее чем на 0,5 м.

3.5.4.4 Тип укрепления откосов следует назначать исходя из вероятности превышения расходов паводка 1:100 (1 %) и соответствующих им уровней воды на пике паводков с учетом подпора, наката волны на откос и ветрового нагона.

### **3.5.5 Насыпи на подходах к искусственным сооружениям. Конструктивные особенности**

3.5.5.1 Конструкция сопряжения мостовых переходов с насыпями должна обеспечивать плавный съезд и въезд поезда на мост и исключать образование сверхнормативных местных просадок (п. 3.2.2.2).

3.5.5.2 Насыпи на подходах к искусственным сооружениям (мостам, эстакадам и водопропускным трубам) на протяжении 50 м сооружаются только из несвязных дренирующих грунтов.

3.5.5.3 Переменная жесткость земляного полотна создается за счет отсыпки насыпи на подходе к искусственному сооружению из грунта улучшенных свойств переменной толщины в виде трапеции с меньшим основанием по подошве (рисунок 3.6).

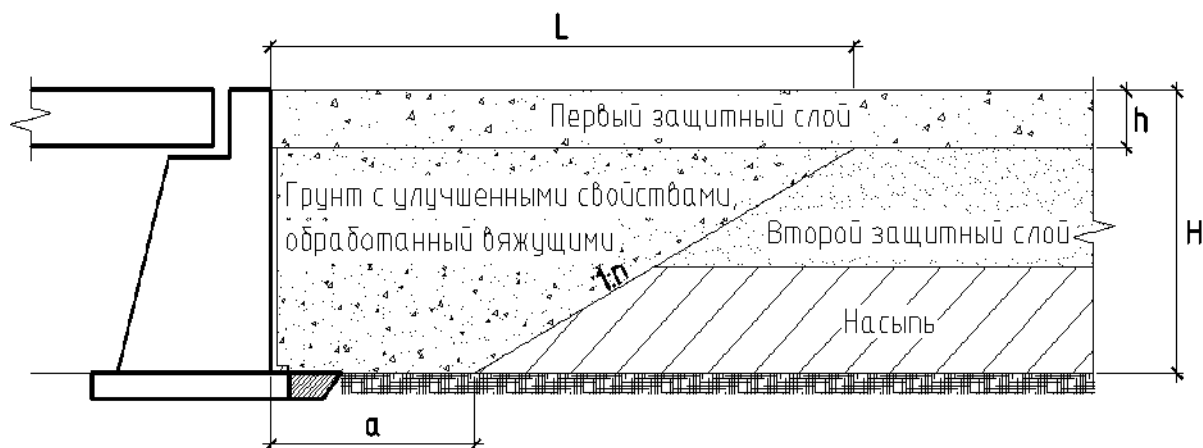


Рисунок 3.6 – Конструкция сопряжения насыпи с мостами и эстакадами

В качестве улучшения свойств грунта и повышения его модуля деформации применяют методы обработки грунта вяжущими с достижением модуля деформации не менее 120 МПа.

Длина участка земляного полотна с переменной жесткостью назначается по формуле (3.6), но не менее 25 м:

$$L = a + (H - h) \cdot n, \quad (3.6)$$

где  $a$  – ширина основания трапеции у подошвы земляного полотна, принимается равной 5 м;

$H$  – высота насыпи, м;

$h$  – толщина первого защитного слоя, м;

$n$  – крутизна заложения откоса трапеции; принимается равной 5.

3.5.5.4 Насыпи в зоне водопропускных труб для выравнивания жесткости и снижения деформаций выполняют также из грунтов улучшенных свойств (рисунок 3.7).

При высоте насыпи над трубой более 2,5 м необходимо устраивать засыпку трубы толщиной  $t$ , равной 1,0 м (рисунок 3.7). Если расстояние от верха трубы до подошвы второго защитного слоя менее 1,0 м, то засыпку трубы осуществляют до нижней границы второго защитного слоя.

Засыпка должна выполняться непучинистым грунтом по ГОСТ 25100 с содержанием частиц размером 0,063 мм и менее не более 5% по массе.

Горизонтальное расстояние от боковой грани трубы до бровки засыпки  $t_l$  (рисунок 3.7) принимается равным 1,0 м.

При высоте насыпи над трубой 2,5 м и менее дополнительная засыпка не устраивается.

Улучшение свойств грунта выполняют за счет обработки вяжущими с достижением модуля деформации не менее 120 МПа.

Длина участка земляного полотна на подходе к водопропускной трубе определяется по формуле (3.7):

$$L = a + H_T \cdot n \quad (3.7)$$

где  $H_m$  – высота трубы, м;

$a$  – ширина основания трапеции у подошвы земляного полотна, принимается равной 2 м;

$n$  – крутизна заложения откоса трапеции, принимается равной 2.

На участках сопряжения искусственного сооружения и земляного полотна, опирающегося на слабое основание (таблица 3.2), насыпь проектируется на свайном основании.

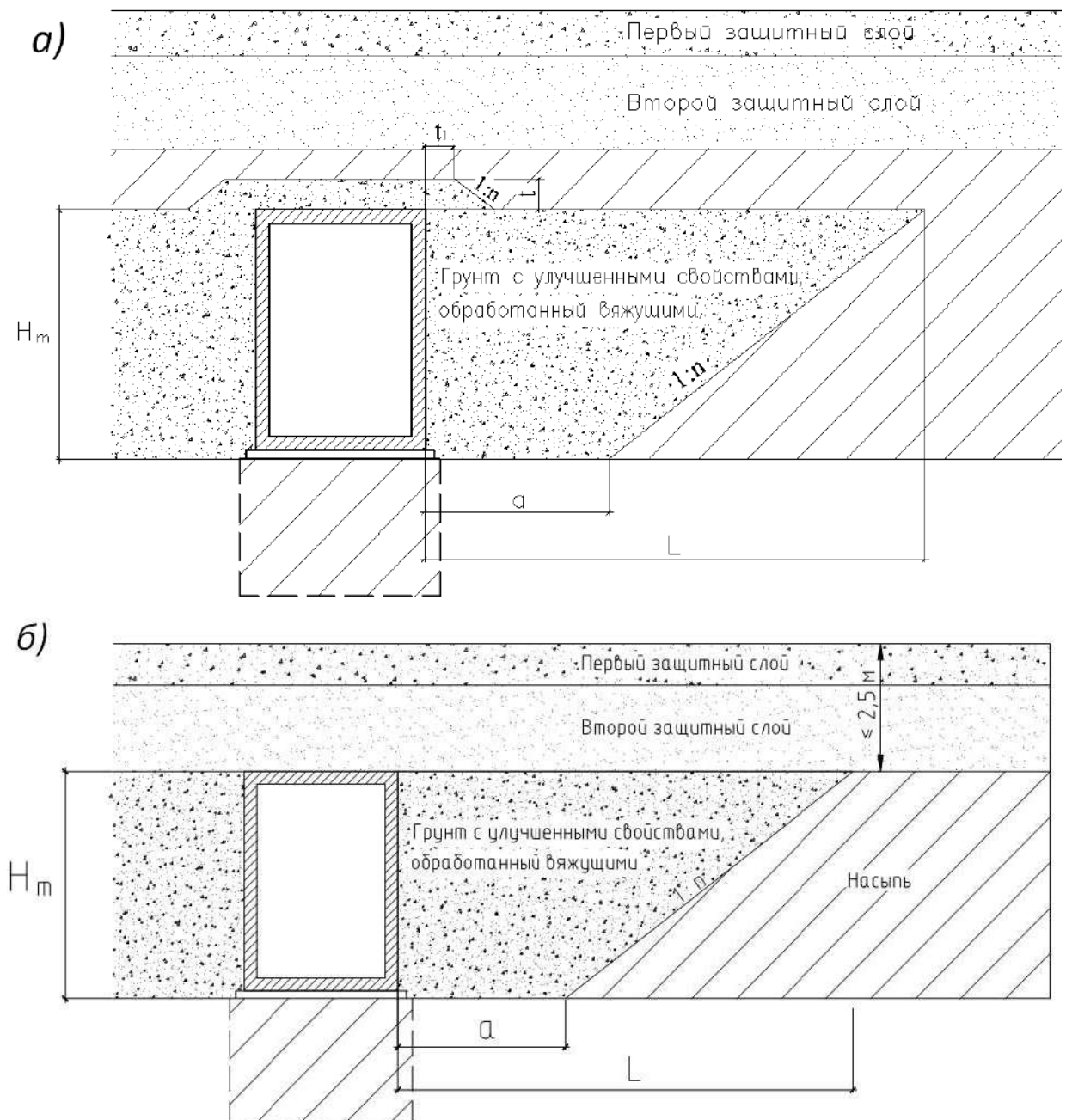


Рисунок 3.7 – Конструкция сопряжения насыпи с водопропускными трубами:  
а – при высоте насыпи над трубой более 2,5 м;  
б – при высоте насыпи над трубой 2,5 м и менее.

### 3.6 Проектирование и устройство выемок

#### 3.6.1 Выемки при конструкции верхнего строения пути с ездой на балласте

3.6.1.1 При проектировании выемок глубиной более 2,0 м в глинистых грунтах, мелких и пылеватых песках и в легковыветривающихся скальных грунтах следует предусматривать закуветные полки шириной не менее 3,0 м.



3.6.1.2 При глубине выемки более 12 м предусматривают технологические полки на откосах шириной не менее 5,0 м. Поверхности полки придается поперечный уклон не менее 0,02 в сторону пути. При необходимости на поверхности полки следует предусматривать устройство водоотводных сооружений или дренажных устройств.

3.6.1.3 В выемках с прочным основанием (таблица 3.2) дополнительных мероприятий по усилению основания не требуются.

3.6.1.4 В выемках с недостаточно прочным основанием необходимо предусмотреть мероприятия, обеспечивающие выполнение требований раздела 3.2.2 настоящих специальных технических условий.

3.6.1.5 В выемках и на нулевых местах должен быть осуществлен отвод воды от подошвы (низа) второго защитного слоя. В случае невозможности выполнения данного требования проектирование земляного полотна ведется в индивидуальном порядке.

### **3.6.2 Выемки на участках безбалластного пути**

3.6.2.1 Выемки на участках безбалластного пути должны проектироваться и устраиваться в соответствии с требованиями п.п. 3.6.1.1-3.6.1.5 настоящих специальных технических условий.

3.6.2.2 Выемки на недостаточно прочном основании, сложенном глинистыми грунтами, а также на слабом основании на участках безбалластного пути проектируются в индивидуальном порядке на основе технико-экономического сравнения вариантов решений.

## **3.7 Земляное полотно на карстоопасных участках**

3.7.1 В ходе инженерных изысканий должны быть точно установлены все проявления карста, на основе которых должна быть выполнена оценка карстовой и карстово-суффозионной опасности территории проектирования и строительства. Оценка карстоопасности должна производиться с учетом возможных техногенных воздействий.

3.7.2 Основными количественными параметрами карстоопасности являются интенсивность провалообразования и диаметры карстовых деформаций.

3.7.3 При интенсивности провалообразования:

- менее 0,005 – специальные технические мероприятия могут не назначаться, и земляное полотно проектируется как для обычных условий;

- от 0,005 до 0,01 – следует предусмотреть водозащитные и противифльтрационные мероприятия на всем протяжении земляного полотна;

- от 0,01 до 0,05 – участок должен быть оборудован сигнально-удерживающими конструкциями, обеспечивающими остановку движения и предотвращающими возможность схода подвижного состава. В процессе проектирования могут рассматриваться другие организационно-технические мероприятия, обеспечивающие безопасность эксплуатации сооружения;

– более 0,05 – земляное полотно и основание должны быть усилены, либо рассмотрен вариант перехода на эстакады со свайными основаниями или выбрано новое положение трассы.

3.7.4 Проектирование противокарстовых мероприятий выполняется по размерам проявлений карста (провалов и полостей), определенным расчетными вероятностно-статистическими и (или) аналитическими методами с вероятностью их неперевышения 1 раз в 100 лет.

3.7.5 На стадии проектирования должна быть разработана программа проведения геотехнического мониторинга на карстоопасных участках на период строительства и эксплуатации высокоскоростной магистрали.

### **3.8 Земляное полотно станций и узлов**

3.8.1 Проектирование продольного профиля в пределах отдельных пунктов должно предусматриваться преимущественно в виде насыпей. В случае, если это приводит к значительному увеличению объемов работ, допускается устройство выемок.

3.8.2 Конструкция земляного полотна главных путей станций и диспетчерских постов должна соответствовать нормам, принятым для главных путей перегонов.

3.8.3 Толщина защитных слоев, значения требуемых модулей деформации, коэффициентов уплотнения для главных путей на отдельных пунктах устанавливаются, как и для главных путей перегонов.

3.8.4 На приемо-отправочных путях отдельных пунктов, предназначенных для обращения высокоскоростных поездов, толщина верхнего защитного слоя определяется из условия обеспечения требуемого модуля деформации на уровне основной площадки земляного полотна не менее 80 МПа, при этом минимальная толщина верхнего защитного слоя должна составлять не менее 0,20 м.

3.8.5 Поверхности основной площадки земляного полотна отдельных пунктов следует придавать поперечные уклоны в соответствии с требованиями п. 3.4.2.2. Для крайних путей поперечный уклон следует придавать в полевую сторону, не крайних – либо в полевую сторону, либо в сторону водоотводных сооружений.

3.8.6 Границам раздела разнородных грунтов, слагающим земляное полотно отдельных пунктов, включая участки размещения главных путей, следует придавать поперечный уклон не менее 0,04. Для крайних путей поперечный уклон следует придавать в полевую сторону, не крайних – либо в полевую сторону, либо в сторону водоотводных сооружений.

### **3.9 Устройства для отвода поверхностных и грунтовых вод**

3.9.1 Отвод поверхностных вод следует предусматривать:

– от насыпей – канавами (продольными и поперечными водоотводными, осушительными);

- от откосов выемок и полувыемок – нагорными канавами;
- от основной площадки земляного полотна в выемках и полувыемках и с откосов выемок – кюветами, лотками, кюветами и лотками в комбинации с дренажами мелкого заложения.

На местности с поперечным уклоном менее 0,04, на участках с переменной сторонностью поперечного уклона, а также на болотах водоотводные каналы следует проектировать с двух сторон земляного полотна.

3.9.2 Поперечное сечение водоотводных устройств следует назначать по расчетным расходам воды, устанавливаемым с вероятностью превышения по нормам, указанным в таблице 3.6.

Таблица 3.6

Вероятность превышения расходов воды для	
кюветов, нагорных канав, водоотводных канав в пределах нулевых мест и водосбросов	продольных (у насыпей) и поперечных водоотводных канав
1:100 (1,0 %)	1:25 (4,0 %)

3.9.3 Бровка водоотводов должна возвышаться над уровнем воды, соответствующем расходу указанной вероятности превышения не менее чем на 0,2 м.

3.9.4 Продольный уклон водоотводных канав должен быть не менее 0,003. Наибольший уклон дна канавы следует определять в зависимости от расходов воды, степени размываемости грунтов и типа укрепления.

3.9.5 На болотах, речных поймах и в других случаях малого естественного уклона местности продольный уклон водоотводных канав допускается уменьшать до 0,002 при условии, если расчетом установлено, что при заполнении канав на полный профиль обеспечивается скорость течения, исключающая заиливание. Продольный уклон канав менее 0,002 не допускается.

3.9.6 Расстояние между подошвой откосов насыпей или берм и внутренней бровкой продольных водоотводных канав следует принимать не менее 3 м на участках с прочным и недостаточно прочным основанием.

На участках со слабыми основаниями положение водоотводной канавы в плане должно определяться из условия исключения ее размещения в пределах зоны выпора, определяемого по схеме предельного равновесия грунтов основания или на основании расчетов устойчивости откосов земляного полотна. Поверхности естественной бермы следует придавать поперечный уклон не менее 0,02 в сторону водоотводного сооружения.

3.9.7 В выемках, в районах избыточного увлажнения следует при необходимости предусматривать устройство дренажей для перехвата, понижения и отведения грунтовых вод.

3.9.8 Дренажи должны проектироваться с продольным уклоном не

менее 0,005. В трудных условиях допускается продольный уклон не менее 0,003.

### **3.10 Защита и укрепление земляного полотна и водоотводных сооружений**

3.10.1 При проектировании ВСЖМ-1 для обеспечения безопасности движения поездов должны быть предусмотрены мероприятия по защите земляного полотна и водоотводных сооружений от прогнозируемых возможных неблагоприятных природных и техногенных процессов и явлений.

3.10.2 Укреплению подлежат: откосы насыпей, выемок, второго защитного слоя, полок технологических и закуветных при всех видах грунтов, кроме скальных и крупнообломочных, обочины, регуляционные сооружения, откосы и дно кюветов и канав.

3.10.3 Мероприятия по защите от размыва подтопляемых откосов назначаются в соответствии с требованиями раздела 3.5.4.

3.10.4 Откосы выемок в глинистых грунтах при  $w_L \geq 0,40$  независимо от консистенции и при  $w_L < 0,40$  тугопластичной и мягкопластичной консистенции подлежат укреплению крупнообломочными грунтами. Толщина укрепления назначается на основании расчетов по апробированным методикам, обосновывающих геометрические параметры конструкции укрепления, расчетный размер крупности камня, толщину каменной наброски и подготовки под нее, а также параметры упорных конструкций.

### **3.11 Виброзащита земляного полотна**

3.11.1 Для снижения уровня вибрационного воздействия, передаваемого земляному полотну, увеличения срока службы щебеночного балласта и повышения стабильности пути под балластной призмой следует предусматривать укладку упругой прослойки в виде подбалластных матов, характеристики которых определяются расчетом.

Величины виброускорений колебаний грунтов в уровне основной площадки земляного полотна, возникающие при движении подвижного состава, не должны превышать  $1,9 \text{ м/с}^2$ .

Прослойка в обязательном порядке должна укладываться в следующих случаях:

- на железобетонных мостах и эстакадах с ездой на балласте;
- на железнодорожных путях в границах населенных пунктов;
- на участках сопряжения с искусственными сооружениями;
- в тоннелях для снижения уровня вторичного шума и уменьшения вибродинамического воздействия на конструктивные элементы тоннельной обделки.

3.11.2 На основе материалов изысканий и результатов обследования близрасположенных к железнодорожным путям зданий и сооружений

укладка подбалластных матов должна быть предусмотрена на тех участках пути с ездой на балласте, где движение подвижного состава приводит к возникновению недопустимых колебаний поверхности грунта под подошвой фундаментов таких зданий и сооружений.

### **3.12 Особенности проектирования и строительства земляного полотна, возводимого в зимнее время**

3.12.1 Участки, на которых земляное полотно может сооружаться в зимнее время, необходимо определять на стадии разработки проекта и уточнять при разработке рабочей документации.

3.12.2 В зимний период допускается выполнять следующие работы:

- разработку выемок и карьеров в песках, гравийно-галечных и скальных грунтах;
- разработку выемок в глинистых грунтах глубиной более 3 м с перемещением грунта в отвал;
- устройство дренажей;
- устройство поверхностных водоотводов;
- устройство свайно-ростверкового основания на слабых грунтах;
- укрепление откосов насыпей регуляционных сооружений и русел рек.

3.12.3 Защитные слои и тело насыпи допускается сооружать только в теплое время года после наступления устойчивых положительных температур.

### **3.13 Контроль при строительстве земляного полотна**

3.13.1 До начала работ по сооружению земляного полотна должно быть проверено соответствие принятых в проекте и фактических показателей состава и состояния грунтов в карьерах, выемках, естественных основаниях.

3.13.2 В процессе разработки выемок, карьеров должны проводиться систематические наблюдения за изменением влажности грунтов в зависимости от условий увлажнения и просыхания. Отбор проб на влажность должен производиться не менее двух на каждые 10 тыс. м<sup>3</sup> выемки или карьера с периодичностью один раз в неделю при устойчивой погоде и ежедневно после дождей интенсивностью более 5 мм/сут. в течение последующих 3 суток.

3.13.3 К постоянно контролируемым показателям качества сооружения земляного полотна относятся: правильность осевой линии поверхностного земляного полотна в плане и профиле, соблюдение поперечных уклонов; ширина земляного полотна, крутизна откосов, правильность выполнения водоотводных и дренажных сооружений, укрепления откосов, коэффициенты уплотнения грунтов, модули деформации грунтов,  $E_{v2}$ , нормируемые настоящими техническими условиями, толщины защитных слоев. В особых условиях в индивидуальном проекте могут быть предусмотрены специальные виды работ, которые также подлежат постоянному контролю с

фиксацией возможных отклонений (насыпи па слабых основаниях, разработка неустойчивых склонов и т. п.).

3.13.4 Оценка качества уплотнения на этапе операционного контроля осуществляется по каждому технологическому слою (таблица 3.7).

Дополнительно для оперативной оценки качества уплотнения грунтов земляного полотна следует определять модуль динамической деформации  $E_{vd}$  (МПа). На поверхности первого защитного слоя его значение должно быть не менее 55 МПа, на поверхности второго защитного слоя – не менее 40 МПа и на поверхности тела отсыпанной насыпи или основания выемки – не менее 20 МПа.

3.13.5 Проверка поперечных уклонов поверхности насыпи, второго защитного слоя и основной площадки земляного полотна, а также высотных отметок на соответствие проекту осуществляется промерами не менее чем на двух поперечниках на 100 м.

3.13.6 Толщина защитных слоев должна быть проверена с частотой не менее одного измерения на каждые 1000 м<sup>2</sup> поверхности. Ширина защитных слоев должна проверяться с частотой не менее одного измерения на 30 м пути путем промеров.

3.13.7 Работы по устройству верхнего строения пути без приемки земляного полотна не допускаются.

Таблица 3.7 – Объемы работ по оценке качества уплотнения грунтов при операционном контроле

Контролируемый параметр	Значение допускаемого отклонения от проекта	Объем испытаний	
		Путь с ездой на балласте	Безбалластный путь
Поверхность основной площадки земляного полотна			
Модуль деформации МПа $E_{v2}$ ,	Не менее чем по проекту	3 на 4000 м <sup>2</sup> , но не менее 1 через 100 м пути	6 на 4000 м <sup>2</sup> , но не менее 1 через 100 м пути
Коэффициент уплотнения по ГОСТ 22733	Не менее чем по проекту	Через 100 м пути, не менее чем в пяти точках по ширине слоя (три измерения в средней части и по одному измерению на расстоянии 0,6 м от правой и левой бровки каждого отсыпаемого слоя)	
Динамический модуль деформации, $E_{vd}$ , МПа <sup>*)</sup>	Не менее чем рекомендуемое значение в соответствии с п. 3.13.1.4	Через 100 м пути, не менее чем в пяти точках по ширине слоя (три измерения в средней части и по одному измерению на расстоянии 0,6 м от правой и левой бровки каждого отсыпаемого слоя)	
Промежуточные слои первого защитного слоя			
Коэффициент уплотнения по	Не менее чем по проекту	Через 100 м пути, не менее чем в пяти точках по ширине слоя	

Контролируемый параметр	Значение допускаемого отклонения от проекта	Объем испытаний	
		Путь с ездой на балласте	Безбалластный путь
ГОСТ 22733		(три измерения в средней части и по одному измерению на расстоянии 0,6 м от правой и левой бровки каждого отсыпаемого слоя)	
Поверхность второго защитного слоя			
Модуль деформации $E_{V2}$ , МПа	Не менее чем по проекту	3 на 5000 м <sup>2</sup> , но не менее 1 через 100 м пути	6 на 5000 м <sup>2</sup> , но не менее 1 через 100 м пути
Коэффициент уплотнения по ГОСТ 22733	Не менее чем по проекту	Через 100 м пути, не менее чем в пяти точках по ширине слоя (три измерения в средней части и по одному измерению на расстоянии 0,6 м от правой и левой бровки каждого отсыпаемого слоя)	
Динамический модуль деформации, $E_{Vd}$ , МПа <sup>*</sup> )	Не менее чем рекомендуемое значение в соответствии с п. 3.13.1.4	Через 100 м пути, не менее чем в пяти точках по ширине слоя (три измерения в средней части и по одному измерению на расстоянии 0,6 м от правой и левой бровки каждого отсыпаемого слоя)	
Промежуточные слои второго защитного слоя			
Коэффициент уплотнения по ГОСТ 22733	Не менее чем по проекту	Через 100 м пути, не менее чем в пяти точках по ширине слоя (три измерения в средней части и по одному измерению на расстоянии 0,6 м от правой и левой бровки каждого отсыпаемого слоя)	
Поверхность отсыпанного тела насыпи (основания выемки)			
Соотношение модулей деформации грунта $E_{V2} / E_{V1}$	Не более чем по проекту	3 на 5000 м <sup>2</sup> , но не менее 1 через 100 м пути	6 на 5000 м <sup>2</sup> , но не менее 1 через 100 м пути
Коэффициент уплотнения по ГОСТ 22733	Не менее чем по проекту	Через 100 м пути, не менее чем в пяти точках по ширине слоя (три измерения в средней части и по одному измерению на расстоянии 0,6 м от правой и левой бровки каждого отсыпаемого слоя)	
Динамический модуль деформации, $E_{Vd}$ , МПа <sup>*</sup> )	Не менее чем рекомендуемое значение в соответствии с п. 3.13.1.4	Через 100 м пути, не менее чем в пяти точках по ширине слоя (три измерения в средней части и по одному измерению на расстоянии 0,6 м от правой и левой бровки каждого отсыпаемого слоя)	
Промежуточные слои насыпи			
Коэффициент уплотнения по ГОСТ 22733	Не менее чем по проекту	Через 100 м пути, не менее чем в пяти точках по ширине слоя (три измерения в средней части и по одному измерению на расстоянии 0,6 м от правой и левой бровки каждого отсыпаемого слоя)	

Контролируемый параметр	Значение допускаемого отклонения от проекта	Объем испытаний	
		Путь с ездой на балласте	Безбалластный путь
Обратные засыпки			
Коэффициент уплотнения по ГОСТ 22733	Не менее чем по проекту	3 на 500 м³	6 на 500 м³
Примечание – *) Рекомендуемое измерение			

3.13.8 Для подтверждения представленных показателей качества грунтов и степени их уплотнения должны назначаться контрольные проверки. Объем контрольных испытаний должен составлять не менее 1/3 объема испытаний при операционном контроле.

3.13.9 Допускаемые отклонения от проектных размеров при приемке земляного полотна не должны превышать значений, указанных в таблице 3.8.

Таблица 3.8 – Допускаемые отклонения от проектных размеров при приемке земляного полотна

Вид отклонения	Значение допускаемого отклонения от проекта	Способ проверки
Отклонение высотных отметок бровки (оси) земляного полотна, см	+ 0,5 – 1,5	Нивелировка
Отклонение от проектного продольного уклона дна канавы, траншеи, дренажа и т.д.	0,0005	Нивелировка
Уменьшение минимально допустимых уклонов дна канав, кюветов, дренажей	Не допускается	
Отклонение бровки земляного полотна от проектного положения оси, см	+5	Промеры через 50 м
Неровность поверхности основной площадки земляного полотна на длине 3 м	Отсутствие провисов более 2 см	3-х метровая линейка
Увеличение крутизны откосов земляных сооружений	Не допускается	Промеры не менее чем на двух поперечниках на пикете
Отклонение от проектного положения подошвы откоса насыпи (выемки), см	+10	Промеры не менее чем на двух поперечниках на пикете
Отклонение в поперечных размерах дренажных траншей, см	+5	Промеры через 50 м
Отклонение в поперечных размерах канав, см	+5	Промеры через 50 м
Уменьшение поперечных размеров кювета и водоотводной канавы	Не допускается	Промеры через 50 м
Отклонение от проектной толщины растительного слоя на откосах, насыпях,	20	Проверка каждые 10 м <sup>2</sup> не менее чем в пяти



Вид отклонения	Значение допускаемого отклонения от проекта	Способ проверки
выемках, кавальерах, а также на площадках рекультивируемых земель, %		местах

## **4 Верхнее строение пути высокоскоростной железнодорожной магистрали колеи 1520 мм Москва – Санкт-Петербург. Технические нормы и требования к проектированию и строительству**

### **4.1 Основные требования к конструкции верхнего строения пути**

4.1.1 Конструкция верхнего строения пути должна обеспечивать безопасность при скоростях движения до 400 км/ч и расчетных динамических нагрузках от колеса на рельс – 160 кН.

4.1.2 Конструкция верхнего строения пути должна обеспечивать технологическую возможность укладки и эксплуатации с высокой точностью

Неровности рельсовой колеи в вертикальной и горизонтальной плоскости не должны превышать следующие предельные значения (таблица 4.1):

Таблица 4.1 – Допускаемые неровности рельсовой колеи в вертикальной и горизонтальной плоскости

Наименование параметра	Допускаемое отклонение
1. Отклонение ширины колеи от номинального значения 1520 мм	для БВСП $\pm 1$ мм
	для верхнего строения пути на балласте $\pm 2$ мм
	уклон отвода ширины колеи не более 1/1500
2. Неровности в плане (отклонение фактической стрелы изгиба в горизонтальной плоскости от заданной)	2 мм для точек, находящихся на расстоянии 5 м на длине хорды 30 м
	10 мм для точек, находящихся на расстоянии 150 м при длине хорды 300 м
	уклон отвода неровности не более 0,25‰
3. Неровность в продольном профиле (отклонение фактической высоты стрелы прогиба в вертикальной плоскости от заданной)	2 мм для точек, находящихся на расстоянии 5 м на длине хорды 30 м
	10 мм для точек, находящихся на расстоянии 150 м при длине хорды 300 м
	уклон отвода неровности не более 0,5‰
4. Отступления по уровню	2 мм (без учета возвышения наружного рельса в круговых и переходных кривых)
5. Перекос (сумма смежных разнонаправленных отклонений по уровню от проектного положения)	4 мм на длине базиса 10 м
6. Абсолютная погрешность по высоте	10 мм
	Не допускается понижение отметки головки рельса относительно проектной вдоль

Наименование параметра	Допускаемое отклонение
	пассажирских платформ
7. Абсолютная погрешность в плане	10 мм
8. Подуклонка рельсов	от 1/18,4 до 1/21,9

## 4.2 Устройство бесстыкового пути

### 4.2.1 Общие требования

4.2.1.1 На всем протяжении ВСЖМ-1 (в том числе на искусственных сооружениях) должен быть уложен бесстыковой путь.

4.2.1.2 Границы расчетного интервала закрепления на постоянный режим эксплуатации, при которых обеспечивается условие прочности и устойчивости бесстыкового пути, определяются по следующим формулам:

нижняя граница закрепления  $\text{mint}_3$  определяется по формуле 4.1:

$$\text{mint}_3 = t_{\text{maxmax}} - [\Delta t_y]; \quad (4.1)$$

верхняя граница закрепления  $\text{maxt}_3$  определяется по формуле 4.2:

$$\text{maxt}_3 = t_{\text{minmin}} + [\Delta t_p]. \quad (4.2)$$

где  $t_{\text{maxmax}}$  и  $t_{\text{minmin}}$  – значения наивысшей и наименьшей температуры рельса, наблюдавшихся в данной местности, которая принимается в соответствии с пунктом 4.2.1.3 настоящих СТУ;

$[\Delta t_y]$  – допускаемое повышение температуры рельсов по сравнению с температурой их закрепления, определяемое устойчивостью пути против выброса при действии сжимающих продольных сил, определяемое в соответствии с требованиями пункта 4.2.1.4 настоящих СТУ;

$[\Delta t_p]$  – допускаемое понижение температуры рельсовых плетей по сравнению с температурой закрепления, определяемое их прочностью при действии растягивающих продольных сил в соответствии с требованиями пункта 4.2.1.5 настоящих СТУ;

4.2.1.3 Расчетные значения наивысшей  $t_{\text{maxmax}}$  и наименьшей  $t_{\text{minmin}}$  температуры рельса, наблюдавшихся в различных пунктах ВСЖМ-1, приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Расчетные значения температуры рельсов для ВСЖМ-1

Железнодорожная станция	Температура рельсов, °С		Расчетная температурная амплитуда, $T_A$ , °С
	наивысшая $t_{max\ max}$	наинизшая $t_{min\ min}$	
Бологое	55	-50	105
Валдай	53	-46	99
Веребье	54	-45	99
Вышний Волочек	55	-48	103
Клин	58	-45	103
Крестцы	53	-46	99
Любань	54	-41	95
Москва	58	-42	100
Новгород	54	-45	99
Окуловка	53	-46	99
Саблино	53	-36	89
Санкт-Петербург	53	-36	89
Тверь	58	-50	108
Чудово	54	-46	100

Для пунктов, не указанных в таблице, расчетные значения температуры определяют линейной интерполяцией.

В случае использования на ВСЖМ-1 высокоскоростного электроподвижного состава с магнитоэлектрическими или вихретоковыми тормозами, на участках, где по результатам тяговых расчетов возможно торможение (затяжные спуски, подходы к раздельным пунктам), при расчете необходимо откорректировать величину наивысшей температуры рельсов  $t_{max\ max}$  с учетом дополнительного нагрева. Расчет дополнительного нагрева должен учитывать интенсивность движения поездов по участку. При отсутствии других данных величину дополнительного нагрева от действия магнитоэлектрических или вихретоковых тормозов следует принимать в диапазоне от 2°С (при интенсивности движения в размере один поезд в два часа) до 15°С (при интенсивности движения в размере пять поездов в час). В остальных случаях величина дополнительного нагрева определяется линейной интерполяцией.

4.2.1.4 Допускаемое повышение температуры рельсовых плетей  $[\Delta t_y]$  следует устанавливать на основании способов, регламентируемых частью 6 статьи 15 Федерального закона № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений».

4.2.1.5 Допускаемое понижение температуры рельсовых плетей определяют по формуле:

$$[\Delta t_p] = \frac{[\sigma] - k_n \sigma_k}{\alpha \cdot E} \quad 4.3$$

где  $k_n$  - коэффициент запаса прочности, принимается  $k_n = 1,3$ ;

$\sigma_k$  – напряжение растяжения в кромках подошвы рельса от его изгиба и кручения под нагрузкой от колес подвижного состава, МПа, определенное с помощью способов, регламентируемых частью 6 статьи 15 Федерального закона № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений».

$[\sigma]$  - допускаемое напряжение принимаются  $[\sigma] = 400$  МПа.

$\alpha$  - коэффициент линейного расширения рельсовой стали ( $\alpha = 0,0000118$  1/°C);

$E$  - модуль упругости рельсовой стали ( $E = 2,1 \cdot 10^5$  МПа).

4.2.1.6 В пределах расчетного интервала закрепления, определенного в соответствии с пунктом 4.2.1.2 настоящих СТУ, должен быть выбран оптимальный интервал закрепления рельсовых плетей на постоянный режим эксплуатации величиной 10°C, который назначается единым в пределах перегона.

4.2.1.7 Конструкции и элементы верхнего строения пути (стрелочные переводы, уравнильные стыки, уравнильные приборы) на главных путях ВСЖМ-1 и на других путях, где осуществляется эксплуатация высокоскоростного подвижного состава со скоростью движения более 200 км/ч, должны быть вварены в рельсовые плети бесстыкового пути. Длина рельсовых плетей, положение сварных стыков, уравнильных стыков, уравнильных приборов определяются индивидуальным проектом.

4.2.1.8 Температурные подвижки концов рельсовых плетей, примыкающих к стрелочным переводам, не должны вызывать перемещений элементов стрелочных переводов. Для компенсации температурных перемещений в местах примыкания к стрелочному переводу рельсовых плетей бесстыкового пути следует предусматривать уравнильные стыки. При условии подтверждения расчетами обеспечения прочности и устойчивости бесстыкового пути и стрелочных переводов, вваренных в рельсовые плети бесстыкового пути, в соответствии с требованиями п. 4.2.1.7, уравнильные стыки допускается не предусматривать.

4.2.1.9 Участки укладки стрелочных переводов, съездов, уравнильных стыков и уравнильных приборов должны располагаться вне участков переменной жесткости.

## **4.2.2 Рельсы**

4.2.2.1 На главных путях ВСЖМ-1 следует укладывать рельсовые плети, сваренные из новых рельсов типа Р65 длиной 100 м без болтовых отверстий в соответствии с ГОСТ Р 51685. В случае, если проектом предусматривается укладка рельсовой плети некратной 100 м, допускается использование одного или двух рельсов меньшей длины.

4.2.2.2 Рельсы должны соответствовать следующим требованиям ГОСТ Р 51685:

– по назначению – рельсам специального назначения для высокоскоростного движения ВС;

– по термическому упрочнению – рельсам термоупрочненным, подвергнутым дифференцируемому упрочнению по сечению рельса (ДТ); нетермоупрочненные рельсы (НТ) допускается применять на участках, где скорость движения не будет превышать 350 км/ч;

– по качеству поверхности – норме Е;

– по прямолинейности – классу А;

– по точности изготовления профиля – классу Х.

4.2.2.3 Укладываемые в главные пути ВСЖМ-1 рельсы и рельсовые плети должны удовлетворять условиям свариваемости. В случае, если сварке подлежат рельсы различных марок сталей, должны быть обеспечены требования по твердости, прочности, пластичности и прямолинейности сварных стыков в соответствии с пунктом 4.2.2.2 настоящих СТУ.

### **4.2.3 Сварка рельсов. Сварные стыки**

4.2.3.1 Концы рельсовых плетей между собой должны быть сварены электроконтактным способом. Применение термитного способа сварки может быть предусмотрено в случаях отсутствия технической возможности применения электроконтактного способа (в пределах стрелочных переводов, уравнильных приборов, уравнильных стыков).

Сварка рельсовых плетей с рельсами уравнильных приборов или уравнильных стыков должна производиться при их укладке.

Минимальное расстояние между сварными стыками должно быть не менее 6 м.

4.2.3.2 Стыки на стрелочных переводах, распложенных по маршрутам следования высокоскоростных поездов, за исключением изолирующих, должны быть сварены.

Сварка рельсовых стыков в пределах стрелочных переводов, уравнильных приборов и стыков должна соответствовать требованиям ГОСТ 34666, ГОСТ 34664.

4.2.3.3 Стыки рельсов, сваренных электроконтактным способом, должны соответствовать требованиям ГОСТ 34665.

4.2.3.4 Стыки рельсов, сваренных термитным способом, должны соответствовать требованиям ГОСТ 34664.

4.2.3.5 Сварные стыки рельсов и стрелочных переводов должны пройти проверку при приемо-сдаточных испытаниях методами неразрушающего контроля в соответствии с требованиями ГОСТ 34663.

4.2.3.6 Сварные соединения следует располагать вне участков переменной жесткости.

## **4.3 Конструкция безбалластного верхнего строения пути**

### **4.3.1 Общие требования к конструкции**

4.3.1.1 БВСП следует проектировать исходя из критериев выполнения следующих условий:

- недопущения достижения предельного состояния по прочности и устойчивости (в т. ч. разрушения любого характера, потери устойчивости формы, потери устойчивости положения, нарушения эксплуатационной пригодности);

- обеспечения точности укладки рельсовой колеи в соответствии с требованиями пункта 4.1.2 настоящих СТУ;

- обеспечения нормативного срока службы конструкции не менее 50 лет.

При расчете конструкции БВСП должны быть учтены нагрузки от подвижного состава (вертикальные, горизонтальные продольные, горизонтальные поперечные), природно-климатических факторов (температурная сила, возникающая при максимальном изменении температуры в годичном цикле для участка проектирования) и собственные воздействия.

Расчеты, обосновывающие безопасность принятых конструктивных решений, должны быть проведены с учетом повышенного уровня ответственности сооружения. С этой целью расчетные значения усилий в элементах БВСП должны быть определены с учетом коэффициента надежности по ответственности, принятое значение которого должно быть не ниже 1,1.

4.3.1.2 Конструкция БВСП должна состоять из рельсовых плетей, упругих промежуточных рельсовых скреплений, подрельсовых опор, несущей конструкции из плит или монолитного бетона, гидравлически-связного несущего слоя (фундаментной плиты). В зависимости от конструктивных особенностей типов БВСП между гидравлически связным несущим слоем (фундаментной плитой) и несущей конструкцией может располагаться промежуточный слой.

4.3.1.3 К моменту укладки БВСП должна быть выполнена полная стабилизация земляного полотна, в соответствии с пунктами 3.2.2.1- 3.2.2.3 настоящих СТУ и проектные мероприятия по надежному водоотведению. Земляное полотно должно пройти процедуру приемки в соответствии с требованиями пунктов 3.13.7-3.13.9.

4.3.1.4 Эксплуатационные параметры всех элементов БВСП должны обеспечиваться в диапазоне температур рельсов в соответствии с п. 4.2.1.2 настоящих СТУ.

4.3.1.5 БВСП должно обеспечивать переходное электрическое сопротивление «рельс-земля» не менее 9 Ом·км.

4.3.1.6 Конструкция БВСП на искусственных сооружениях должна соответствовать требованиям пункта 4.3 настоящих СТУ с учетом требований СП 453.1325800.

4.3.1.7 Суммарные деформации конструкции БВСП в вертикальной плоскости, измеренные по поверхности катания головок рельсов, не должны

превышать 20 мм за весь срок службы, установленный пунктом 4.3.1 настоящих СТУ.

4.3.1.8 При приемке в эксплуатацию БВСП должен осуществляться контроль следующих параметров:

- контроль геометрического положения пути в плане и профиле в соответствии с требованиями пункта 4.1.2 настоящих СТУ;
- контроль геометрических размеров бетонной несущей конструкции на соответствие проектной документации;
- контроль качества бетона по ГОСТ 26633;
- контроль электрического сопротивления по ГОСТ 22261 и ГОСТ 23706.

#### **4.3.2 Промежуточные рельсовые скрепления, подрельсовые опоры**

4.3.2.1 Промежуточные рельсовые скрепления БВСП должны обеспечивать:

- прижатие рельса к основанию с усилием не менее 20 кН при расчетной годовой температурной амплитуде  $T_A$  меньше или равной  $110^{\circ}\text{C}$  в соответствии с данными пункта 4.2.1.3 настоящих СТУ;
- прижатие рельса к основанию с усилием не менее 25 кН при расчетной годовой температурной амплитуде  $T_A$  больше  $110^{\circ}\text{C}$  в соответствии с данными пункта 4.2.1.3 настоящих СТУ;
- сопротивление продольному сдвигу рельса в узле скрепления не менее 14 кН при расчетной годовой температурной амплитуде  $T_A$  меньше или равной  $110^{\circ}\text{C}$  в соответствии с данными пункта 4.2.1.3 настоящих СТУ;
- сопротивление продольному сдвигу рельса в узле скрепления не менее 16,5 кН при расчетной годовой температурной амплитуде  $T_A$  больше  $110^{\circ}\text{C}$  в соответствии с данными пункта 4.2.1.3 настоящих СТУ.

В случае применения промежуточных рельсовых скреплений, которые должны обеспечивать свободное скольжение рельсов относительно опор в конструкции пути (в маячных шпалах, уравнильных приборах и на искусственных сооружениях), должны обеспечиваться требования по прижатию - не менее 9 кН, по продольному сдвигу - не менее 4 кН.

4.3.2.2 Для участков пути с БВСП должны применяться упругие скрепления, позволяющие обеспечивать следующие диапазоны регулировки положения рельсов относительно узла промежуточного рельсового скрепления:

- по высоте не менее  $\pm 20$  мм,
- в плане до  $\pm 4$  мм.

4.3.2.3 Промежуточные рельсовые скрепления должны иметь упругие клеммы.

4.3.2.4 Промежуточные рельсовые скрепления должны обеспечивать сопротивление горизонтальным боковым силам, приложенным к головке рельса, не менее 50 кН на узел скрепления.



4.3.2.5 Вертикальная жесткость узла рельсового скрепления должна быть в пределах от 30 до 50 МН/м. Поперечная жесткость узла рельсового скрепления должна быть не менее 30 МН/м.

4.3.2.6 Промежуточные рельсовые скрепления должны иметь в своем составе упругие прокладки, соответствующие требованиям ГОСТ 34078:

- по назначению – для железобетонного подрельсового основания;
- по типу – подрельсовые и (или) напшальные в зависимости от конструктивных особенностей промежуточного рельсового скрепления;
- по исполнению – ПД;
- по категории – П.

Упругие свойства должны быть стабильны в диапазоне изменения расчетной температуры рельсов в соответствии с п. 4.2.1.3 настоящих СТУ.

4.3.2.7 Эпюра шпал или иных подрельсовых опор должна определяться расчетом.

4.3.2.8 Подуклонка подрельсовых площадок должна быть в пределах от 1/18,4 до 1/21,9. Пропеллерность подрельсовых площадок должна быть не более 1/143.

4.3.2.9 Изменение ширины колеи промежуточных рельсовых скреплений и подрельсовых опор с учетом всех допусков на их элементы не должно превышать  $\pm 1$  мм за весь срок службы, установленный пунктом 4.3.1 настоящих СТУ.

4.3.2.10 Электрическая изоляция узла промежуточного рельсового скрепления должна быть не менее 5 кОм.

4.3.2.11 Деформации подрельсовых опор в горизонтальной плоскости за весь срок службы, установленный пунктом 4.3.1 настоящих СТУ, не должны превышать величины возможной регулировки в узлах промежуточных рельсовых скреплений, установленной пунктом 4.3.2.2 настоящих СТУ.

### **4.3.3 Требования к несущей конструкции**

4.3.3.1 Несущую конструкцию следует проектировать из плит заводского изготовления или монолитного бетона. Поперечное сечение и материал несущей конструкции определяют расчетом.

4.3.3.2 Для устройства несущей конструкции следует применять бетон классом не ниже В 35, маркой по водопроницаемости не ниже W8, маркой по морозостойкости не ниже F300 в соответствии с ГОСТ 26633. Арматура должна соответствовать требованиям ГОСТ 34028, ГОСТ 31938. Допускается в качестве преднапряженной использовать арматуру Y1570С по техническим условиям заводов-изготовителей.

4.3.3.3 Бетонный несущий слой разрешается подвергать нагрузке только по окончании процесса отвердевания, обеспечивающего минимальную прочность при сжатии более 12 Н/мм<sup>2</sup>.

4.3.3.4 Расчет несущей конструкции должен производиться в соответствии с требованиями ГОСТ 27751 по:

– предельным состояниям первой группы, приводящим к полной непригодности эксплуатации конструкций;

– предельным состояниям второй группы, затрудняющим нормальную эксплуатацию конструкций или уменьшающим долговечность по сравнению со сроком службы, установленным пунктом 4.3.1 настоящих СТУ.

4.3.3.5 Не допускается раскрытие осадочных трещин в несущей конструкции более 0,5 мм за весь срок службы, установленный пунктом 4.3.1 настоящих СТУ.

4.3.3.6 Деформации несущей конструкции в горизонтальной плоскости не должны превышать  $\pm 5$  мм за весь срок службы, установленный пунктом 4.3.1 настоящих СТУ.

#### **4.3.4 Гидравлически связный несущий слой**

4.3.4.1 В качестве материала гидравлически связного несущего слоя БВСП следует применять цементно-песчаную, бетонную, полимербетонную или асфальтобетонную смесь. Толщина гидравлически связного несущего слоя должна быть не менее 30 см, его ширина должна быть определена расчетом при разработке проектной документации.

4.3.4.2 Укладка несущего слоя должна производиться только после окончания процесса уплотнения земляного полотна по всему сечению. Осадка земляного полотна должна соответствовать требованиям, регламентируемым разделом 3 настоящих СТУ.

4.3.4.3 Конструкция БВСП должна исключать деформации гидравлически связного несущего слоя, связанные с выщелачиванием бетона, а также скопление воды между гидравлически связным несущим слоем и несущей конструкцией.

#### **4.3.5 Требования к переходному участку от безбалластного верхнего строения пути к балластному (участку переменной жесткости). Конструктивные особенности**

4.3.5.1 В местах сопряжения безбалластного верхнего строения пути и пути на балласте следует предусматривать индивидуальную конструкцию пути с плавным изменением жесткости – участок переменной жесткости.

4.3.5.2 Разработка конструкций участков переменной жесткости осуществляется из условия обеспечения по длине плавного изменения упругих осадок и минимальных величин остаточных осадок пути, возникающих в процессе длительной эксплуатации. Изменение упругого прогиба рельса под максимальной расчетной нагрузкой на ось не должно превышать 0,1 мм на 1 м пути. Длина участков переменной жесткости должна быть определена расчетом и составлять не менее 25 м.

4.3.5.3 Не допускается расположение сварных стыков в пределах участков переменной жесткости.

4.3.5.4 Сооружение участков переменной жесткости следует выполнять автономно, не включая их в поточные работы по сооружению пути.

## **4.4 Конструкция верхнего строения пути на балласте**

### **4.4.1 Общие положения**

4.4.1.1 Конструкция верхнего строения пути на балласте состоит из рельсовых плетей, упругих промежуточных рельсовых скреплений, шпал и балластного слоя.

4.4.1.2 Область применения конструкции верхнего строения пути на балласте определяется проектной документацией с учетом обеспечения надежной эксплуатации с установленными значениями скорости движения и осевыми нагрузками подвижного состава на участке проектирования при условии оптимизации стоимости жизненного цикла конструкции.

Конструкция верхнего строения пути на балласте применяется на участках с максимальной скоростью движения поездов не более 200 км/ч и проектируется в соответствии с СП 119.13330.

Промежуточные рельсовые скрепления для верхнего строения железнодорожного пути на балласте должны соответствовать требованиям ГОСТ 32698 за исключением требований к вертикальной жесткости узла рельсового скрепления, которая должна быть в диапазоне 30-120 МН/м.

## **4.5 Конструкция стрелочных переводов для безбалластного и балластного пути**

### **4.5.1 Общие требования**

4.5.1.1 Стрелочные переводы и съезды, уложенные в главные пути, а также в приемо-отправочные пути по маршруту следования высокоскоростных поездов должны быть с непрерывной поверхностью катания в крестовине (далее НПК).

4.5.1.2 Гарнитуры переводных устройств стрелок и крестовин с НПК стрелочных переводов должны быть оборудованы внешними замыкателями и системами контроля положения остриков и сердечников крестовин.

4.5.1.3 Конструкции стрелок и крестовин с НПК должны обеспечивать безотказную работу стрелочного перевода без смазки рабочих поверхностей, по которым производится перемещение подвижных элементов стрелок и крестовин с НПК.

4.5.1.4 Конструкции переводных механизмов и устройств, обеспечивающих работу стрелочного перевода, уложенного на балласте, а также устройств, контролирующих условия безопасности движения поездов по такому стрелочному переводу, должны обеспечивать возможность проведения выправочных работ на стрелочном переводе механизированным способом.

4.5.1.5 Стрелочные переводы и съезды, уложенные в главные пути, а также в приемо-отправочные пути по маршруту следования высокоскоростных поездов должны быть оборудованы системой обогрева, в том числе элементов гарнитуры электроприводов и внешних замыкателей.

Система обогрева должна обеспечивать работу стрелок и крестовин в пределах всего температурного диапазона зимнего периода.

4.5.1.6 Конструкция высокоскоростного стрелочного перевода должна обеспечивать возможность установки изолирующих стыков по боковому пути за корневой частью остряков.

4.5.1.7 Наклон поверхностей катания головок рельсовых элементов высокоскоростного стрелочного перевода, укладываемого в главный путь, должен соответствовать наклону поверхностей катания рельсов (подуклонке) примыкающих путей.

4.5.1.8 Радиус закрестовинных кривых стрелочных переводов должен быть не меньше минимального радиуса переводной кривой стрелочного перевода.

4.5.1.9 Расположение стрелочных переводов и съездов в пределах вертикальных и горизонтальных круговых и переходных кривых не допускается.

#### **4.5.2 Требования к рельсам**

4.5.2.1 Рельсы, используемые при изготовлении стрелочной продукции, должны соответствовать требованиям, указанным в пункте 4.2.2 настоящего раздела.

#### **4.5.3 Требования к скреплениям**

4.5.3.1 Промежуточные рельсовые скрепления, используемые в стрелочных переводах БВСП, должны соответствовать в стандартном исполнении требованиям раздела 4.3.2, за исключением требований к величинам регулировки по высоте и по ширине колеи, которые должны обеспечивать следующие диапазоны регулировки положения рельсов в узле скрепления:

- по высоте не менее +18 мм/-4 мм;
- в плане не менее  $\pm 6$  мм.

#### **4.5.4 Требования к подрельсовому основанию**

4.5.4.1 Конструкция подрельсового основания стрелочных переводов должна соответствовать требованиям, изложенным в пунктах 4.3-4.4 настоящих СТУ.

#### **4.5.5 Требования к переводным и замыкающим устройствам**

4.5.5.1 На остряхах стрелки должны быть установлены противоугонные упоры, взаимодействующие с противоугонными накладками, установленными на рамных рельсах.

4.5.5.2 Стрелка должна быть оборудована закладками для запираания прижатых к рамным рельсам остряков на навесной замок или альтернативное запирающее устройство.

4.5.5.3 Контроль положения острижков должен осуществляться специальными устройствами контроля во всех точках приложения усилий с выводом информации на пост электрической централизации станции.

4.5.5.4 Для уменьшения переводных усилий и снижения затрат на обслуживание, стрелка должна быть оборудована роликовыми опорами, интегрированными в подкладки с подушками.

4.5.5.5 Стрелка должна быть оборудована устройствами диагностики плотности прижатия острижков к рамным рельсам.

4.5.5.6 Крестовина должна быть оборудована закладкой для запираания сердечника в одном из положений на навесной замок или альтернативное запирающее устройство.

## **4.6 Конструкция верхнего строения пути на мостах**

4.6.1 Конструкция верхнего строения пути на мостах должна соответствовать требованиям пункта 5.6 СП 453.1325800 с учетом требований пунктов 4.1-4.4 настоящих СТУ.

## **4.7 Конструкция верхнего строения пути в тоннелях**

4.7.1 В тоннелях предусматривается укладка безбалластной конструкции пути.

4.7.2 Эксплуатационные параметры всех элементов верхнего строения пути на входных участках в тоннеле должны обеспечиваться в соответствии с требованиями пункта 4.2.1.4 настоящих СТУ.

4.7.3 Упругие элементы верхнего строения пути в тоннеле должны соответствовать требованиям II категории исполнения «ПД» ГОСТ Р 56291.

4.7.4 Конструкция верхнего строения пути в тоннеле должна обеспечивать водоотвод, достаточный для надежной эксплуатации пути.

4.7.5 Проектной документацией должно быть предусмотрено устройство электрообогрева заобделочного дренажа.

4.7.6 Не допускаются различные конструкции верхнего строения пути в одном тоннеле.

4.7.7 В местах сопряжений безбалластной конструкции пути в тоннелях с конструкцией пути на земляном полотне должны укладываться УПЖ.

## **4.8 Разработка мероприятий по защите от шума и вибрации при проектировании и строительстве верхнего строения пути**

4.8.1 Разработку и выбор вариантов защиты от шума следует осуществлять в соответствии с ГОСТ 33325, СП 441.1325800

4.8.2 Выбор защитных мероприятий определяется расчетом в соответствии с требуемым снижением шума и условиями прохождения трассы ВСЖМ-1.

Оценку воздействия шума и вибрации от эксплуатации проектируемой ВСЖМ-1 на здания следует производить в соответствии с методикой, изложенной в разделе 5 СП 441.1325800.

4.8.3 В случае, если ожидаемые значения вибрации и шума превышают допускаемые значения, определяемые условием (5.3) СП 441.1325800, следует предусматривать специальные виброзащитные мероприятия.

Выбор проектного мероприятия следует выполнять с учетом требуемого снижения уровня шума и вибрации на основании методики, изложенной в разделе 7 СП 441.1325800.

## **5 Железнодорожное электроснабжение высокоскоростной железнодорожной магистрали колеи 1520 мм Москва – Санкт-Петербург. Технические нормы и требования к проектированию и строительству**

### **5.1 Общие сведения**

Настоящий раздел специальных технических условий содержит нормы и требования к проектированию и строительству железнодорожного электроснабжения высокоскоростной железнодорожной магистрали колеи 1520 мм Москва – Санкт-Петербург.

### **5.2 Термины и определения**

В разделе применяются термины и определения по ГОСТ 32895-2014 и приведенные в п. 1.2 настоящих СТУ.

### **5.3 Нормативные ссылки**

В разделе использованы ссылки на нормативные документы, приведенные в п. 1.4 настоящих СТУ.

### **5.4 Тяговое электроснабжение**

#### **5.4.1 Система тягового электроснабжения**

На ВСЖМ-1 следует применять систему тягового железнодорожного электроснабжения переменного тока 2×25 кВ.

#### **5.4.2 Параметры устройств системы тягового электроснабжения**

При определении основных параметров системы тягового железнодорожного электроснабжения переменного тока 2×25 кВ необходимо принимать следующие допустимые значения расчетных величин:

- температура нагрева проводов тяговой сети не должна превышать допустимые значения, указанные в табл. 5.1.
- средний износ контактных проводов, равный 15% площади полного сечения.

Таблица 5.1 – Наибольшая допустимая температура нагрева проводов тяговой сети

Провод		Допустимая температура нагрева провода, °С, при длительности протекания тока		
Применение	Конструкция и материал	До 1 с (режим КЗ)	До 10 мин.	Длительно
Контактный провод	Фасонный из бронзы	170	120	80

Провод		Допустимая температура нагрева провода, °С, при длительности протекания тока		
Применение	Конструкция и материал	До 1 с (режим КЗ)	До 10 мин.	Длительно
Несущий или рессорный трос контактной подвески, тросы средней анкеровки	Многопроволочный из бронзы			
Питающий провод, обратный провод, питающие и отсасывающие линии, усиливающий провод	Многопроволочный медный	170	120	80
Электрические соединители контактной подвески, шлейфы разъединителей	Многопроволочный медный			
Токопроводящие струны контактной подвески	Мелкожильный многопроволочный из бронзы	Не нормируется	130	100

## 5.5 Внешнее электроснабжение

### 5.5.1 Источники электрического питания высокоскоростной магистрали

При максимальном режиме системы внешнего электроснабжения мощность трехфазного короткого замыкания на вводах тяговых подстанций должна быть не менее 1500 МВА.

### 5.5.2 Уровень высшего напряжения тяговых подстанций и тип линий электропередачи

Номинальный уровень высшего напряжения тяговых подстанций должен быть не ниже 110 кВ.

## 5.6 Тяговые подстанции и линейные устройства системы тягового электроснабжения

В случае применения источника электроэнергии для питания нетяговых железнодорожных потребителей в соответствии с п. 5.8.1.1, перечисление б) на тяговых подстанциях должно быть предусмотрено не менее двух дополнительных силовых трехфазных двухобмоточных трансформаторов, предназначенных исключительно для питания нетяговых железнодорожных потребителей. Питание обмотки высшего напряжения таких трансформаторов должно осуществляться от шин распределительных устройств высшего напряжения тяговых подстанций. Уровень низшего напряжения трансформаторов должен быть не ниже 20 кВ.



## **5.7 Тяговая сеть**

### **5.7.1 Питание и секционирование контактной сети**

5.7.1.1 Схема питания и секционирования контактной сети должна обеспечивать в нормальном режиме двусторонний узловой или параллельный режим питания каждой из межподстанционных зон и возможность перехода к одностороннему режиму питания.

5.7.1.2 Сечение контактной подвески в пределах одной межподстанционной зоны должно быть одинаковым.

### **5.7.2 Контактная сеть**

#### **5.7.2.1 Требования к габаритным расстояниям и зазорам**

5.7.2.1.1 Расстояния от нижней точки проводов тяговой сети, кроме контактных проводов, при наибольшей стреле провеса до поверхности земли и сооружений, а также расстояния между проводами различных линий при их взаимном пересечении или сближении должны быть не менее приведенных в таблице 7 СП 224.1326000.2014. При этом расстояния от обратных проводов тяговой сети принимаются по нормам для отсасывающих проводов. Территория железнодорожных путей высокоскоростной магистрали в пределах ограждения от несанкционированного проникновения посторонних людей и животных относится к труднодоступным местам.

5.7.2.1.2 Высота подвеса рабочего контактного провода от уровня головок рельсов (УГР) для контактной сети системы электроснабжения переменного тока напряжением  $2 \times 25$  кВ должна быть не менее 5570 мм.

Указанная высота должна быть выдержана с учетом возможных климатических воздействий на контактную сеть, а также износа контактного провода.

5.7.2.1.3 Номинальная высота подвеса рабочего контактного провода на главных путях высокоскоростного участка у опор контактной сети должна составлять 5800 мм от УГР.

5.7.2.1.4 Расстояние от фундаментов опор до ближайшей наружной стенки кабельных лотков должно составлять не менее 50 мм при условии установки кабельных лотков после сооружения фундаментов опор контактной сети.

5.7.2.1.5 Минимальные допускаемые расстояния между элементами контактной сети и частями токоприемника, находящимися под напряжением, до заземленных частей сооружений и подвижного состава (электрические зазоры) приведены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Минимально допускаемые электрические зазоры

Расстояние	Относительное номинальное напряжение, кВ	Минимально допускаемые электрические зазоры, мм	
		статические	динамические
Между элементами контактной сети переменного тока напряжением 25 кВ и заземленными частями сооружений	25,0	300	200
Между элементами контактной сети переменного тока напряжением 25 кВ и заземленными частями подвижного состава	25,0	270	150
Между элементами контактной сети переменного тока различных электрических секций при напряжении 25 кВ и разности фаз 120 эл. градусов	43,3	400	230
Между элементами контактной подвески переменного тока напряжением 25 кВ и элементами питающих проводов системы 2×25 кВ	50,0	540	300

5.7.2.1.6 Расстояние от проводов, находящихся под напряжением, до ближайших заземленных частей стоек опор должно составлять не менее 800 мм.

#### 5.7.2.2 Климатические условия. Нагрузки и воздействия

Коэффициент надежности по ответственности при расчете конструкций контактной сети должен приниматься:

- 1,2 на участках пропуска высокоскоростных поездов, движущихся со скоростью от 250 до 400 км/ч;
- 1,1 на участках, не предусматривающих движение поездов со скоростью более 250 км/ч, а также при расчете конструкций на станционных путях.

#### 5.7.2.3 Провода и тросы контактной сети

5.7.2.3.1 В контактной подвеске переменного тока ВСЖМ-1 должны применяться одинарные бронзовые контактные провода сечением 120 или 150 мм<sup>2</sup> по ГОСТ Р 55647-2018. На участках пропуска высокоскоростных поездов, движущихся со скоростью от 250 до 400 км/ч, должны применяться контактные провода с повышенными механическими характеристиками из бронзы Бр2 или Бр3, позволяющими транспортировать и производить монтаж контактного провода с применением имеющегося оборудования и спецтехники. Допускается применение композитных контактных проводов с характеристиками, соответствующими проводам из бронзы Бр2 или Бр3 по ГОСТ Р 55647-2018.

5.7.2.3.2 При проектировании на участках постоянного и переменного тока должен учитываться максимально допустимый местный износ контактного провода, равный 20% площади поперечного сечения.

5.7.2.3.3 Стыковки контактных проводов и несущих тросов в пределах анкерного участка контактной подвески не допускаются (за исключением врезки изоляторов при секционировании).

5.7.2.3.4 Максимально допустимое натяжение контактного провода  $K$ , Н, определяется на основе метода предельных состояний по формуле:

$$K = S \cdot \sigma_{\min} \cdot 0,65 \cdot k_{\text{temp}} \cdot k_{\text{wear}} \cdot k_{\text{wind}} \cdot k_{\text{ice}} \cdot k_{\text{eff}} \cdot k_{\text{clamp}} \cdot k_{\text{joint}}, \quad (5.1)$$

где  $S$  – площадь поперечного сечения контактного провода, мм<sup>2</sup>;

$\sigma_{\min}$  – минимальное временное сопротивление при растяжении провода, МПа, принимаемое по ГОСТ Р 55647-2018 или по техническим условиям производителей проводов;

$k_{\text{temp}}$  – коэффициент, учитывающий максимальную температуру нагрева контактного провода;

$k_{\text{wear}}$  – коэффициент, учитывающий максимально допустимый местный износ контактного провода;

$k_{\text{wind}}$  – коэффициент, учитывающий внешние воздействия на контактный провод от ветра;

$k_{\text{ice}}$  – коэффициент, учитывающий внешние воздействия на контактный провод от гололеда;

$k_{\text{eff}}$  – коэффициент, учитывающий эффективность и точность задания натяжения провода компенсирующими устройствами;

$k_{\text{clamp}}$  – коэффициент, учитывающий воздействие арматуры на контактный провод;

$k_{\text{joint}}$  – коэффициент, учитывающий наличие стыков на строительной длине провода.

Значения коэффициентов приведены в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Значения коэффициентов для определения натяжения контактного провода

Коэффициент	Значение	Примечание
$k_{\text{temp}}$	1,00	Для бронзовых проводов при длительной температуре нагрева не более 100°C
$k_{\text{wear}}$	0,80	При максимально допустимом местном износе провода 20%
$k_{\text{wind}}$	1,00	Для компенсированной контактной подвески
$k_{\text{ice}}$	0,95	Для компенсированной контактной подвески
$k_{\text{eff}}$	0,95...0,98	В зависимости от фактических характеристик компенсирующих устройств (значение должно быть подтверждено результатами испытаний)

Коэффициент	Значение	Примечание
$k_{\text{clamp}}$	1,00	При применении натяжной арматуры с разрушающей нагрузкой не менее разрывного усилия соединяемых проводов
$k_{\text{joint}}$	1,00	При отсутствии стыков на строительной длине провода

5.7.2.3.5 Максимально допустимое натяжение несущего троса  $T$ , Н, определяется на основе метода предельных состояний по формуле:

$$T = F_{\text{Pmin}} \cdot 0,65 \cdot k_{\text{temp}} \cdot k_{\text{wind}} \cdot k_{\text{ice}} \cdot k_{\text{eff}} \cdot k_{\text{clamp}} \cdot k_{\text{load}}, \quad (5.2)$$

где  $F_{\text{Pmin}}$  – минимальное разрывное усилие несущего троса, Н, принимаемое по ГОСТ 32697-2019 или по техническим условиям производителей несущих тросов;

$k_{\text{temp}}$  – коэффициент, учитывающий максимальную температуру нагрева несущего троса;

$k_{\text{wind}}$  – коэффициент, учитывающий воздействие ветровой нагрузки;

$k_{\text{ice}}$  – коэффициент, учитывающий воздействие гололедной нагрузки;

$k_{\text{eff}}$  – коэффициент, учитывающий эффективность и точность задания натяжения несущего троса компенсирующими устройствами;

$k_{\text{clamp}}$  – коэффициент, учитывающий воздействие арматуры;

$k_{\text{load}}$  – коэффициент, учитывающий дополнительную нагрузку на несущий трос от контактного провода.

Значения коэффициентов приведены в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Значения коэффициентов для определения натяжения несущего троса

Коэффициент	Значение	Примечание
$k_{\text{temp}}$	1,00	Для бронзовых тросов при длительной температуре до 100 °С
$k_{\text{wind}}$	0,95	Для компенсированной контактной подвески при максимальной скорости ветра более 27,7 м/с
$k_{\text{ice}}$	1,00	Для компенсированной контактной подвески
$k_{\text{eff}}$	0,95...0,98	В зависимости от характеристик компенсирующих устройств
$k_{\text{clamp}}$	1,00	При применении натяжной арматуры с разрушающей нагрузкой не менее разрывного усилия соединяемых проводов
$k_{\text{load}}$	0,80	Для цепной контактной подвески с передачей нагрузки от

Коэффициент	Значение	Примечание
		контактного провода на несущий трос через струны

#### 5.7.2.4 Контактная подвеска

5.7.2.4.1 На ВСЖМ-1 должна применяться одинарная цепная компенсированная вертикальная контактная подвеска. На участках пропуска высокоскоростных поездов, движущихся со скоростью от 250 до 400 км/ч, при длинах пролетов 45 м и более должна применяться контактная подвеска с рессорным тросом в опорных узлах. При длинах пролетов менее 45 м, а также на станционных путях допускается применение контактной подвески без рессорного троса.

5.7.2.4.2 Сечения и номинальные натяжения проводов контактной подвески должны выбираться таким образом, чтобы максимальная скорость движения электроподвижного состава составляла не более 70% от скорости распространения поперечной волны по контактной подвеске.

Скорость распространения поперечной волны по контактной подвеске  $V_c$ , м/с, определяется по формуле:

$$V_c = \sqrt{\frac{T + K}{m_{HT} + m_{KP}}}, \quad (5.3)$$

где  $T$  – натяжение несущего троса, Н;

$K$  – натяжение контактного провода, Н;

$m_{HT}$  – распределенная масса несущего троса, кг/м;

$m_{KP}$  – распределенная масса контактного провода, кг/м.

5.7.2.4.3 Номинальная величина зигзага контактного провода должна составлять 300 мм. Максимальная величина зигзага контактного провода не должна превышать 500 мм (в том числе при крайних температурах расчетного температурного интервала).

5.7.2.4.4 Зигзаги контактного провода подвесок соседних путей должны быть согласованы, чтобы на опорах соседних путей, расположенных в створе, два обратных фиксатора не были направлены навстречу друг другу, сближаясь на расстояние менее 2,0 м в нормальных условиях или 0,8 м в стесненных условиях. Для выполнения этого условия опоры соседних путей могут быть смещены друг относительно друга на 2 м вдоль пути.

5.7.2.4.5 Вынос контактного провода от оси токоприемника в середине пролета с учетом ветрового отклонения не должен превышать:

– 500 мм на прямых участках пути;

– 450 мм на кривых участках пути.

5.7.2.4.6 Длины пролетов контактной подвески при проектировании должны ограничиваться по критериям надежного токосъема, ветроустойчивости при максимальной скорости ветра и в режиме гололеда с ветром, соблюдения вертикального габарита контактного провода в режиме гололеда. При этом длины пролетов не должны превышать 70 м.

5.7.2.4.7 Длина двух смежных пролетов контактной подвески должна отличаться не менее чем на 5%, за исключением переходных пролетов и пролетов с анкеруемыми ветвями на сопряжениях, зоны воздушных стрелок, пролетов со средними анкеровками, зон установки опор контактной сети на искусственных сооружениях (мостах, эстакадах и др.). Допускается сохранение до 3 смежных промежуточных пролетов одной и той же длины на замкнутом полотне.

5.7.2.4.8 Длины двух смежных пролетов не должны отличаться более чем на 20% от длины большего пролета.

5.7.2.4.9 Струны контактной подвески выполняются мерными токопроводящими с возможностью регулировки. Длина мерных струн и схема их расстановки в каждом пролете анкерного участка определяется расчетом, выполняемым на основании измерений фактических длин пролетов, а также высот и зигзагов несущего троса в месте подвешивания.

5.7.2.4.10 Расстояние между двумя соседними струнами контактной подвески на одном контактном проводе должно составлять не менее 2,5 м и не более 10 м.

5.7.2.4.11 При проектировании длины анкерных участков следует ограничивать по критериям соблюдения допускаемых механических и электрических расстояний при температурных перемещениях проводов и конструкций контактной сети, обеспечения допустимого приращения натяжения контактных проводов и несущих тросов в пределах анкерного участка и обеспечения допустимых значений зигзагов контактного провода.

5.7.2.4.12 Угол излома контактных проводов и несущих тросов контактной подвески, предназначенной для скоростей движения от 250 до 400 км/ч, во всех случаях не должен превышать 5 градусов.

5.7.2.4.13 Натяжение струн контактной подвески в статическом состоянии должно быть не менее 10 Н.

5.7.2.4.14 Длина струны контактной подвески во всех случаях должна составлять не менее 300 мм (при измерении между центрами несущего троса и контактного провода в месте установки струны).

#### 5.7.2.5 Средняя анкеровка контактной подвески

5.7.2.5.1 Величина разрывного усилия троса средней анкеровки несущего троса должна быть не менее 70% от разрывного усилия несущего троса.

5.7.2.5.2 Величина разрывного усилия троса средней анкеровки контактного провода должна быть не менее номинального натяжения контактного провода.

#### 5.7.2.6 Узлы анкеровки проводов контактной подвески

5.7.2.6.1 Разрушающая нагрузка компенсаторов и других изделий в цепи натяжения должна быть не менее разрушающей нагрузки компенсируемых проводов.

5.7.2.6.2 Компенсатор должен обеспечивать стабильность натяжения проводов контактной подвески с погрешностью не более 3%. В случае применения барабанных или блочно-полиспастных компенсаторов масса

гирлянд грузов должна соответствовать их проектной массе с погрешностью не более 1,0%.

#### 5.7.2.7 Сопряжения анкерных участков контактной подвески

5.7.2.7.1 На участках пропуска высокоскоростных поездов, движущихся со скоростью от 250 до 400 км/ч, сопряжения анкерных участков должны выполняться с одним, двумя или тремя переходными пролетами. Число переходных пролетов определяется при проектировании с учетом требований к качеству токосъема, ограничений на максимально допускаемую длину пролета и длину зоны подъема выводимого из работы контактного провода. Длина переходных пролетов контактной сети должна быть не менее 30 м. При длине переходных пролетов менее 40 м сопряжение выполняется с тремя переходными пролетами.

5.7.2.7.2 На участках с плавкой гололеда (профилактическим подогревом проводов) схемы электрических соединений на сопряжениях должны обеспечивать равномерный прогрев проводов рабочих участков сопрягающихся контактных подвесок.

#### 5.7.2.8 Контактная сеть на станциях

5.7.2.8.1 На станциях должно предусматриваться механическое отделение контактных подвесок и узлов контактной сети по главным путям от узлов второстепенных путей (за исключением зон примыкания второстепенных путей к главным, где данное требование выполнить невозможно конструктивно). Для подвешивания контактной сети главных путей должны проектироваться преимущественно консольные опоры.

5.7.2.8.2 На станционных путях необходимо применять компенсированные контактные подвески.

#### 5.7.2.9 Воздушные стрелки контактной сети

5.7.2.9.1 Воздушные стрелки на стрелочных переводах с маркой крестовины 1/22 и более пологих по направлению движения высокоскоростного электроподвижного состава должны быть выполнены без пересечения контактных проводов с дополнительной (третьей) подвеской. При этом подхват контактного провода в зоне воздушной стрелки должен происходить без бокового удара по полозу движущегося токоприемника. При движении электроподвижного состава по любому направлению стрелочного перевода токоприемник должен одновременно взаимодействовать не более чем с двумя контактными подвесками. На стрелочных переводах, менее пологих, чем с маркой крестовины 1/22, воздушные стрелки могут быть выполнены без пересечения контактных проводов с двумя или тремя контактными подвесками, либо с пересечением контактных проводов.

5.7.2.9.2 На воздушных стрелках с пересечением контактных проводов должны соблюдаться следующие требования:

- контактные провода контактной подвески главных железнодорожных путей или железнодорожных путей преимущественного направления движения поездов должны быть расположены снизу;
- вертикальная проекция точки пересечения осей контактных проводов на уровень головки рельсов обыкновенного стрелочного перевода должна

быть расположена в том месте, где расстояние между внутренними гранями внутренних рельсов составляет 720...800 мм. Расстояние от этой точки до осей обоих путей должно быть не более 450 мм.

5.7.2.9.3 На воздушных стрелках без пересечения с дополнительной (третьей) подвеской должны соблюдаться следующие требования:

- расстояние поперек пути от оси токоприемника до контактного провода в точке подхвата или отрыва должно составлять не более 500 мм при максимальном контактном нажатии (без учета поперечных колебаний токоприемника);

- минимальное расстояние от боковой части (края) токоприемника до контактного провода третьей (нерабочей) подвески должно составлять не менее 50 мм при максимальном контактном нажатии (без учета поперечных колебаний токоприемника).

5.7.2.9.4 На воздушных стрелках с пересечением проводов или без пересечения с двумя подвесками зона подхвата полозом токоприемника контактного провода примыкающего или пересекающего пути должна располагаться на расстоянии от 650 до 1050 мм по горизонтали от оси пути, по которому следует электроподвижной состав. В пределах зоны подхвата установка зажимов на контактных проводах не допускается, кроме зажимов крепления ограничительной накладке и струновых зажимов.

5.7.2.9.5 Расстояния от воздушных стрелок до жестких или средних анкерровок пересекающихся или сопрягающихся контактных подвесок должны быть ограничены, чтобы при температурных перемещениях проводов не возникало:

- сближений консолей и фиксаторов на недопустимые расстояния;
- подбоев контактным проводом зажимов фиксирующих накладок;
- величин зигзагов контактного провода свыше допустимых значений;
- нарушений условий расположения зоны подхвата.

5.7.2.9.6 На участках с плавкой гололеда или профилактического подогрева проводов схемы электрических соединений в зоне воздушных стрелок по главным путям должны обеспечивать равномерный прогрев проводов рабочих участков сопрягающихся контактных подвесок, с которыми взаимодействует токоприемник при движении по главным путям.

5.7.2.10 Контактная сеть при проходе искусственных сооружений

5.7.2.10.1 На участках пропуска высокоскоростных поездов, движущихся со скоростью от 250 до 400 км/ч, проход контактной подвески под искусственными сооружениями, пересекающими железнодорожные пути должен осуществляться насквозь без снижения высоты подвеса контактного провода, а также без разанкерровок или подвешиваний несущего троса на пролетном строении.

5.7.2.10.2 Расстояние от несущего троса до расположенных над ними заземленных частей искусственных сооружений и поддерживающих устройств (мостов, путепроводов, сигнальных мостков) должно быть не менее 650 мм. Меньшее расстояние допускается при установке изолированных отбойников или ограничителей подъема, исключаящих



возможность приближения несущих тросов к расположенным над ними заземленным частям на расстояние менее указанного в таблице 5.2.

#### 5.7.2.11 Поддерживающие и фиксирующие конструкции

5.7.2.11.1 В качестве поддерживающих конструкций контактной подвески должны использоваться поворотные горизонтальные изолированные трубчатые консоли из алюминиевых сплавов. Консоли должны обеспечивать крепление несущего троса контактной подвески в требуемом положении по высоте и зигзагу, возможность температурного перемещения несущего троса вдоль пути на величину не менее  $\pm 600$  мм от номинального положения, а также возможность регулировки зигзага несущего троса на величину не менее  $\pm 100$  мм от номинального значения.

5.7.2.11.2 Фиксаторы рабочего контактного провода должны быть выполнены сочлененными, из легких сплавов. Дополнительный стержень фиксатора должен иметь длину не менее 900 мм и работать только на растяжение.

5.7.2.11.3 На отходящих на анкеровку ветвях должны быть установлены специальные фиксаторы, работающие на сжатие.

5.7.2.11.4 Крепежные изделия в поддерживающих и фиксирующих конструкциях следует применять из коррозионностойкой стали.

5.7.2.11.5 Типоразмеры (исполнения) консолей и фиксаторов определяются для каждой опоры расчетным путем на стадии строительно-монтажных работ после установки стоек для опор контактной сети. Расчет выполняется на основании измерений фактического габарита и наклона стойки, уровня обреза ее фундамента, возвышения рельса в месте установки стойки, а также с учетом применяемых на данной стойке узлов крепления консоли.

#### 5.7.2.12 Строительные конструкции

5.7.2.12.1 На ВСЖМ-1 следует применять отдельные опоры контактной сети.

5.7.2.12.2 Стойки для опор контактной сети применяют металлические в соответствии с ГОСТ 19330-2013 с учетом дополнительных требований, изложенных в п. 5.7.2.12.3-5.7.2.12.10, 5.7.2.12.22.

5.7.2.12.3 Стойки для опор контактной сети подразделяют на типы по несущей способности (нормативному изгибающему моменту в основании стойки на уровне обреза фундамента) 80, 100, 120 и 150 кН·м. Стойки должны иметь исполнения по длине 8,5; 9,0; 9,5; 10,0; 10,5; 11,0; 11,5 и 12 м.

5.7.2.12.4 При одновременном действии нагрузок в двух плоскостях стойка должна обеспечивать прочность при нагрузке в направлении «поперек пути», соответствующей нормативному изгибающему моменту в основании стойки, и при нагрузке «вдоль пути» – не менее 20% несущей способности «поперек пути».

5.7.2.12.5 Коэффициент безопасности для стоек при расчетах на прочность при действии нагрузок поперек пути следует принимать не менее 1,6.

5.7.2.12.6 Прогиб стойки на уровне контактного провода (6,00 м от уровня обреза фундамента) при действии нагрузки «поперек пути», соответствующей нормативному изгибающему моменту в основании стойки, должен быть не более 50 мм. Прогиб на уровне контактного провода при действии нагрузки «вдоль пути», соответствующей допускаемому изгибающему моменту в основании стойки, должен составлять не более 150 мм.

5.7.2.12.7 Стойки несущей способностью 150 кН·м должны обеспечивать прочность при кручении не менее 8 кН·м и прочность на осевое сжатие при нагрузке не менее 200 кН.

5.7.2.12.8 Для анкерных опор в анкеровках контактной подвески и для переходных опор с траверсами переходных консолей следует применять стойки несущей способностью 150 кН·м.

5.7.2.12.9 Крепления консолей, кронштейнов, оттяжек, а также узлов крепления ригелей жестких поперечин к стойкам опор следует выполнять на закладных изделиях. Схема расположения отверстий под закладные изделия должна быть разработана в рамках проекта электрификации с учетом проектных высот подвешивания проводов и возможных вариантов армировки опор.

5.7.2.12.10 Привязку стоек для опор контактной сети при проектировании следует осуществлять в зависимости от условий применения на расчетные значения нагрузок по наихудшему сочетанию с учетом дополнительных аэродинамических воздействий от проходящего высокоскоростного подвижного состава.

5.7.2.12.11 В качестве фундаментов для опор контактной сети (в зависимости от конструкции пути и характеристик грунтов) применяют следующие строительные конструкции:

- буронабивные сваи с учетом требований, изложенных в п. 5.7.2.12.13-5.7.2.12.20, 5.7.2.12.22 настоящих СТУ;
- вибропогружаемые железобетонные трехлучевые фундаменты с анкерным креплением стоек опор контактной сети по ГОСТ 32209-2013 (на участках со скоростями движения поездов не более 200 км/ч);
- винтовые сваи из металлических труб;
- фундаменты сборные железобетонные цилиндрические или блочные с анкерным закреплением в толще скального грунта по ГОСТ 32209-2013.

5.7.2.12.12 В качестве анкеров для контактной сети (в зависимости от конструкции пути и характеристик грунтов) аналогично фундаментам применяют конструкции:

- буронабивные сваи с учетом требований, изложенных в п. 5.7.2.12.13-5.7.2.12.18, 5.7.2.12.21, 5.7.2.12.22 настоящих СТУ;
- вибропогружаемые железобетонные трехлучевые анкеры по ГОСТ Р 54271-2010 (на участках со скоростями движения поездов не более 200 км/ч);
- винтовые сваи из металлических труб;

– анкеры сборные железобетонные цилиндрические или блочные с анкерным основанием по ГОСТ Р 54271-2010.

5.7.2.12.13 Конструкции фундаментов из буронабивных свай для установки стоек опор контактной сети должны иметь исполнения по несущей способности 100, 120 и 150 кН·м и по длине 5,0; 5,5 и 6,0 м. Анкеры из буронабивных свай должны иметь исполнения по длине 5,5; 6,0; 6,5; 7,0 и 7,5 м. Анкеры из буронабивных свай должны быть рассчитаны на допускаемое усилие в оттяжке не менее 125 кН.

5.7.2.12.14 Фундаменты из буронабивных свай должны быть диаметром не менее 620 мм в подземной части и 800 мм в наземной части. Анкеры из буронабивных свай должны быть диаметром не менее 620 мм без уширения оголовка. Фундаменты и анкеры из буронабивных свай выполняют монолитными на месте сооружения в соответствии со специально разработанным технологическим регламентом.

5.7.2.12.15 Буронабивные сваи должны иметь класс бетона по прочности на сжатие не ниже В30, марку бетона по водонепроницаемости не ниже W8, марку бетона по морозостойкости – не ниже F200. При изготовлении свай должен быть использован сульфатостойкий цемент.

5.7.2.12.16 Толщина защитного слоя бетона буронабивных свай должна быть не менее 40 мм.

5.7.2.12.17 Ширина раскрытия трещин в фундаментах и анкерах при нормативном изгибающем моменте не должна превышать 0,15 мм.

5.7.2.12.18 Материалы для армирования фундаментов и анкеров должны быть приняты в соответствии с СП 63.13330.2018, ГОСТ 32209-2013, ГОСТ Р 54271-2010.

5.7.2.12.19 Анкерные или крепежные болты для крепления стоек следует предусматривать под резьбу М42 из стали С345 по ГОСТ 27772-2015 или из стали 09Г2С-6 по ГОСТ 19281-2014. Расположение анкерных болтов фундаментов должно соответствовать ГОСТ 32209-2013.

5.7.2.12.20 Фундаменты опор контактной сети должны обеспечивать прочность заделки в грунте не менее несущей способности стоек опор.

5.7.2.12.21 Привязку при проектировании анкеров для контактной сети следует осуществлять по расчетному усилию в оттяжке с учетом повышенных натяжений проводов контактной подвески.

5.7.2.12.22 Стойки для опор контактной сети, фундаменты и анкеры, предназначенные для применения на ВСЖМ-1, должны иметь условные обозначения, отличные от конструкций, применяемых на сети дорог общего пользования.

5.7.2.12.23 Ригели жестких поперечин следует применять балочного типа по ГОСТ 33797-2016.

#### 5.7.2.13 Требования к изоляторам

5.7.2.13.1 Изоляторы в узлах контактной сети применяют полимерные стержневые по ГОСТ 30284-2017 с учетом дополнительных требований, изложенных в п. 5.7.2.13.2-5.7.2.14.9 настоящих СТУ.

5.7.2.13.2 Полимерные изоляторы должны иметь цельнолитую кремнийорганическую оболочку и быть выполнены в птицезащищенном исполнении.

5.7.2.13.3 Длина пути тока утечки консольных, фиксаторных и подвесных изоляторов переменного тока должна составлять не менее 1300 мм, натяжных – не менее 1500 мм.

5.7.2.13.4 Консольные и фиксаторные изоляторы должны иметь класс механической прочности не ниже 120, натяжные – не ниже 160, подвесные – не ниже 70.

5.7.2.13.5 Натяжные изоляторы, врезанные в провода контактной подвески, должны быть сдвоенными.

5.7.2.13.6 Коэффициенты запаса механической прочности изоляторов по отношению к их нормированным разрушающим нагрузкам должны быть не менее 5 при средней эксплуатационной нагрузке и 2,7 при наибольшей рабочей нагрузке.

5.7.2.13.7 Узлы жесткого соединения консольных и фиксаторных изоляторов со стержнями консолей и фиксаторов должны быть рассчитаны на разрушающие нагрузки не менее чем у изоляторов.

5.7.2.13.8 Фиксаторные изоляторы должны иметь оконцеватели под резьбу G2-A по ГОСТ 6357-81 (СТ СЭВ 1157-78).

5.7.2.13.9 Для обеспечения устойчивости сжато-изогнутых стержней консолей и фиксаторов диаметр грузонесущего стержня в консольных и фиксаторных изоляторах должен составлять не менее 60 мм.

5.7.2.14 Требования к арматуре, струнам и электрическим соединителям

5.7.2.14.1 Линейную арматуру контактной сети применяют по ГОСТ 12393-2019 с учетом дополнительных требований, изложенных в п. 5.7.2.14.2-5.7.2.14.6 настоящих СТУ.

5.7.2.14.2 Соединительные, струновые, фиксирующие, средней анкеровки и другие зажимы контактной сети должны иметь плашечную конструкцию и быть выполнены из кремнисто-никелевой бронзы (или аналогичной) методом горячей штамповки и комплектоваться крепежом из коррозионностойкой стали. Для электрических соединителей должны применяться токоведущие плашечные зажимы из кремнисто-никелевой бронзы (или аналогичной) или обжимные зажимы из электролитической меди. В качестве концевых зажимов для проводов должны использоваться цанговые зажимы.

5.7.2.14.3 Струновые зажимы применяют в специальных исполнениях для установки на контактном проводе, на несущем и на рессорных тросах. Масса струнового зажима должна составлять не более 0,12 кг.

5.7.2.14.4 Разрушающая механическая нагрузка на растяжение для натяжной арматуры должна быть не менее наименьшей разрушающей нагрузки соединяемых или анкеруемых проводов. Для зажимов средней анкеровки разрушающая механическая нагрузка на растяжение должна быть не менее наименьшей разрушающей нагрузки троса средней анкеровки. Все

изделия арматуры должны выдерживать без остаточной деформации нагрузку, превышающую допускаемую в 1,33 раза.

5.7.2.14.5 Моменты затяжки болтовых соединений в изделиях арматуры должны приниматься по ГОСТ 12393-2019 или по таблице 5.5 с учетом материала и диаметров болтов. При использовании таблицы 5.5, арматура должна выдерживать без остаточной деформации нагрузку, в 1,33 раза превышающую допускаемые моменты затяжки, указанные в таблице 5.5.

Таблица 5.5 – Допускаемые моменты затяжки болтовых соединений

Диаметр резьбы, мм	Допускаемые моменты затяжки в зависимости от материала болтов, Н·м			
	Углеродистая сталь с защитным покрытием. Класс прочности		Коррозионностойкие стали групп А2 и А4 Класс прочности	
	5.6	8.8	70	80
	Минимальный предел пропорциональности материала болта $\sigma_{0,2min}$ .			
	300 Н/мм <sup>2</sup>	640 Н/мм <sup>2</sup>	450 Н/мм <sup>2</sup>	600 Н/мм <sup>2</sup>
М8	—	23	16	22
М10	—	46	32	43
М12	38	80	56	75
М16	90	195	135	180
М20	180	390	280	370

5.7.2.14.6 К струновым зажимам дополнительно предъявляются требования для арматуры токоведущих соединений по ГОСТ 12393-2019.

5.7.2.14.7 Струны контактной подвески применяют из гибких многожильных бронзовых проводов. Струны должны обеспечивать подвешивание контактного провода на проектной высоте, наработку на отказ не менее 2 миллионов проходов токоприемника, пропуск длительного электрического тока не менее 75 А. Конструкция струн должна быть проверена ресурсными испытаниями.

5.7.2.15 Требования к питающим, шунтирующим и отсасывающим линиям, питающим и обратным проводам

5.7.2.15.1 При системе электроснабжения переменного тока 2×25 кВ на опорах контактной сети, кроме контактной подвески, подвешиваются питающие и обратные провода. В зоне подключения тяговых подстанций и линейных устройств электроснабжения на опорах контактной сети допускается размещение проводов питающих, шунтирующих и отсасывающих линий. Подвеска других проводов различного назначения, кроме проводов системы тягового электроснабжения, на опорах контактной сети главных путей ВСЖМ-1 не допускается.

5.7.2.15.2 Питающие, шунтирующие и отсасывающие линии должны быть выполнены:

- воздушными, с подвеской на самостоятельных опорах или опорах контактной сети;
- кабельными.

В качестве проводов для воздушных линий применяют многопроволочные провода М-120 по ГОСТ 839-2019 или ГОСТ 32697-2019.

Натяжения проводов М-120 в наиболее тяжелом расчетном режиме не должно превышать 20 кН.

5.7.2.15.3 Натяжения и длины пролетов воздушных проводов питающих, шунтирующих и отсасывающих линий должны быть проверены расчетом по условиям:

- обеспечения допустимых габаритных расстояний в режимах максимальной температуры, минимальной температуры, гололеда, гололеда с ветром, а также ветра максимальной интенсивности;
- допустимых нагрузок на поддерживающие и опорные конструкции.

5.7.2.15.4 Питающие и обратные провода, а также провода питающих, отсасывающих и шунтирующих линий должны иметь разанкеровку через каждые 3,5-4,5 км на отдельно стоящих анкерных опорах. Дополнительная разанкеровка питающих проводов выполняется в горловинах станций, а также при проходе искусственных сооружений, пересекающих железнодорожные пути.

5.7.2.15.5 Количество и сечение проводов в питающих, шунтирующих и отсасывающих линиях должны быть выбраны по условию допустимого нагрева при раздельном питании путей.

5.7.2.15.6 У стыковых тяговых подстанций отсасывающие линии распределительных устройств 2×25 и 3 кВ монтируются на разных опорах.

5.7.2.16 Защита тяговой сети от коммутационных и атмосферных перенапряжений

5.7.2.16.1 Для защиты контактной сети от коммутационных и атмосферных перенапряжений, обеспечения электробезопасности обслуживающего персонала и других лиц с тяговой рельсовой сетью должны быть соединены:

- опоры контактной сети;
- конструкции крепления изоляторов и деталей крепления контактной сети и воздушных линий электропередачи на железобетонных или металлических искусственных сооружениях;
- все металлические конструкции устройств и сооружений (мосты, путепроводы, светофоры, отдельно стоящие опоры, прожекторные мачты, крыши зданий и т.п.), расположенные от проводов и элементов, находящихся под напряжением выше 1000 В, на расстоянии, предусмотренном ГОСТ Р 58321-2018, ГОСТ Р 58320-2018.

5.7.2.16.2 Заземление устройств контактной сети на главных путях при системе электроснабжения 2×25 кВ выполняют путем присоединения их к обратному проводу и/или шине заземления (в случае их применения), либо

индивидуальными или групповыми заземляющими проводниками, присоединенными к тяговым рельсам или средним точкам дроссель-трансформаторов.

5.7.2.16.3 Заземление приводов разъединителей осуществляется путем соединения их с обратным проводом (и/или шиной заземления) либо на тяговую рельсовую сеть двумя заземляющими спусками наглухо.

5.7.2.16.4 Присоединение ограничителей перенапряжения к тяговой рельсовой сети на главных путях при системе электроснабжения  $2 \times 25$  кВ должно быть выполнено путем присоединения их к обратному проводу (и/или шине заземления), либо на тяговую рельсовую сеть двумя заземляющими спусками наглухо. Места установки ограничителей перенапряжения определяются в соответствии с требованиями СП 224.1326000.2014 и на одной из переходных опор каждого неизолирующего сопряжения. Дополнительно ограничители перенапряжений устанавливаются у мест анкерровок контактной подвески в районе воздушных стрелок на расстоянии не далее двух пролетов от изоляторов в анкеровках.

### **5.7.3 Токосъем**

5.7.3.1 Технические решения по контактной сети и токоприемникам должны быть взаимно согласованы с целью обеспечения качества токосъема в соответствии с ГОСТ 32793-2014 и дополнительными указаниями, приведенными в п. 5.7.3.2-5.7.3.5.

5.7.3.2 На этапе проектирования требуемое качество токосъема должно быть подтверждено результатами математического моделирования динамического взаимодействия контактной подвески и токоприемников.

5.7.3.3 Для оценки качества токосъема при моделировании должны быть выбраны участки контактной подвески, состоящие из пяти или семи пролетов:

- с промежуточными пролетами;
- в зоне средней анкеровки;
- в зоне неизолирующего сопряжения;
- в зоне изолирующего сопряжения;
- в зоне воздушной стрелки.

На выбранном участке при имитации прохождения электроподвижного состава с заданной скоростью движения должны быть определены:

- мгновенные значения контактного нажатия каждого токоприемника с частотой не менее 200 Гц;
- отжатия контактного провода токоприемниками под фиксаторами.

По результатам каждого вычислительного эксперимента должны быть вычислены следующие показатели:

- среднее значение контактного нажатия  $P_{cp}$  по ГОСТ 32793-2014;
- среднеквадратическое отклонение контактного нажатия  $\sigma$  по ГОСТ 32793-2014;
- статистический максимум контактного нажатия  $P_{cp} + 3\sigma$ ;
- статистический минимум контактного нажатия  $P_{cp} - 3\sigma$ ;

– коэффициент искрений  $K_{искр}$ .

При моделировании взаимодействия токоприемников и контактной подвески коэффициент искрений вычисляется по формуле

$$K_{искр} = \frac{N_0}{N_{\Sigma}}, \quad (5.4)$$

где  $N_0$  – число изменений контактного нажатия при отсутствии контакта токоприемника с контактным проводом;

$N_{\Sigma}$  – общее число измерений.

5.7.3.4 Качество токосъема считается удовлетворительным, если выполнены следующие условия:

- статистический минимум  $P_{cp} - 3\sigma$  положителен;
- статистический максимум  $P_{cp} + 3\sigma$  не превышает значений, приведенных в таблице 5.6;
- стандартное отклонение контактного нажатия  $\sigma$  не превышает  $0,3 \cdot P_{cp}$ ;
- коэффициент искрений  $K_{искр}$  не превышает 0,2%;
- максимальное отжатие контактного провода токоприемником под фиксаторами без учета климатического влияния не превышает 150 мм.

Качество токосъема должно оцениваться для каждого впереди идущего и позади идущего рабочего токоприемника поезда.

Таблица 5.6 – Допускаемые значения статистического максимума контактного нажатия

Род тока	Скорость движения $V$ , км/ч	Максимальное допустимое значение статистического максимума контактного нажатия $P_{cp} + 3\sigma$ , Н
Переменный	до 200 включительно	300
	свыше 200 до 350	350
	свыше 350 до 400	450
Постоянный	до 200 включительно	300
	свыше 200 до 250	400

5.7.3.5 Математическое моделирование взаимодействия токоприемников и контактной подвески должно быть выполнено для высокоскоростных поездов при скоростях движения от 300 до 440 км/ч с шагом 5 км/ч.

Моделирование должно быть выполнено для всех вариантов исполнений контактной подвески, планируемых для реализации на ВСЖМ-1, при длинах пролетов от 30 до 70 м с шагом 5 м, а также для всех вариантов токоприемников и их конфигурации на подвижном составе.

#### 5.7.4 Тяговая рельсовая сеть



5.7.4.1 В технически обоснованных случаях для тяговой рельсовой сети системы тягового железнодорожного электроснабжения 2×25 кВ ВСЖМ-1 предусматривают обратный провод, прокладываемый по опорам контактной сети с полевой стороны. Применение обратного провода необходимо только для главных путей перегонов и станций.

5.7.4.2 Обратный провод должен выполнять функцию пропуска обратного тока, организации контура заземления опор контактной сети, снижения электрических потенциалов рельсов относительно земли, а также обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС) с другими техническими средствами (связи, радио, телекоммуникаций и т. д.).

5.7.4.3 Обратный провод подключается к отсасывающим линиям тяговых подстанций, автотрансформаторных пунктов, а также к средним точкам дроссель-трансформаторов, устанавливаемых на расстоянии не более 2 км и определяемом с учетом требований электробезопасности по допустимым напряжениям прикосновения к рельсу и требований надежной работы устройств железнодорожной автоматики и телемеханики.

5.7.4.4 В качестве обратного провода применяется медный многопроволочный провод по ГОСТ 839-2019 или ГОСТ 32697-2019. Сечение обратного провода не должно ограничивать нагрузочную способность контактной подвески.

5.7.4.5 У стыковых тяговых подстанций совместное подключение к рельсовой сети отсасывающих линий постоянного и переменного тока осуществляется к одним и тем же дроссель-трансформаторам.

5.7.4.6 Для тяговых рельсов и обратного провода должны выполняться проверочные расчеты напряжения прикосновения на соответствие норм электробезопасности. При превышении норм электробезопасности на участках с системой электроснабжения 2×25 кВ должны применяться дополнительные мероприятия по снижению напряжения прикосновения:

- организация дополнительных контуров заземления;
- прокладка дополнительной шины заземления в теле земляного полотна, параллельно соединенной с обратным проводом;
- расщепление обратного провода и другие.

В зоне пассажирских платформ для обеспечения электробезопасности при необходимости следует принимать следующие меры:

- соединение арматуры железобетонных платформ с обратным проводом;
- уменьшение сопротивления фундаментов платформ за счет выпусков арматуры в землю, применения токопроводящего бетона и/или применения дополнительных заземлителей;
- организация дополнительных контуров заземления.

5.7.4.7 Допустимые напряжения прикосновения различной продолжительности воздействия представлены в таблице 5.7. При колебании напряжений следует учитывать самый неблагоприятный случай.

Таблица 5.7 – Допустимые напряжения прикосновения при различной продолжительности воздействия, В

Продолжительное воздействие			Кратковременное воздействие		
Продолжительность воздействия, с	Электрифицированные железные дороги переменного тока	Электрифицированные железные дороги постоянного тока	Продолжительность воздействия, с	Электрифицированные железные дороги переменного тока	Электрифицированные железные дороги постоянного тока
продолжительно	60	120	< 0,7	155	350
300	65	150	0,6	180	360
1	75	160	0,5	220	385
0,9	80	165	0,4	295	420
0,8	85	170	0,3	480	460
0,7	90	175	0,2	645	520
			0,1	785	625
			0,05	835	735
			0,02	865	870

## 5.8 Электроснабжение нетяговых потребителей

### 5.8.1 Источники и электрические сети питания нетяговых потребителей

5.8.1.1 В качестве источников электроэнергии для электроснабжения нетяговых потребителей ВСЖМ-1 следует использовать:

а) электрические сети территориальных сетевых и (или) иных энергоснабжающих организаций;

б) трансформаторы тяговых подстанций, указанные в п. 5.6.

5.8.1.2 Способ организации электроснабжения нетяговых потребителей ВСЖМ-1 должен быть основан на строительстве электрических сетей следующим образом:

а) при подключении сетей к источникам в соответствии с 5.8.1.1, перечисление а) – путем сооружения необходимого количества сетей линий электропередачи напряжением до 1 кВ, подключаемых к распределительным устройствам низшего напряжения трансформаторных подстанций, объединяемых через распределительные устройства высшего напряжения сетью линий электропередачи напряжением не ниже 10 кВ;

б) при подключении сетей, расположенных на межподстанционных зонах, к источникам в соответствии с 5.8.1.1, перечисление б) – путем

сооружения необходимого количества сетей линий электропередачи напряжением до 1 кВ, подключаемых к распределительным устройствам низшего напряжения трансформаторных подстанций, подключаемых, в свою очередь, через распределительные устройства высшего напряжения к двум линиям продольного электроснабжения (ПЭ-1 и ПЭ-2) напряжением не ниже 20 кВ, получающим питание от разных секций шин распределительных устройств тяговых подстанций;

в) при подключении сетей, расположенных на станциях с тяговыми подстанциями, к источникам в соответствии с 5.8.1.1, перечисление б) – путем сооружения необходимого количества сетей линий электропередачи напряжением до 1 кВ, подключаемых к распределительным устройствам низшего напряжения трансформаторных подстанций, подключаемых, в свою очередь, через распределительные устройства высшего напряжения линиями напряжением не ниже 20 кВ к разным секциям шин распределительных устройств тяговых подстанций.

5.8.1.3 Линии ПЭ-1 должны обеспечивать основное питание электроприемников первой категории надежности электроснабжения (включая особую группу) и резервное питание электроприемников второй категории надежности. К линиям ПЭ-1 не допускается подключение электроприемников третьей категории надежности. Линии ПЭ-2 должны обеспечивать основное питание электроприемников второй и третьей категорий надежности, а также резервное питание электроприемников первой категории надежности (включая особую группу).

## **5.8.2 Линии электропередачи**

5.8.2.1 Линии электропередачи устройств электроснабжения нетяговых потребителей на перегонах и станциях должны выполняться кабельными, прокладываемыми в кабельных лотках вдоль железнодорожной линии с полевой стороны опор контактной сети.

5.8.2.2 Прокладку взаиморезервируемых кабельных линий электропередачи устройств электроснабжения нетяговых потребителей предусматривают по отдельным трассам по разные стороны от железнодорожных путей. При невозможности прокладки по разные стороны от железнодорожных путей допускается прокладка с одной стороны от путей в одном кабельном лотке с разделением несгораемой перегородкой.

## **6 Железнодорожная автоматика и телемеханика высокоскоростной железнодорожной магистрали колеи 1520 мм Москва – Санкт-Петербург. Технические нормы и требования к проектированию, строительству**

### **6.1 Общесистемные вопросы**

#### **6.1.1 Технология управления движением поездов. Система управления и обеспечения безопасности движения поездов. Структура и общие принципы построения**

6.1.1.1 Функции системы управления должны быть увязаны с соответствующими категориями маршрутов. В этой связи должны предусматриваться следующие виды маршрутов: высокоскоростные, поездные и маневровые.

6.1.1.2 Система управления движением поездов высокоскоростной магистрали (СУДП ВСЖМ-1) должна включать три иерархических уровня:

- *верхний* – диспетчерского управления;
- *средний* – линейный;
- *нижний* – непосредственно объекты управления и контроля.

6.1.1.3 Подсистемы СУДП должны объединяться в единый комплекс посредством сетей передачи информации в соответствии с требованиями по защите информации и предотвращению киберугроз.

#### **6.2. Диспетчерский центр управления движением поездов. Требования к составу и расположению технологического оборудования**

6.2.1 Основным режимом управления движением поездов ВСЖМ-1 должен быть режим автоматического диспетчерского управления.

6.2.2 Состав оборудования СУДП ДЦУ должен состоять из серверного оборудования, вычислительных средств радиоблокцентра, АРМ диспетчерского и обслуживающего персонала, а также средств коллективного отображения информации, аппаратуры связи и рабочего освещения.

6.2.3 Аппаратура СУДП ДЦУ и каналы передачи данных должны быть защищены от помех, создаваемых подвижным составом во всех режимах, грозовых и коммутационных перенапряжений. Устройства защиты от грозовых и коммутационных перенапряжений, устройства заземления аппаратуры электропитания должны соответствовать требованиям ГОСТ Р 50571.4.44-2019 и эксплуатирующей организации.

6.2.4 Электропитание оборудования ДЦУ ВСЖМ-1 должно относиться к электроприемникам особой группы 1-й категории обеспечения надежности электроснабжения по ПУЭ.

6.2.5 Должны быть предусмотрены рабочие помещения для эксплуатационного штата, обслуживающего технические средства ДЦУ ВСЖМ-1 в круглосуточном режиме.

### **6.3 Станции, путевые посты и пункты концентрации оборудования. Требования к составу и расположению технологического оборудования**

6.3.1 Поставное оборудование ЖАТ должно размещаться в служебно-технических зданиях (СТЗ) с оснащением системой кондиционирования в соответствии с классом аппаратуры, пожарно-охранной сигнализацией и системой пожаротушения.

6.3.2 В СТЗ должно быть предусмотрено размещение поставного оборудования с нижним подключением и размещением кабельных трасс в зоне фальшпола.

6.3.3 Размеры помещения для размещения поставного оборудования СУДП должны предусматривать не менее 10% резерва площади.

### **6.4. Требования к составным частям**

#### **6.4.1 Интервальное регулирование движения поездов на перегонах и станциях**

6.4.1.1 Участок должен оборудоваться гибридной системой интервального регулирования движения поездов по главным путям станций и перегонов, состоящей из двух составляющих, функционирующих одновременно:

- цифрового радиоканала для передачи управляющих команд на основе информации, поступающей на ПЕ от РБЦ;

- рельсопроводного канала передачи данных на ПЕ для работы бортовых устройств многозначной автоматической локомотивной сигнализации.

Приоритет управления должен определяться автоматически локомотивными устройствами безопасности, установленными на подвижном составе, с преимуществом управления по цифровому радиоканалу на основе информации, поступающей от РБЦ.

В случае отсутствия радиосвязи бортовой системы безопасности с РБЦ, управление движением поездов должно автоматически переключаться на использование рельсопроводного канала на основе двухчастотной многозначной автоматической локомотивной сигнализации, обратное переключение на управление по радиоканалу должно происходить автоматически после восстановления соединения по каналу передачи данных технологической радиосвязи.

6.4.1.2 Устройства ИРДП должны обеспечивать передачу информации на ПЕ при движении поездов по перегонам и станциям со скоростями до 400 км/ч.

6.4.1.3 На станциях подсистема ИРДП должна быть увязана с системой управления объектами МПЦ.

6.4.1.4 Зона действия РБЦ должна быть обеспечена надежным радиоканалом с двойным покрытием зон обслуживания соседних базовых станций.

6.4.1.5 РБЦ должна обеспечивать:

- контроль проследования поездов в полном составе и их местонахождение посредством обмена данными с ПЕ, а также от рельсовых цепей станций и перегонов посредством увязки с микропроцессорной централизацией;

- обмен данными о состоянии маршрутов, положении стрелок и светофоров с микропроцессорной централизацией;

- сбор и обработку информации от подсистем ДЦУ, формирование и шифрование команд разрешения движения с маршрутом, а также команд на остановку в точке прицельного торможения, в том числе с учетом внесения изменений при отмене и изменении маршрута следования;

- обмен информацией с бортовым оборудованием ПЕ по цифровому радиоканалу;

- передачу на бортовое оборудование ПЕ информации о движении впереди идущих поездов, о постоянных и временных ограничениях скорости, а также информации о свободности/занятости впереди лежащих рельсовых цепей;

- хранение актуальной базы данных ординат объектов по всему участку следования поездов на ВСЖМ-1;

- работа в режиме единого реального времени с подсистемами СУДП всех уровней.

6.4.1.6 Подсистема ИРДП на основе рельсовых цепей должна проектироваться без проходных светофоров и изолирующих стыков на главных путях станций.

6.4.1.7 ИРДП должна обеспечивать двухстороннее движение поездов по каждому из перегонных путей без сокращения функциональных возможностей.

6.4.1.8 Аппаратура подсистемы ИРДП должна размещаться централизованно на постах ЭЦ станций и в перегонных пунктах концентрации аппаратуры.

6.4.1.9 Для организации межстанционных цифровых цепей подсистемы ИРДП следует использовать кабели с оптическими волокнами. Переключение межстанционных цепей подсистемы ИРДП с основных на резервные должно осуществляться автоматически.

6.4.1.10 Подсистема ИРДП должна быть увязана с устройствами оповещения работающих на путях.

6.4.1.11 Временные задержки по передаче информации РБЦ – ПЕ, ПЕ – РБЦ и искажения информации не должны приводить к изменению точки остановки, допустимые значения определяются с учетом характеристик радиоканала. При определении на ПЕ разрыва соединения с радиоблокцентром, бортовое оборудование ПЕ устанавливает значение допустимой скорости на основании показаний АЛС-ЕН. Данные о

допустимой скорости формируются на основе расстояния до точки остановки, вычисляемого бортовым оборудованием ПЕ на основе количества свободных рельсовых цепей по показаниям АЛС-ЕН и электронной карты.

6.4.1.12 Интенсивность опасных отказов программно-аппаратных средств подсистемы ИРДП при выполнении ею установленных проектом функций должна быть не более  $1 \cdot 10^{-9}$  1/ч на один километр длины перегона, оснащенного автоматической блокировкой или автоматической локомотивной сигнализацией как самостоятельным средством сигнализации и связи.

#### **6.4.2 Управление стрелками, светофорами и маршрутами на станциях и путевых постах**

6.4.2.1 На главных путях станций должна предусматриваться сигнализация без установки поездных и маневровых светофоров. На остальных путях станций для поездных и маневровых передвижений должна проектироваться светофорная сигнализация с установкой поездных и маневровых светофоров.

6.4.2.2 По главным путям раздельных пунктов должны применяться тональные рельсовые цепи без изолирующих стыков и 2-х частотную АЛС-ЕН.

6.4.2.3 На всех вновь строящихся раздельных пунктах ВСЖМ-1 должна применяться ЭЦ микропроцессорного типа с распределенной архитектурой, когда управляющий вычислительный комплекс (УВК) проектируется на опорной станции, а объектные контроллеры (ОК) распределяются на соседних станциях и путевых постах.

6.4.2.4 Подсистема ЭЦ должна обеспечивать выполнение зависимостей стрелок и светофоров («виртуальных светофоров») с учетом алгоритмов реализации поездных и маневровых маршрутов и передачу данных в РБЦ.

6.4.2.5 Должна применяться безопасная резервированная архитектура УВК. Каналы связи УВК и ОК должны резервироваться автоматически без перерыва реализации функций.

6.4.2.6 Подсистема управления стрелками и светофорами на станциях должна обеспечивать:

- программное, маршрутное и индивидуальное управление объектами станции в соответствии с ГОСТ 33896-2016 (подраздел 4.1.2);
- формирование данных о показаниях станционных светофоров (в том числе виртуальных) для подсистемы интервального регулирования;
- взаимодействие с подсистемой интервального регулирования на главных путях станций и перегонов;
- взаимодействие с устройствами оповещения о приближении поезда работающих на путях, возможность блокирования задания маршрутов на отдельные зоны станции для ограждения места производства работ;
- взаимодействие с РБЦ с целью передачи команд управления на бортовое оборудование ПЕ, в том числе экстренной остановки поезда и разрешения на проследование запрещающего сигнала.

6.4.2.7 Подсистемы ЭЦ и ИРДП должны иметь встроенную диагностику технических средств с записью в архив всех событий и сообщений между подсистемами, с передачей информации в АРМ ШН и в АСТДМ.

6.4.2.8 Перевод стрелок съездов должен быть отдельным.

6.4.2.9 Для станций, обеспечивающих соединения высокоскоростной магистрали с общей сетью железных дорог, должны предусматриваться устройства, исключающие несанкционированный выезд поездов (составов) в зону высокоскоростного движения.

6.4.2.10 Пути приема и отправления поездов, все стрелочно-путевые секции и участки пути должны оборудоваться тональными рельсовыми цепями.

6.4.2.11 Предмаршрутный участок определяется с учетом категории маршрута и максимально реализуемой скорости в данной зоне управления. Его длина должна составлять не менее длины тормозного пути поезда при служебном торможении.

6.4.2.12 Подсистема ЭЦ должна обеспечивать индивидуальную отмену каждого маршрута независимо от других отменяемых маршрутов.

6.4.2.13 Устройства выдержки времени должны допускать искусственное размыкание нескольких групп секций.

6.4.2.14 Должна обеспечиваться реализация функции безостановочного проследования поезда по ложно занятой рельсовой цепи с подтверждением фактического состояния рельсовой цепи и передачи команды от РБЦ.

6.4.2.15 Допустимая интенсивность опасных отказов для устройств ЭЦ должна быть:

- $1 \cdot 10^{-7}$  1/ч на железнодорожную станцию для станций с числом централизованных стрелок до 22 включительно;
- $1 \cdot 10^{-9}$  1/ч на централизованную стрелку для станций с числом централизованных стрелок более 22.

### **6.4.3 Диспетчерское управление стрелками, светофорами и маршрутами на станциях и путевых постах**

6.4.3.1 На диспетчерское управление из ДЦУ ВСЖМ-1 должны включаться все промежуточные станции, путевые посты и перегоны высокоскоростной линии.

6.4.3.2 В системе должна предусматриваться ответственная команда принудительного перевода станции на диспетчерское управление со стороны ДНЦ.

6.4.3.3 Диспетчерское управление, предусматриваемое на уровне ДЦУ ВСЖМ-1 должно выполнять следующие функции:

- формирование и передачу команд телеуправления стрелками, светофорами и установкой маршрутов (поездных, маневровых);
- формирование и передачу команд индивидуального телеуправления объектами станции;



- сбор информации по всем контролируемым и управляемым объектам инфраструктуры и подвижном составе;
- логический контроль функционирования устройств;
- выдачу всей необходимой информации по контролю объектов в ДЦУ с формированием предупреждений о нарушениях работоспособности технических средств посредством световой и звуковой сигнализации;
- обеспечение возможности управления поездным движением с АРМ ДНЦ (включая переключение режима пропуска высокоскоростного поезда, смену направления движения по путям перегонов, передачу команд на ввод и отмену ограничений скорости движения и передачу управления станциями на АРМ ДСП);
- формирование и передачу ответственных команд исполнительным устройствам.

6.4.3.4 Сети передачи, применяемые для организации диспетчерского управления, должны резервироваться по географически разнесенным маршрутам для обеспечения бесперебойного централизованного управления и контроля за движением поездов на ВСЖМ-1.

6.4.3.5 Достоверность передачи информации ТУ – ТС – ТИ о технологических процессах работы ВСЖМ-1 для телемеханических комплексов должна соответствовать первой категории по ГОСТ 26.205-88 При передаче данных должны выполняться следующие требования:

- вероятность трансформации сигналов телеуправления при вероятности искажения элементарного сигнала  $10^{-4}$  и независимых ошибках не более  $10^{-14}$ ;
- вероятность трансформации сигналов телесигнализации при вероятности искажения элементарного сигнала  $10^{-4}$  и независимых ошибках не более  $10^{-8}$ ;
- вероятность потери информации сигналов телеуправления (допускается повторение до 5 раз) при вероятности искажения элементарного сигнала  $10^{-4}$  и независимых ошибках не более  $10^{-10}$ ;
- вероятность потери информации сигналов телесигнализации (допускается повторение до 5 раз) при вероятности искажения элементарного сигнала  $10^{-4}$  и независимых ошибках не более  $10^{-8}$ .

6.4.3.6 Допустимая интенсивность опасных отказов для ответственных команд в устройствах диспетчерского управления должна быть не более  $10^{-11}$  1/ч.

6.4.3.7 Устройства диспетчерского управления должны быть увязаны с информационными системами ДЦУ ВСЖМ-1.

6.4.3.8 Диспетчерское управление должно обеспечивать реализацию следующих ответственных команд:

- команды в соответствии с п.5.4.11 СП 235.1326000.2015;
- вспомогательная отмена режима пропуска высокоскоростного поезда;
- подтверждение свободности рельсовой цепи;
- передача на поезд по радиоканалу специальных команд;

- 1) разрешения на движение;
- 2) принудительной остановки и отмены принудительной остановки поезда;
- 3) разрешения проезда запрещающего показания светофора.

Перечень ответственных команд может быть изменен по требованию владельца инфраструктуры.

#### **6.4.4 Диагностика, самодиагностика, удаленный мониторинг**

6.4.4.1 Подсистемы ЭЦ и ИРДП должны иметь встроенные средства диагностики и передавать диагностическую информацию о состоянии устройств в АСТДМ с возможностью вывода данной информации на:

- АРМ электромеханика сигнализации централизации и блокировки на станции;
- АРМ диспетчера (инженера по мониторингу) дистанции эксплуатации ЖАТ;
- АРМ инженера по мониторингу центра диагностики и мониторинга;
- мобильное рабочее место электромеханика (МРМ ШН).

6.4.4.2 Проектируемые подсистемы ТДМ должны обеспечивать:

- а) непрерывный контроль поездного положения и технического состояния объектов ЖАТ в режиме реального времени с хранением архива информации;
- б) возможность предоставления архивной информации за заданный период времени в режиме реального времени;
- в) прием (съем) необходимой информации из систем ЖАТ, систем охранно-пожарной сигнализации и систем автоматического пожаротушения;
- г) непрерывный контроль предотказного состояния устройств ЖАТ;
- д) логический контроль работы технических средств и действий оперативного персонала;
- е) хранение и просмотр архива;
- ж) передачу информации в Центр диагностики и мониторинга ЖАТ ВСЖМ-1 и обслуживающему персоналу;
- з) возможность контроля исполнения технологических работ эксплуатационным персоналом.

6.4.4.3 Достоверность передачи информации, содержание которой связано с контролем технического состояния объектов, техническим диагностированием и мониторингом (для телемеханических комплексов третьей категории по классификации ГОСТ 26.205-88), должна соответствовать следующим требованиям:

- вероятность трансформации сигналов при вероятности искажения элементарного сигнала  $10^{-3}$  и независимых ошибках, не более  $10^{-6}$ ;
- вероятность потери информации (допускается повторение до 5 раз) при вероятности искажения элементарного сигнала  $10^{-3}$  и независимых ошибках – не более  $10^{-5}$ .

6.4.4.4 Измерительные подсистемы встроенных средств диагностики и контроля должны обеспечивать:

- возможность интеграции в автоматизированные системы контроля и управления устройствами ЖАТ на уровне информационного обмена;
- возможность интеграции в системы верхнего уровня;
- совместимость (информационную, конструктивную, метрологическую, энергетическую);
- взаимозаменяемость однотипных датчиков и измерительных преобразователей (информационную, конструктивную, метрологическую);
- быстроту и легкость модернизации, наращивания и реконфигурирования;
- калибровку измерительных каналов, тестируемость, сигнализацию.

6.4.4.5 Измерительные устройства должны соответствовать метрологическим требованиям.

6.4.4.6 Для передачи диагностической информации с линейных пунктов необходимо проектировать резервируемые цифровые каналы связи со скоростями передачи не менее 2 Мб/с.

6.4.4.7 Должен быть выполнен согласованный с разработчиком систем расчет потребных объемов трафика между линейным пунктом и центральным постом. При этом необходимо учитывать, как правило, 30% резерв, связанный с возможным увеличением объема передаваемой информации вследствие развития технических средств ТДМ.

## **6.5 Требования к проектированию**

6.5.1 При проектировании балластной и безбалластной конструкции верхнего строения пути необходимо предусмотреть коммуникационные каналы для прокладки кабельных сетей ЖАТ.

6.5.2 При проектировании необходимо соблюдать следующие требования к сетям железнодорожной электросвязи для построения систем ЖАТ:

- предоставление выделенных каналов магистральной сети связи, резервированных по географически разнесенным маршрутам и обеспечивающих скорость передаваемой информации до 10 Гб/с;
- реализация линий доступа (к остановочным и промежуточным станциям ВСЖМ-1 с расположенной на них аппаратурой подсистем комплекса системы ЖАТ) к магистральной сети передачи на основе оптического кабеля со скоростями обмена информацией не менее 100 мб/с;
- качество связи: процент потери пакетов – не более 0,5%;
- гарантирование времени доставки пакетов по магистральной сети передачи информации в любую точку вычислительной сети единого комплекса системы ЖАТ не более чем за 100 мс.

6.5.3 При построении вычислительной сети системы ЖАТ должны выполняться следующие принципы:

- интеграции всех подсистем в единый комплекс на основе доменной технологии (каждая подсистема и ее составные компоненты включаются в поддомен);

– структурные части СУДП с серверами приложений, геоинформационный сервер сбора информации о координатах ВС составов, объектные контролеры и серверы Центра диагностики и мониторинга должны иметь собственные URL идентификаторы, утвержденные владельцем инфраструктуры;

– вычислительная сеть системы ЖАТ, интегрирующая распределенные объекты, должна базироваться на применении принципов реализации распределенной вычислительной сети с централизованной обработкой информации, приложений, ориентированных на использование web-технологий, протоколов, обеспечивающих масштабирование распределенных объектов в системе ЖАТ и работу с оптическими накопителями информации (в центрах диспетчерского управления и системах ЭЦ);

– приложения должны использовать единые интерфейсы канального уровня Ethernet (для сегментов вычислительной сети на скоростях до 1 Gb/c) и FibreChannel (канальный – Сетевая модель OSI) для сегментов вычислительной сети Системы ЖАТ, работающих со скоростями свыше 1 Gb/c;

– электрические и временные параметры напольных устройств должны поддерживаться интерфейсами объектных контролеров (посредством встраиваемых драйверов для их управления);

– информационный обмен между подсистемами должен строиться на сетевых протоколах и протоколах приложений, утвержденных владельцем инфраструктуры (прикладной уровень Сетевой модели OSI);

– требования взаимозаменяемости и совместимости отдельных элементов и программных средств системы ЖАТ устанавливаются с учетом их функционального назначения и необходимости совместного использования в рамках единого комплекса системы ЖАТ.

#### 6.5.4 Требования при проектировании напольного оборудования.

6.5.4.1 Размещение напольного оборудования необходимо осуществлять с учетом габаритов приближения строений С400.

6.5.4.2 Прокладку внешних кабельных сетей ЖАТ нужно осуществлять в кабельных лотках или кабельной канализации.

6.5.5 Требования при проектировании светофорной сигнализации на боковых путях и в маневровых районах станций, а также на примыканиях существующих линий к путям ВСЖМ-1.

6.5.5.1 Для маневровых передвижений на станциях предусмотреть маневровую сигнализацию, принятую на магистральном транспорте с реализацией маневровой АЛС для зоны главных путей станции.

6.5.5.2 На границах маршрутов без светофоров должны устанавливаться сигнальные знаки «Граница маршрута» с обозначением соответствующего пути (на границе станционного пути), изолированного участка (секции) или «виртуального светофора» имеющего аналогичное обозначение на мониторе АРМ ДСП (ДНЦ), основной функцией которых должно стать ориентирование машинистов при приближении к точке остановки.

6.5.6 Проектирование электроснабжения устройств железнодорожной автоматики и телемеханики на станциях и перегонах.

6.5.6.1 Для исключения перерыва электропитания устройств ЖАТ, на работоспособность которых влияет время переключения фидеров и время запуска РАЭС, а также для обеспечения качества электроэнергии должна применяться система бесперебойного питания, обеспечиваемая групповым или индивидуальными для различных нагрузок устройствами бесперебойного питания или инверторами с емкостью аккумуляторных батарей, обеспечивающей работу устройств СУДП не менее 2 ч.

6.5.6.2 Для УВК, обеспечивающего работу РБЦ и МПЦ, должно быть организовано соблюдение следующих условий:

- должна обеспечиваться бесперебойность напряжения питания вне зависимости от наличия напряжения на шине гарантированного питания за счет аккумуляторного резерва не менее 2 часов;

- преобразователи или инверторы, от которых питается УВК, должны иметь «горячий» резерв;

- электропитание каждого канала УВК должно осуществляться по индивидуальной выделенной линии;

- любые отказы преобразователей или потери контакта в соединительной линии в цепи одного канала не должны приводить к обесточиванию других каналов УВК.

6.5.6.3 Устройства электропитания рельсовых цепей, АЛС-ЕН и АЛС должны переключать нагрузку с цепей бесперебойного питания на цепи гарантированного питания с обеспечением требований функциональной безопасности при превышении на время более 1 с:

- а) выходного напряжения устройства бесперебойного питания и инверторов выше 1,1 от номинального напряжения;

- б) интергармоник, совпадающих с рабочей частотой путевых приемников рельсовых цепей.

6.5.7. Проведение работ по надзору за искусственными сооружениями и их ремонту во время движения высокоскоростного железнодорожного транспорта не допускается.

В период проведения ремонтных работ должны использоваться переносные устройства оповестительной сигнализации, имеющие увязку с ЦИСОП.

## **7 Железнодорожная электросвязь высокоскоростной железнодорожной магистрали колеи 1520 мм Москва – Санкт-Петербург. Технические нормы и требования к проектированию и строительству**

### **7.1 Проводные сети и системы связи**

#### **7.1.1 Общесистемные вопросы**

##### **7.1.1.1 Классификация сетей и систем железнодорожной электросвязи.**

Проводные сети и системы связи железнодорожной электросвязи на участке ВСЖМ-1 должны включать в себя:

##### ***сети:***

- сеть транспортную;
- сеть оперативно-технологической связи;
- сеть общетехнологической телефонной связи;
- сеть передачи данных оперативно-технологического назначения;
- сеть передачи данных общетехнологического назначения;

##### ***системы:***

- систему технологической аудиоконференц-связи;
- систему технологической видеоконференц-связи;
- систему документированной регистрации служебных переговоров;

##### ***функциональные подсистемы:***

- систему тактовой сетевой синхронизации;
- систему единого времени;
- систему обеспечения информационной безопасности;
- систему мониторинга и администрирования;
- систему электроснабжения узлов железнодорожной связи.

**7.1.1.2 Общие требования к организации сетей и систем железнодорожной электросвязи на базе современных телекоммуникационных технологий.**

Общесистемными требованиями к системе связи ВСЖМ-1 являются:

- реализация концепции сетей следующего поколения NGN (Next Generation Network);
- построение оптической транспортной сети с применением технологии WDM;
- построение оптической мультисервисной сети связи на базе пакетных технологий;
- реализацию комплексной системы управления всеми сетями и системами связи;
- применение средств контроля и поддержания качества обслуживания клиентов.

#### **7.1.2 Транспортная сеть связи со спектральным разделением каналов**

##### **7.1.2.1 Общие характеристики транспортной сети.**

7.1.2.1.1 В качестве направляющей системы для построения транспортной сети должен использоваться волоконно-оптический кабель с одномодовыми волокнами, обеспечивающими работу аппаратуры со спектральным разделением каналов.

7.1.2.1.2 Архитектура сетей связи должна соответствовать основным принципам сетей следующего поколения NGN.

7.1.2.1.3 В рамках архитектуры NGN транспортная сеть должна выполнять функции транспортного уровня и быть выделенной относительно уровня формирования услуг.

7.1.2.1.4 Для решения задачи взаимодействия между уровнем транспортной сети и уровнем предоставления услуг необходимо использовать слой адаптации.

7.1.2.1.5 Технологической основой, позволяющей реализовать текущие и перспективные требования к транспортной сети связи (для первого, физического, уровня модели OSI), должна являться технология мультиплексирования со спектральным разделением по длинам волн WDM (Wavelength Division Multiplexing).

7.1.2.1.6 В качестве технологической основы, позволяющей реализовать масштабирование и гибкое развитие транспортной сети связи (для второго, канального, уровня модели OSI), должны применяться пакетно-ориентированные технологии построения транспортной сети или технологий канального уровня SDH или NG SDH.

7.1.2.1.7 Технологической основой, позволяющей гибко использовать ресурсы транспортной сети с обеспечением требований по качеству обслуживания (для уровня 2,5, промежуточного между канальным и сетевым, и для 3-го сетевого уровня модели OSI), должен применяться (по выбору заказчика) комплекс технологии IP/MPLS.

7.1.2.1.8 Транспортная сеть должна иметь встроенную систему мониторинга и администрирования и быть включена в Единую систему мониторинга и администрирования (ЕСМА) технологической связи ОАО «РЖД».

7.1.2.2 В транспортной сети в качестве основного архитектурного решения должна применяться двухуровневая организация транспортной сети.

7.1.2.2.1 Верхний уровень транспортной сети должен формироваться путем размещения оборудования систем передачи со спектральным разделением только на крупных или узловых станциях (ТПУ – транзитные периферийные узлы), а волоконно-оптические линии данного уровня будут иметь большую протяженность – до 300 км (ТС – типовая секция).

7.1.2.2.2 Нижний уровень транспортной сети должен формироваться путем размещения оборудования систем передачи со спектральным разделением на промежуточных (малых и средних) станциях, а волоконно-оптические линии данного уровня будут иметь протяженность до 80 км с учетом особенностей региона (ТЗВ – типовое звено).

7.1.2.2.3 Для обеспечения высокой надежности и возможности гибкого управления трафиком транспортной сети верхний и нижний уровни транспортной сети на узловых станциях (ТПУ) должны иметь возможность соединения.

7.1.2.2.4 Уровень соединения определяется при проектировании относительно плана распределения потоков и требований по надежности сети и выполняется: на физическом уровне (ROADM – возможность организации резервных оптических колец); канальном уровне (коммутатор – коммутатор Ethernet); сетевом уровне (маршрутизатор IP/MPLS); или на нескольких уровнях одновременно (первый, второй и третий уровни модели OSI в соответствии с пунктами 7.1.2.1.5, 7.1.2.1.6, 7.1.2.1.7 настоящих СТУ).

7.1.2.2.5 Для верхнего уровня транспортной сети следует предусматривать пространственное кольцо, в том числе, с использованием действующей сети связи ОАО «РЖД», для реализации функции резервирования и достижения заданных значений надежности транспортной сети.

7.1.2.3 Основные виды оборудования: общие технические требования, требования к оптическим параметрам различных видов оборудования.

7.1.2.3.1 Используемая аппаратура должна быть предназначена для работы в одном или нескольких из следующих спектральных диапазонах длин волн:

- коротковолновый (S-диапазон) от 1460 до 1529 нм;
  - основной (C-диапазон) от 1529 до 1560 нм;
  - длинноволновый (L-диапазон) от 1560 до 1625 нм,
- или на отдельных участках этих диапазонов.

7.1.2.3.2 Аппаратура по месту размещения в оптическом тракте должна быть выполнена как аппаратура оконечного, усилительного или транзитного пункта ВОЛП. Аппаратура в каждом из этих пунктов должна выполнять функции сетевого элемента (СЭ).

7.1.2.3.3 В аппаратуре должны быть предусмотрены функции контроля, управления, аварийной сигнализации и служебной связи.

7.1.2.4 Организация сети и требования к построению уровней – двухуровневой транспортной сети.

7.1.2.4.1 Аппаратура систем передачи со спектральным разделением каналов, устанавливаемая на верхнем уровне транспортной сети, должна относиться к классу оборудования с плотным волновым мультиплексированием – DWDM.

7.1.2.4.2 Количество спектральных каналов на верхнем уровне должно определяться относительно количества функционально различающихся сетей и требований заказчика.

7.1.2.4.3 При выборе оборудования DWDM (транспондеров) требуется определить необходимые скорости передачи информации из диапазона: 2.5, 10, 40/(100) Гбит/с.

7.1.2.4.4 Аппаратура систем передачи со спектральным разделением каналов, устанавливаемая на нижнем уровне транспортной сети, должна



относится к классу оборудования с грубым волновым мультиплексированием – CWDM.

7.1.2.4.5 Количество спектральных каналов на нижнем уровне должно определяться относительно количества функционально различающихся сетей и требований заказчика.

7.1.2.4.6 При выборе оборудования CWDM (транспондеров) требуется определить необходимые скорости передачи информации из диапазона: 1, 2.5, 10 Гбит/с.

7.1.2.4.7 В качестве оборудования, использующего спектральные каналы верхнего уровня транспортной сети, следует применять:

- маршрутизаторы, реализующие технологии MPLS, L3 VPN, IP-L3;

- мультиплексоры, реализующие технологии SDH (не менее STM-16), NG SDH.

7.1.2.4.8 В качестве оборудования, использующего спектральные каналы нижнего уровня транспортной сети, следует применять:

- коммутаторы, реализующие технологии L2/L3 VPN, Carrier Ethernet;

- мультиплексоры, реализующие технологии SDH (не менее STM - 4), NG SDH.

7.1.2.5 С целью обеспечения «прозрачности» использования ресурсов, унификации задач управления и масштабируемости транспортной сети должны назначаться волновые каналы для укрупненных групп потребителей, которые объединены в сети с самостоятельным функциональным назначением.

### **7.1.3 Интегральные сети оперативно-технологической связи и общетехнологической телефонной связи**

7.1.3.1 Обоснование выбора технологии организации сетей ОТС и ОБТС.

Сеть связи ВСЖМ-1 должна быть построена в виде мультисервисной сети. Для реализации мультисервисной сети ВСЖМ-1 должна быть использована перспективная технология IP/MPLS.

ОТС на базе технологии IP (ОТС-IP) должна обладать большой гибкостью, эффективно использовать резервные ресурсы. С помощью шлюзов должно осуществляться сопряжение ОТС-IP с существующей ОТС-TDM.

Виды оперативно-технологической связи, которые должны быть организованы: диспетчерские виды связи, поездная радиосвязь (ПРС), станционная распорядительная связь (СРС), связи совещаний, межстанционная связь (МЖС), перегонная связь (ПГС), аварийно-восстановительная связь (АВС), ремонтно-оперативная радиосвязь (РОРС), подсистема ЦИСОП. Конкретный перечень видов ОТС определяется проектом.

7.1.3.2 Особенности организации интегральной сети ОТС и ОбТС. Архитектура сети и ее основные элементы. Сигнализация и синхронизация в сети.

В интегральной сети для абонентов ОТС при обслуживании вызовов должны действовать приоритеты, исключающие потери вызовов для абонентов наиболее ответственных видов связи, или превышение нормы времени на установление соединения.

Система ОТС ВСЖМ-1 должна быть увязана с существующей системой оперативно-технологической связи ОАО «РЖД», дорожного центра управления перевозками (ДЦУП) и резервным центром управления, определяемым проектной документацией.

Система ОбТС ВСЖМ-1 должна быть оборудована системой учета переговоров (биллинга).

Интегральная сеть ОТС и ОбТС должна иметь встроенную систему мониторинга и администрирования и быть включена в Единую систему мониторинга и администрирования (ЕСМА) технологической связи ОАО «РЖД».

Интегральная сеть ОТС и ОбТС должна строиться на основе сети передачи данных технологического сегмента, использующей стек протоколов ТСП/IP (IP-сеть). Сеть передачи данных должна выполнять роль транспортной многопротокольной сети, обеспечивающей пересылку речевых пакетов и пакетов сигнализации между точками включения оборудования подсистем ОТС и ОбТС. Для подсистемы ОТС транспортная сеть должна обеспечить более высокие требования по надежности связи, пропускной способности, качеству передачи пакетов, информационной безопасности и обеспечению приоритетности при пересылке пакетов.

Сети ОТС, ОбТС и связи совещаний должны быть организованы отдельно, каждая на своем оборудовании.

Стыковка сети ОТС и ОбТС выполняется только для возможности выхода с ОТС на междугородний коммутатор.

В исключительных случаях допускается стыковка систем связи совещаний с сетью ОТС и ОбТС для организации конференций.

Не допускается применять аналоговые и ISDN абонентские устройства в сетях ОТС и ОбТС, за исключением станций с ответвлениями, на которых хотя бы один из видов связи – ПГС, МЖС, АВС – или парковая связь, организуются с помощью проводных систем связи с медным кабелем.

Допускается резервирование абонентских устройств для критически важных абонентов.

7.1.3.2.1 Интегральная сеть должна строиться с применением централизованной конференц-связи, используемой в подсистеме ОТС для диспетчерских видов связи и связи совещаний. Услуга конференц-связи также может предоставляться абонентам ОбТС.

7.1.3.2.2 В интегральной сети ОТС и ОбТС должны устанавливаться следующие соединения:

- в подсистеме ОТС: индивидуальные (с одним абонентом), групповые (с группой абонентов диспетчерского круга), циркулярные (со всеми абонентами диспетчерского круга);

- в подсистеме ОбТС: индивидуальные или с множеством абонентов в режиме конференц-связи.

7.1.3.2.3 К элементам интегральной сети ОТС и ОбТС относятся:

- сервер конференц-связи, служащий для образования аудиоконференций с множеством участников для диспетчерской связи и связи совещаний; используется только для ОТС-IP;

- прокси-сервер и сервер регистрации, служащие для обслуживания вызовов по стандартным процедурам протокола SIP внутри своей зоны и при соединениях между пользователями разных зон; используются для подсистем ОТС и для ОбТС;

- шлюз сопряжения с сетью IP нетипового оборудования (шлюз IP-НТО) на ВСЖМ-1 используется только для подсистемы ОТС для подключения специализированных линий, каналов и устройств в любом из следующих случаев: 1) на железнодорожных станциях с ответвлениями, на которых хотя бы один из видов связи – ПГС, МЖС, АВС – или парковая связь организуются с помощью проводных систем связи; 2) на железнодорожных станциях с аналоговыми ответвлениями диспетчерской связи;

- IP-УПАТС, предназначенная для включения пультов и телефонных аппаратов ОТС и ОбТС и обеспечивающая внутренние и внешние соединения; IP-УПАТС может использоваться отдельно для подсистем ОТС или ОбТС;

- шлюз сопряжения подсетей ОТС с коммутацией пакетов (ОТС-IP) и ОТС с коммутацией каналов (ОТС-TDM) (шлюз IP-TDM-ОТС); используется только для подсистемы ОТС;

- шлюз сопряжения подсетей ОбТС с коммутацией пакетов (ОбТС-IP) и ОбТС с коммутацией каналов (ОбТС-TDM) (шлюз IP-TDM-ОбТС); используется только для подсистемы ОбТС;

- шлюз абонентских линий, обеспечивающий подключение аналоговых телефонных аппаратов и ISDN-аппаратов ОТС и ОбТС к интегральной сети; может использоваться отдельно для подсистем ОТС и ОбТС; может быть выполнен в виде адаптера аналоговых телефонных линий;

- пользовательские терминалы сетей ОТС и ОбТС, к которым относятся: IP- и ISDN-пульты; аналоговые телефонные аппараты;

- коммутаторы и концентраторы локальных вычислительных сетей, служащие для пропуска и распределения пакетного трафика в сетях доступа интегральной сети ОТС и ОбТС.

С целью повышения надежности сети ОТС-IP требуется дублировать общесетевые устройства: сервер конференц-связи и прокси-сервер.

7.1.3.2.4 Сервер конференцсвязи должен позволять организовывать конференции для диспетчерских кругов и связи совещаний в

соответствующем районе подсети ОТС. Каждый диспетчерский круг жестко закреплен за одним сервером конференц-связи.

7.1.3.2.5 Количество прокси-серверов и серверов регистрации определяется размером и топологией интегральной сети ОТС и ОбТС.

7.1.3.2.6 Взаимодействие подсетей ОТС через шлюз IP-TDM-ОТС подразумевает взаимодействие со всеми типами коммутационных станций TDM, применяемых на железнодорожном транспорте, с сохранением функционала ОТС и в соответствии с «Рекомендациями по сопряжению разных типов цифровой аппаратуры ОТС-TDM с использованием ОКС-2005 г.».

7.1.3.2.7 В интегральной сети ОТС и ОбТС должна использоваться стандартная сигнализация на основе протокола SIP (Session Initiation Protocol, RFC 3261). По этому протоколу должны работать следующие элементы интегральной сети ОТС и ОбТС: прокси-серверы, серверы регистрации, IP-УПАТС, IP-пульты, шлюзы: IP-НТО, IP-TDM-ОТС, IP-TDM-ОбТС, шлюзы абонентских линий.

7.1.3.3 Организация интегральной сети ОТС и ОбТС для участков железной дороги со станциями разной абонентской емкости.

7.1.3.3.1 Организация интегральной сети ОТС и ОбТС определяется составом абонентов технологической связи и абонентской емкости станций железной дороги. Ниже приводится обязательный состав оборудования интегральной сети ОТС и ОбТС для железнодорожных станций разной классности.

7.1.3.3.2 В Центрах управления движением поездов должен быть следующий обязательный состав оборудования:

- прокси-сервер и сервер регистрации (для подсистем ОТС и ОбТС);
- сервер конференцсвязи (для подсистемы ОТС);
- IP-УПАТС, предназначенная для включения абонентов диспетчерской (включая ДСП) и станционной ОТС; в IP-УПАТС допускается включение абонентов ОбТС;
- терминалы диспетчерской и станционной ОТС: IP-пульты, ISDN-пульты, аналоговые телефонные аппараты;
- оборудование подсистемы ОбТС разной комплектации, в которые могут входить: IP-УПАТС, шлюзы абонентских линий, шлюзы IP-TDM-ОбТС;
- коммутаторы и концентраторы ЛВС.

7.1.3.3.3 На внеклассной или на станции первого класса должен быть следующий обязательный состав оборудования:

- прокси-сервер и сервер регистрации (для подсистем ОТС и ОбТС); серверы устанавливаются, если данная железнодорожная станция не входит в зону действия прокси-сервера и сервера регистрации, установленных в Центре управления движением поездов;
- сервер конференц-связи (для подсистемы ОТС); сервер устанавливается, если данная железнодорожная станция не входит в зону

действия сервера конференц-связи, установленного в Центре управления движением поездов;

- IP-УПАТС, предназначенная для включения абонентов диспетчерской (включая ДСП) и станционной ОТС; допускается включение абонентов ОБТС;

- терминалы диспетчерской и станционной ОТС: IP-пульты, ISDN-пульты, аналоговые телефонные аппараты;

- оборудование подсистемы ОБТС разной комплектации, в которые могут входить: IP-УПАТС, шлюзы абонентских линий, шлюзы IP-TDM-ОБТС;

- коммутаторы и концентраторы ЛВС.

7.1.3.3.4 На станции первого или второго класса должен быть следующий обязательный состав оборудования:

- IP-УПАТС, предназначенная для включения абонентов диспетчерской (включая ДСП) и станционной ОТС; допускается включение абонентов ОБТС; данная IP-УПАТС может быть не на всех станциях второго класса;

- терминалы диспетчерской и станционной ОТС: IP-пульты, ISDN-пульты, аналоговые телефонные аппараты;

- оборудование подсистемы ОБТС разной комплектации, в которые могут входить: IP-УПАТС, шлюзы абонентских линий, шлюзы IP-TDM-ОБТС;

- коммутаторы и концентраторы ЛВС.

На станции данного класса может быть установлена IP-УПАТС, предназначенная для включения абонентов диспетчерской (включая ДСП) и станционной ОТС; в IP-УПАТС допускается включение абонентов ОБТС.

7.1.3.3.5 На станции ниже второго класса должен быть следующий обязательный состав оборудования:

- на некоторых станциях третьего класса может быть установлена IP-УПАТС, предназначенная для включения абонентов диспетчерской (включая ДСП) и станционной ОТС; допускается включение абонентов ОБТС;

- терминалы диспетчерской и станционной ОТС: IP-пульты, ISDN-пульты, аналоговые телефонные аппараты.

7.1.3.3.6 Шлюзы IP-TDM-ОТС и IP-TDM-ОБТС устанавливаются на тех станциях, где требуется переход между системами с коммутацией каналов и пакетов. Это преимущественно станции второго и более высокого класса. Места установки шлюза IP-TDM-ОТС должны быть определены проектом.

7.1.3.3.7 Шлюзы IP-НТО устанавливаются на станциях в тех случаях, которые предусмотрены в пункте 7.1.3.2.3 настоящих СТУ.

7.1.3.4 Требования к техническим средствам организации интегральной сети ОТС и ОБТС и сопряжения ОТС-IP с существующими сетями ОТС-TDM, требования к алгоритмическому обеспечению

7.1.3.4.1 На ВСЖМ-1 перегонная (ПГС) и аварийно-восстановительная (АВС) связи могут быть организованы на основе зонового ВОК по

технологии PON или WDM или на основе сети СПД и IP-ОТС при условии соблюдения требований в части размещения колонок перегонной связи. В качестве резервного способа организации АВС, ПГС могут применяться системы беспроводной связи стандарта GSM-R и/или RPPC.

Обслуживание вызовов для ПГС и АВС должно быть обеспечено с абсолютным приоритетом (при отсутствии свободных каналов связи допускается прерывание соединений для вызовов с низким приоритетом). Для ПГС должно быть предусмотрено ведение одновременно не менее двух телефонных разговоров работниками, находящимися на перегонах.

На ВСЖМ-1 поездная межстанционная связь (МЖС) должна быть организована с помощью интегральной сети ОТС и ОбТС. Соединения должны устанавливаться с абсолютным приоритетом и фиксацией принятого вызова.

На ВСЖМ-1 парковая связь должна быть организована с помощью станционных систем беспроводной связи.

7.1.3.4.2 В подсистеме ОТС-IP передача речи должна происходить в режиме конференц-связи (диспетчерская связь и связь совещаний) или по индивидуальным каналам (станционная связь, МЖС, ПГС, АВС).

7.1.3.4.3 Требования к оборудованию интегральной сети ОТС и ОбТС.

Сервер конференц-связи должен быть реализован на базе существующих аппаратных и программных средств. В сервере должна быть предусмотрена передача речи с приоритетом от диспетчера (когда говорит диспетчер, сервер игнорирует потоки речевых пакетов от абонентов своего круга). Сервер может иметь разное аппаратное исполнение: специализированный компьютер, отдельный узел IP-УПАТС или отдельное устройство.

Прокси-сервер (SIP-сервер) является стандартным оборудованием, работающим с протоколом SIP. Этот сервер необходим для управления процессами обслуживания вызовов в сетях ОТС-IP и ОбТС-IP. SIP-сервер должен обеспечить приоритетное обслуживание вызовов с разными характеристиками дисциплин обслуживания: с потерей (для абонентов ОбТС), с ожиданием (для части абонентов ОТС), для абонентов ПДС и ЭДС вызовы должны обслуживаться без потерь и без ожидания. С помощью SIP-сервера должно быть реализовано логическое разделение подсистем ОТС-IP и ОбТС-IP.

Сервер регистрации (SIP-регистратор) необходим для регистрации пользователей подсистем ОТС и ОбТС. Регистрация позволяет пользователям подсистем ОТС-IP и ОбТС-IP получать доступ к услугам интегральной сети.

Шлюз IP-НТО должен представлять собой специализированное устройство, для которого должны быть выполнены аппаратные и программные разработки.

Шлюз IP-TDM-ОТС функционально является преобразователем сигнализаций, используемых в подсистемах ОТС-TDM и ОТС-IP. Он также должен выполнять функции преобразования интерфейсов каналов E1 и Ethernet. Шлюз может быть выполнен либо в виде специализированного

устройства, либо на базе существующей IP-УПАТС. В первом случае должны быть проведены аппаратные и программные разработки, а во втором – только программные разработки, направленные на преобразование систем сигнализации IP/TDM.

Шлюз IP-TDM-ОбТС является стандартным оборудованием, выполняющим:

- преобразование сигнализации по протоколу SIP в стандартные системы сигнализации сетей TDM: QSIG, DSS1, EDSS1, ОКС 7;

- преобразование интерфейсов каналов E1 и Ethernet.

В системе ОТС-IP должны использоваться стандартные IP-пульта, в которые должно быть добавлено устройство раздельного подключения микрофона и телефона, включая тангенту или педали у диспетчера.

В интегральной сети ОТС и ОбТС должны устанавливаться IP-УПАТС, предназначенные, в первую очередь, для включения пультов ДСП и других терминалов диспетчерской связи. IP-УПАТС должна обеспечивать регистрацию разговоров, осуществляемых ДСП.

При выборе оборудования IP-ОТС должно отдаваться предпочтение оборудованию отечественного производителя с подтверждением соответствующими сертификатами соответствия.

Для крупных станций сети IP-ОТС может быть предусмотрено пространственное резервирование, в том числе на рокадных направлениях.

Архитектура крупной станции сети IP-ОТС должна быть реализована на отказоустойчивой серверной платформе с применением резервирования и возможностью подключения сети ВСТСПД.

IP-УПАТС должна поддерживать реализации требований приказов № 268 (СОПМ-1), № 573 (СОПМ-3), № 374-ФЗ (закон Яровой) и № 488-ФЗ (единый номер «112»).

Шлюз IP-НТО может быть выполнен как в виде специализированного устройства, так и на базе соответствующих элементов существующей IP-УПАТС.

IP-УПАТС должна обеспечивать регистрацию разговоров, осуществляемых ДСП, а также абонентов определенных владельцев инфраструктуры.

7.1.3.5 Требования к качеству передачи речи в интегральной сети.

7.1.3.5.1 Качество передачи речи в интегральной сети ОТС и ОбТС оценивается интегральным показателем – R-фактором, который рассчитывается с помощью E-модели. На основе R-фактора определяется субъективный показатель качества передачи речи – MOS.

7.1.3.5.2 В качестве нормы качества передачи речи в интегральной сети ОТС и ОбТС предлагается принять значение MOS не менее 3,6, что, по оценке MOS, соответствует средней категории качества передачи речи.

7.1.3.5.3 Чтобы достигнуть качества передачи речи не ниже средней категории ( $MOS \geq 3,6$ ), пакетные сети ОТС необходимо строить на базе серверов конференц-связи с адаптивными сумматорами. В разговорных трактах диспетчерских кругов лучше использовать кодеки G.711, что

позволит почти всегда получить качество высокой или самой высокой категории.

#### **7.1.4 Сети передачи данных технологического сегмента**

7.1.4.1 Общие требования к организации сетей передачи данных.

7.1.4.1.1 Выделяются следующие виды сетей передачи данных:

- высокоскоростная технологическая СПД (ВСТСПД);
- сети передачи данных общетехнологического назначения (СПД ОБТН);
- сети передачи данных оперативно-технологического назначения (СПД ОТН).

7.1.4.1.2 ВСТСПД ОАО «РЖД» должна обеспечивать надежную, оперативную и защищенную передачу информации между пользователями информационных систем ОАО «РЖД», подключенных к ВСТСПД, и обеспечение их доступа к ресурсам информационно-вычислительных систем ОАО «РЖД».

7.1.4.1.3 СПД ОБТН должна обеспечивать передачу данных, непосредственно не связанных с безопасностью и своевременностью железнодорожных перевозок, для организации взаимодействия информационных систем различных подразделений и служб ВСЖМ-1.

7.1.4.1.4 ВСТСПД должна обеспечивать передачу данных по выделенным каналам связи для каждой информационно-управляющей системы (ИУС), предъявляющей повышенные требования по показателям оперативности, достоверности и надежности.

7.1.4.1.5 К сетям в составе ВСТСПД должны быть отнесены следующие системы и сети:

- общетехнологической связи (IP ОБТС);
- оперативно-технологической связи (IP ОТС);
- поездной радиосвязи (IP ПРС);
- цифровая система технологической радиосвязи стандарта GSM-R (ЦСТР GSM-R);
- централизованная интегрированная система информирования пассажиров, оповещения работающих на железнодорожных путях и парковой станционной связи (ЦИСОП);
- система единого времени (СЕВ);
- система документированной регистрации переговоров (СДРП);
- технологического видеонаблюдения аппаратных.

7.1.4.2 Архитектура СПД и принципы выделения ресурсов различным клиентам.

ВСТСПД должна строиться с применением в качестве технологий IP и Ethernet, иметь иерархическую структуру с выделением трех уровней:

- транспортный уровень;
- уровень агрегации;
- уровень доступа.



Транспортный уровень образуют региональные узлы (РУ) и транзитно-периферийные (ТПУ) узлы ВСТСПД. В качестве среды передачи должна использоваться система с волновым уплотнением DWDM или отдельные волокна магистрального волоконно-оптического кабеля.

Уровень агрегации образуют периферийные узлы (ПУ) с терминированием их трафика на узлах ТПУ. В качестве среды передачи должна использоваться система с волновым уплотнением CWDM или отдельные волокна зонного волоконно-оптического кабеля.

Уровень доступа образует оборудование ВСТСПД, размещаемое на узлах РУ, ТПУ, ПУ или оконечных узлах (ОУ), в случае размещения оборудования клиентских сетей в сторонних служебно-технических зданиях в пределах станции. В качестве среды передачи должен использоваться медный кабель категории не ниже 5е или волоконно-оптический кабель. С целью гибкого предоставления пропускной способности и изолирования друг от друга трафика клиентских сетей должны применяться технологии VLAN и MPLS.

7.1.4.2.1 Для разделения зон ответственности между ВСТСПД и клиентскими сетями передачи данных сторонних подразделений ВСЖМ-1 в случае их подключения должно предусматриваться в узлах присоединения применение технологий L2/L3 VPN и MPLS.

7.1.4.3 Организация физической и логической структуры СПД.

7.1.4.3.1 Пропускная способность на транспортном уровне ВСТСПД должна быть не ниже 10 Гбит/с, на уровне агрегации не ниже 1 Гбит/с.

7.1.4.3.2 Физическая структура сети должна соответствовать выделенным иерархическим уровням ВСТСПД с применением отдельного оборудования на каждом уровне.

7.1.4.3.3 Физическая структура на транспортном уровне и уровне агрегации должна обеспечивать возможность резервирования маршрутов передачи трафика.

7.1.4.3.4 Должна быть предусмотрена организация логических структур клиентских сетей, реализуемых с использованием ресурсов сети ВСТСПД.

7.1.4.3.5 При модернизации местных кабельных линий связи на станциях должна обеспечиваться поддержка кольцевой топологии кампусной сети с применением волоконно-оптического кабеля на уровне доступа.

7.1.4.4 Формирование и распределение IP-адресных пространств.

7.1.4.4.1 Адресные пространства ВСТСПД и клиентских сетей ВСТСПД должны быть непересекающимися и находиться в едином адресном диапазоне, администрируемом ЦСС.

7.1.4.4.2 Для сети ВСТСПД должно быть предусмотрено применение следующих диапазонов IP-адресов:

- технологический (для реализации функций мониторинга и администрирования, а также обеспечения передачи служебной информации);
- транспортный (для организации подключений к маршрутизаторам MPLS);
- абонентский (для организации подключений клиентских сетей).

7.1.4.5 Требования к интерфейсам передачи данных, видам протоколов маршрутизации, технологиям приоритизации трафика, технологиям резервирования маршрутов передачи данных, механизмам передачи трафика между различными сетями передачи данных.

7.1.4.5.1 Для организации ВСТСПД должны использоваться стандартизованные интерфейсы технологии Ethernet.

7.1.4.5.2 При подключении к системам xWDM использовать соответствующие интерфейсы со спектральным разделением длин волн.

7.1.4.5.3 Для построения унифицированной ВСТСПД требуется использовать стандартизованные технологии и открытые протоколы.

7.1.4.5.4 Маршрутизаторы должны поддерживать протокол динамической маршрутизации IP пакетов OSPF.

7.1.4.5.5 Для обеспечения показателей качества предоставляемых услуг связи должна быть предусмотрена реализация механизмов приоритизации трафика по критериям: вид трафика (служебный, речь, видео, данные), тип клиента.

7.1.4.5.6 Состав и архитектура подсистемы защиты информации определяются в ходе работ, регламентированных требованиями правовых и нормативных документов в области обеспечения информационной безопасности и обеспечения безопасности объектов КИИ, действующих в Российской Федерации и ОАО «РЖД». Разработку и внедрение Подсистемы ЗИ Системы должна осуществлять организация - разработчик, обладающая необходимыми лицензиями ФСБ России и ФСТЭК России.

7.1.4.5.7 В узлах межсетевого взаимодействия в целях обеспечения информационной безопасности должны быть предусмотрены аппаратные или встроенные программные средства экранирования трафика.

7.1.4.6 Требования к системе управления СПД ЦСС

7.1.4.6.1 ВСТСПД должна иметь встроенную систему мониторинга и администрирования, быть включена в Единую систему мониторинга и администрирования (ЕСМА) технологической связи ОАО «РЖД».

7.1.4.7 Требования по проектированию IP-MPLS сети MBH (Mobile Backhaul) для базовых станций.

7.1.4.7.1 Для организации СПД для базовых станций eNodeB необходимо предусмотреть выделенную сеть.

7.1.4.7.2 Сеть синхронизации на базе MBH должна иметь отдельный дизайн.

7.1.4.7.3 Сигналы синхронизации должны передаваться между маршрутизаторами конечных узлов напрямую.

## **7.1.5 Сеть тактовой синхронизации и система точного времени**

7.1.5.1 Требования к временному и частотному обеспечению различных видов оборудования.

7.1.5.1.1 Сеть ТСС должна обеспечивать установление и поддержание определенного значения тактовой частоты цифровых сигналов в цифровых

сетях связи ВСЖМ-1, которые служат для цифровой коммутации, транзита и синхронного объединения цифровых потоков информации.

7.1.5.1.2 Сеть ТСС должна обеспечивать устойчивую работу всех задающих генераторов, установленных на сетях связи ВСЖМ-1.

7.1.5.1.3 Сеть ТСС должна синхронизироваться от ПЭГ и предоставлять сигнал синхронизации сетям связи ВСЖМ-1, нуждающимся в сигналах тактовой синхронизации.

7.1.5.1.4 Формирование сети ТСС ВСЖМ-1 должно осуществляться по принципу принудительной иерархической синхронизации элементов сетей связи.

7.1.5.1.5 Структура сети ТСС должна представлять собой территориально распределенный комплекс технических средств, включающий:

- источники сигналов синхронизации;
- элементы восстановления, поддержания и распределения сигналов синхронизации;
- системы передачи и линии связи, посредством которых обеспечивается доставка сигналов синхронизации до элементов сетей связи;
- систему управления сетью ТСС.

7.1.5.1.6 Требования к качеству сигналов синхронизации в ТСС должны задаваться к выделенным группам устройств: требования к сигналам синхронизации на выходе ПЭГ, на входе и выходе ВЗГ, БСС коммутационных станций, СЭ СЦИ.

7.1.5.1.7 Оборудование MBH IP-MPLS должно поддерживать фазовую синхронизацию 1588v.2 профиль G.8271.1.

7.1.5.1.8 Количество необходимых источников временной и фазовой синхронизации должно быть определено при проектировании.

7.1.5.2 Организация сети синхронизации.

7.1.5.2.1 Архитектура сети ТСС должна представлять собой иерархическую четырехуровневую структуру, поддерживающую режим принудительной синхронизации и должна обеспечивать формирование, передачу, поддержание и восстановление заданных значений стабильности и точности синхронизации на всех интерфейсах сети.

7.1.5.2.2 В случае применения на сети оборудования, реализующего канальный уровень на основе технологии Ethernet, требуется предусмотреть синхронизацию с применением технологии Synchronous Ethernet.

7.1.5.2.3 Оборудование верхнего уровня транспортной сети, реализующее канальный уровень OSI на основе технологии Carrier Ethernet, должно иметь в составе две активные платы синхронизации (основную и резервную), обеспечивающие функции контроля наличия сигнала синхронизации, переключения на другой вход синхронизации, запоминания частоты и удержания частоты; фильтрации высокочастотных дрожаний; синтеза сетки частот. При этом каждая плата линейного выхода РНУ Eth должна содержать ЦФАПЧ и работать в ведомом режиме по отношению к активной плате синхронизации; оборудование должно принимать,

обрабатывать и формировать сообщения от Ethernet Synchronization Message Channel (ESMC) PDU для определения статуса сигнала синхронизации.

7.1.5.2.4 Проектом должна быть предусмотрена схема сети синхронизации по принципу «ведущий – ведомый» с выделением источника эталонного сигнала и размещением устройств разветвления сигналов синхронизации.

7.1.5.2.5 Оборудование нижнего уровня транспортной сети, реализующее канальный уровень OSI на основе технологии (Carrier) Ethernet может иметь в своем составе одну активную плату синхронизации, при этом синтезатор этой платы должен формировать различные номиналы частот, необходимые коммутационному оборудованию 8 кГц, 2,048 МГц.

7.1.5.3 Организация системы единого времени – структура сети, виды оборудования, требования к ним

Система единого времени (СЕВ) создается с целью синхронизации во времени всех технологических процессов. Она должна принимать, хранить, распространять и выдавать потребителям сигналы времени с точностью, соответствующей шкале координатного времени UTC (SU) Государственного первичного эталона единиц.

7.1.5.3.1 В качестве нулевого уровня должны использоваться первичный и вторичные государственные эталоны времени и частоты.

7.1.5.3.2 Уровень 1 должен быть выполнен на основе первичного сервера времени, который должны включать приемники сигналов ГЛОНАСС и обеспечивать формирование частотно-временных сигналов.

7.1.5.3.3 Должно быть предусмотрено территориально разнесенное размещение на сети резервного первичного сервера времени для реализации функций резервирования.

7.1.5.3.4 Перечень выходных интерфейсов частотно-временных сигналов, реализуемых протоколов, их количество и типы определяются на этапе проектирования исходя из потребностей потребителей и типового перечня: NTP, RTP, IRIG, NMEA, TOD, 1PPS, 10 МГц, 2,048 МГц/2,048 Мбит/с.

7.1.5.3.5 При условии большого количества потребителей сигналов точного времени (более 10 000) требуется предусмотреть возможность размещения вторичного/вторичных серверов времени.

## **7.1.6 Требования к единой системе мониторинга сети связи (ЕСМА)**

7.1.6.1 ЕСМА должна осуществлять:

- мониторинг состояния сети связи: узлов связи, каналов связи, оборудования;
- управление сетевым оборудованием;
- отображение оборудования связи и связей между ними на географической карте;
- обеспечение бесперебойной работы на узлах связи в различных режимах;
- индикация аварий на мнемосхеме сети;

– формирование журналов: аварий, действий пользователей системы, переключений режимов работы.

7.1.6.2 ЕСМА должна представлять собой централизованную автоматизированную систему, консолидирующую информацию о состоянии сети связи, и функционировать на существующем комплексе производственных систем владельца связевой инфраструктуры ОАО «РЖД», предназначенных для поддержания сети в работоспособном состоянии. ЕСМА должна быть реализована на базе комплекса производственных систем управления хозяйством связи ОАО «РЖД».

7.1.6.3 В комплекс ЕСМА должны входить:

– система мониторинга сервисов контроля сетей связи (далее – СМС КСС), которая осуществляет мониторинг оборудования и предоставляемых каналов связи;

– система оперативного контроля и управления технологическими сетями связи (далее – ОУТ СС), которая осуществляет управление производственными процессами эксплуатации инфраструктуры хозяйства связи в части мониторинга оборудования и предоставляемых каналов связи, проведения аварийно-восстановительных и предупредительных работ, управление оказанием телекоммуникационных услуг;

– подсистема, осуществляющая автоматизацию планирования мероприятий и работ по плановому обслуживанию разнородного оборудования и контроля исполнения этих работ, управления человеческими ресурсами, построения отраслевой отчетности.

Указанные системы должны автоматизировать следующие процессы управления сетями связи:

- управление инцидентами,
- управление проблемами,
- управление изменениями,
- управление доступностью,
- управление непрерывностью,
- управление конфигурациями,
- управление мощностью,
- управление уровнем сервиса,
- управление затратами.

7.1.6.4 В целях реализации ЕСМА ВСЖМ-1 должны быть обеспечены следующие функциональности.

7.1.6.4.1 Должен быть реализован модуль мониторинга сетей связи ВСЖМ-1 системы СМС КСС, включающий функциональности:

– функциональность автоматического сбора и ведения структурированного учета событий и аварийных ситуаций на сетях связи ВСЖМ-1, своевременного оповещения о данных событиях и аварийных ситуациях в полнофункциональном едином интерфейсе диспетчера и на мнемосхемах модуля управления системами связи ВСЖМ-1;

- функциональность автоматического сбора инвентаризационной информации с оборудования связи ВСЖМ-1 с автоматической регистрацией в базе учета конфигурационных единиц;

7.1.6.4.2 Должен быть реализован модуль управления сетями связи ВСЖМ-1 системы ОУТ СС, включающий функциональности:

- функциональность управления инцидентами, проблемами, изменениями, непрерывностью на ВСЖМ-1 с функциями:

- автоматической регистрации в системе входящей мониторинговой информации, поступающей из систем управления или от оборудования сети связи ВСЖМ-1;

- автоматической регистрации событий;

- формирования листов регистрации инцидентов, запросов на изменение, проблем, обращений клиентов, руководящих и горизонтальных обращений на ВСЖМ-1;

- отображения состояния сети связи на ВСЖМ-1 в полнофункциональном едином интерфейсе диспетчера;

- функциональность централизованного управления мастер-данными хозяйства связи на ВСЖМ-1 с функциями очистки, нормализации, дедупликации, консолидации и унификации данных;

Функциональность учета конфигурационных единиц хозяйства связи ВСЖМ-1 с функциями:

- управления конфигурационных единиц оборудования с помощью конструктора;

- управления конфигурационных единиц каналов связи с помощью конструктора;

- возможности постановки конфигурационных единиц на мониторинг;

- функциональность управления сервисным каталогом телекоммуникационных услуг, оказываемых на ВСЖМ-1, с функциями создания, редактирования, активации/деактивации и удаления услуг связи;

- функциональность управления заказами на предоставление телекоммуникационных услуг, оказываемых на ВСЖМ-1, с функциями автоматизированного управления жизненным циклом заказов, экземпляров услуг и нарядов;

- функциональность визуального мониторинга объектов телекоммуникационной инфраструктуры ВСЖМ-1, с функциями создания, редактирования, удаления и воспроизведения мнемосхем для графического отображения информации, в том числе на географической карте;

- функциональность автоматического построения топологии и иерархии сетевого оборудования ВСЖМ-1 на основании данных, получаемых из системы мониторинга;

- функциональность мониторинга оборудования сети связи ВСЖМ-1 с функциями управления созданных в конструкторе обработчиков входящей мониторинговой информации с возможностью привязки к объектам мониторинга, заведенных в базе учета конфигурационных единиц;

- функциональность мониторинга качества инфраструктурных сервисов ВСЖМ-1 с функциями управления созданных в конструкторе обработчиков входящей мониторинговой информации с возможностью привязки к объектам мониторинга, заведенных в базе учета конфигурационных единиц;

- функциональность управления аварийно-восстановительными, предупредительными и плановыми работами на объектах ВСЖМ-1, доступная в мобильном приложении системы оперативного контроля и управления технологическими сетями связи.

7.1.6.4.3 Должен быть реализован модуль планирования работ на сетях связи ВСЖМ-1 системы ЕСМА, включающий:

- функциональность планирования и контроля выполнения плановых регламентных работ с функциями:

- автоматизированного годового планирования работ графика технологического процесса (ГТП) на сетях связи ВСЖМ-1 в соответствии с картами технологического процесса (КТП);

- автоматической генерацией листов регистрации работ графика технологического процесса;

- автоматического контроля выполнения работ графика технологического процесса;

- функциональность суточного планирования работ на сетях связи ВСЖМ-1 ремонтно-восстановительных бригад с функциями:

- автоматической генерации суточных планов работ в соответствии с нормами трудового законодательства;

- автоматизированного перепланирования состава работ по результатам ручных корректировок;

- автоматического учета рабочего времени сотрудников при выполнении работ;

- автоматического формирования отчетности по результатам фактического выполнения работ.

7.1.6.4.4 Должен быть реализован модуль контроля использования автотранспорта хозяйства связи на ВСЖМ-1, включающий:

- функциональность учета автотранспорта, закрепленного за структурными подразделениями, в части расхода топлива и горюче-смазочных материалов, прохождения технических осмотров и ремонтов, планирования сроков и стоимости страхования;

- функциональность мониторинга дислокации автотранспорта в части учета навигационных терминалов с привязкой к автотранспорту, сбора и обработки событий о движении автотранспорта, выявление несанкционированных маршрутов;

- функциональность автоматического формирования путевых листов.

7.1.6.4.5 Должен быть реализован модуль формирования итогового рейтинга структурных подразделений на сетях связи ВСЖМ-1 системы ЕСМА, включающий функциональность формирования итогового рейтинга структурных подразделений с учетом качественных показателей работы на объектах ВСЖМ-1.

7.1.6.4.6 Должен быть реализован модуль формирования стандартизированной отчетности на сетях связи ВСЖМ-1 системы ЕСМА, включающий:

- функциональность формирования годовой автоматизированной внутренней статистической отчетности ШО-5 (Связь) «Отчет о показателях объема работ хозяйства связи» с учетом оборудования ВСЖМ-1;
- функциональность формирования внутренней статистической отчетности ОАО «РЖД» АГО-5 (Связь) ЭТД «Отчет о наличии основных средств хозяйства связи» с учетом оборудования ВСЖМ-1;
- функциональность формирования нормативно-целевого бюджета затрат хозяйства связи на сетях связи ВСЖМ-1;
- функциональность автоматизированной оценки уровня надежности работы оборудования в границах участка сети связи (методология УРРАН) на объектах ВСЖМ-1».

### **7.1.7 Электроснабжение устройств проводной электросвязи**

#### **7.1.7.1 Требования к источникам электроснабжения.**

7.1.7.1.1 Электроснабжение устройств проводной железнодорожной электросвязи должно производиться от двух независимых фидеров как электроприемников первой категории, особой группы. Электроснабжение электроприемников особой группы первой категории должно осуществляться от трех независимых взаиморезервируемых источников.

7.1.7.1.2 Электроснабжение аппаратуры связи должно осуществляться от шины гарантированного питания вводной панели, к которой подведены два фидера электроснабжения.

7.1.7.1.3 В качестве третьего независимого источника может быть предусмотрена либо аккумуляторная батарея, обеспечивающая не менее 8 часов непрерывной работы при пропадании электроснабжения по внешним фидерам, либо стационарная ДГУ. При использовании в качестве третьего источника АКБ должна быть предусмотрена возможность использования возимой электростанции, которая может быть доставлена и запущена в работу в течение не более восьми часов. При наличии стационарной ДГУ для обеспечения бесперебойности должна предусматриваться АКБ, обеспечивающая не менее 2 часов непрерывной работы при пропадании электроснабжения по внешним фидерам.

7.1.7.2 Должен быть обеспечен учет электроэнергии с возможностью работы устройств в составе АСКУЭ.

Должны использоваться приборы учета энергоресурсов повышенного класса точности со встроенными интерфейсами связи для передачи накопленной информации.

#### **7.1.7.3 Требования к защите УП и входящего в ее состав оборудования.**

7.1.7.3.1 Должны быть использованы средства мониторинга и диспетчеризации низковольтных распределительных сетей на основе внедрения системы измерения токов, что позволит обеспечить повышение безопасности и эффективности эксплуатации распределительных сетей



0,4 кВ и даст возможность анализировать потребление каждой нагрузки распределительной системы с целью увеличения эффективности потребления электроэнергии.

7.1.7.3.2 Стабилизаторы напряжения должны иметь интерфейс управления. Тип интерфейса управления согласуется с заказчиком..

7.1.7.3.3 Электропитание устройств проводной электросвязи должно обеспечиваться от источников бесперебойного питания (ИБП) и электропитающих установок постоянного тока (ЭПУ), имеющих в своем составе аккумуляторные батареи.

7.1.7.3.4 Электропитающие установки должны состоять из выпрямительных модулей с номинальным напряжением минус 48 В и буферной аккумуляторной батареей.

7.1.7.3.5 Резервирование выпрямительных модулей проектируемых ЭПУ должно осуществляться по схеме N+1.

7.1.7.3.6 Аккумуляторные батареи должны состоять из герметизированных необслуживаемых аккумуляторов.

7.1.7.3.7 Номинальная емкость аккумуляторных батарей определяется десятичасовым режимом разряда до конечного напряжения 1,8 В на элемент при температуре 20°C (если иное не рекомендуется производителем).

7.1.7.3.8 Должна быть предусмотрена защита аккумуляторной батареи от ее чрезмерного заряда или разряда.

7.1.7.3.9 Должна быть предусмотрена система диагностики и мониторинга оборудования электропитания на узлах связи.

7.1.7.3.10 Контроль состояния вводно-распределительных устройств электроснабжения железнодорожной электросвязи и приборов учета электроэнергии должен быть включен в Единую систему мониторинга и администрирования сетей технологической связи ОАО «РЖД».

## **7.2 Кабельные линии связи**

### **7.2.1 Общие требования к перспективным кабельным линиям**

7.2.1.1 Организация связи на основе кабельных линий связи должна осуществляться с применением двух волоконно-оптических кабелей, разнесенных по разным сторонам пути, и, в обоснованных случаях, с применением третьего кабеля, проложенного по отдельной трассе.

7.2.1.2 Прокладка кабельных линий должна быть выполнена одним из следующих способов: а) непосредственно в грунт; б) в кабельных лотках; в) в кабельной канализации; г) по искусственным сооружениям (мостам, тоннелям, путепроводам) или в них. Способы прокладки представлены в порядке убывания приоритета выбора. Выбор способа прокладки с меньшим приоритетом возможен при отсутствии возможности осуществления способа прокладки более высокого приоритета.

В обоснованных случаях на участках со скоростями движения до 200 км/ч допускается использование подвески на опорах.

7.2.1.3 Магистральные и зоновые кабельные линии должны строиться с применением исключительно волоконно-оптических кабелей связи.

7.2.1.4 Для обеспечения устойчивости функционирования сетей связи в проекте должна быть предусмотрена возможность использования ВОЛП из числа существующих на сетях связи ОАО «РЖД», линейный тракт которой территориально разнесен с трассой проектируемой магистральной линии связи ВСЖМ-1.

## **7.2.2 Волоконно-оптические кабельные линии связи**

7.2.2.1 Кабельные линии для систем передачи со спектральным разделением.

7.2.2.1.1 Общие требования к волоконно-оптическим кабелям:

- тип волоконно-оптических кабелей (ВОК) должен определяться схемой организации связи;

- выбор марок ВОК необходимо производить в зависимости от способов прокладки и условий эксплуатации в соответствии с нормативными документами на их изготовление;

- длина элементарных кабельных участков и кабельных секций на кабельных линиях должна определяться в соответствии с техническими характеристиками используемых xWDM транспондеров, с учетом затухания сигнала в оптическом волокне, хроматической, поляризационно-модовой дисперсии и нелинейных эффектов в WDM-системах.

7.2.2.1.2 Выбор типов оптических волокон:

- для зоновых кабелей, для которых предполагается протяженность элементарных кабельных участков не более 80 км с применением технологии CWDM, используются оптические волокна, соответствующие рекомендациям МСЭ-Т G.652 C, D;

- для магистрального кабеля, для которого предполагается протяженность кабельных секций до 300 км с применением технологии DWDM и скоростями передачи 1, 2,5, 10, 40 Гбит/с, выбор типа оптических волокон должен осуществляться на основе комплексного анализа протяженности участка, скоростей передачи информации и рекомендаций производителей по соответствующим типам волокон. Типы оптических волокон для выбора должны соответствовать рекомендациям МСЭ-Т G.652 C, D или МСЭ-Т G.655 A-E.

7.2.2.1.3 Количество оптических волокон в оптическом кабеле должно определяться с учетом: технологических потребностей высокоскоростной железнодорожной магистрали в скоростях передачи информации на участке железной дороги, перспектив роста трафика, вида выбранной технологии xWDM, числа спектральных каналов, формируемых выбранным типом оборудования xWDM.

7.2.2.2 Двухкабельная волоконно-оптическая линия с разделением на магистральную и зонную составляющие.

7.2.2.2.1 Организация кабельных линий сети связи должна выполняться с применением двух волоконно-оптических кабелей – магистрального и

зонового, проложенных по разным сторонам пути, а также с возможностью прокладки третьего волоконно-оптического кабеля при соответствующем обосновании.

7.2.2.2.2 Для передачи данных от устройств технических средств охраны (ТСО), расположенных на перегоне, в ситуационный центр проектом должен быть предусмотрен волоконно-оптический кабель, проложенный по отдельной трассе; при наличии соответствующего обоснования может быть проложен второй кабель для нужд ТСО.

7.2.2.3 Кабельные линии для организации перегонной связи на основе волоконно-оптического кабеля.

Организация оперативно-технологических видов связи на перегоне, а также для подключения представителей органов государственного управления в ЧС (ФСО, МЧС), должна быть выполнена на основе зонового ВОК с монтажом оконечного оборудования на перегонах для обеспечения возможности связи с ближайшими станциями, ограничивающими перегон.

### **7.2.3 Местные и объектовые кабельные сети связи**

#### **7.2.3.1 Кабельные линии местной связи на станциях.**

Местная кабельная сеть в условии нового строительства объектов ВСЖМ-1 должна выполняться как структурированная кабельная система (СКС) групп абонентов в зданиях на станции с применением оптического кабеля между зданиями. При этом размер локально охватываемого объекта не должен превышать площадь диаметром до 3000 м при полезной площади обслуживания до 1 000 000 м<sup>2</sup> и количестве пользователей до 50 000.

7.2.3.2 Требования к структурированным кабельным системам (СКС) в служебных зданиях и группах зданий на станциях.

##### **7.2.3.2.1 Требования к структуре СКС и ее составляющим**

7.2.3.2.1.1 Категория проектируемой СКС должна быть не ниже 5е (определить проектом).

7.2.3.2.1.2 СКС должна включать магистральную (вертикальную) и распределительную (горизонтальную) кабельные составляющие. Основные характеристики кабеля категории 5е должны быть не ниже указанных в ГОСТ Р 53245-2008.

7.2.3.2.1.3 Магистральная кабельная составляющую СКС для активного оборудования ЛВС должна выполняться с применением оптических кабелей.

7.2.3.2.1.4 Оптические магистральные каналы должны выполняться с резервированием по схеме, учитывающей организационную структуру ЛВС и исключающей единую точку отказа магистральной сети. В магистральных кабелях должно быть не менее четырех оптических волокон.

7.2.3.2.1.5 Прокладка магистральных кабелей между зданиями одного объекта должна выполняться в кабельной канализации или непосредственно в грунт.

##### **7.2.3.2.2 Топология СКС**

7.2.3.2.2.1 Физическая топология СКС должна представлять собой топологию «звезда» без иерархических уровней (при обосновании

необходимости допускается прокладка резервных трасс кабеля для кабельных участков между зданиями и магистральных участков). Если для одного объекта проектируется больше одного узла СКС, все этажные (зональные) коммутационные узлы должны быть соединены напрямую с центральным коммутационным узлом СКС внутренними магистральными линиями.

#### **7.2.4 Электромагнитная совместимость**

При проектировании и строительстве магистральных и зональных волоконно-оптических линий должны применяться кабели без металлических элементов, с диэлектрическими броневыми покровами, на основе стеклопластиковых прутков. Это обеспечит отсутствие необходимости контроля и защиты кабелей от влияния тяговой сети электрифицированных железных дорог.

#### **7.2.5 Диагностика, мониторинг кабельных сетей**

7.2.5.1 Общие принципы мониторинга состояния кабельных линий связи.

7.2.5.1.1 Система мониторинга ВОЛС должна обеспечивать обнаружение, идентификацию и локализации отказов или изменение передаточных характеристик оптических волокон с заданной точностью и оперативностью.

7.2.5.1.2 Система мониторинга ВОЛС должна строиться на основе оборудования дистанционного контроля оптических волокон (ДКВ).

7.2.5.1.3 В системе мониторинга ВОЛС должна быть предусмотрена возможность интеграции с действующей единой системой мониторинга и администрирования (ЕСМА) сетей связи ОАО «РЖД».

7.2.5.2 Требования к оборудованию для осуществления мониторинга на кабельных линиях связи.

7.2.5.2.1 Оборудование ДКВ должно включать оптический рефлектометр и оптический коммутатор оптических волокон.

7.2.5.2.2 Определение узлов размещения ДКВ при проектировании должно выполняться с учетом динамического диапазона ДКВ, затухания в оптических волокнах, количества портов коммутатора оптических волокон, схемы размещения активного оборудования и при условии минимизации числа ДКВ.

7.2.5.2.3 Выбор длин волн для тестирования ОВ должен выполняться с учетом спектра рабочих длин волн оборудования xWDM и находиться вне данного спектра

7.2.5.2.4 При проектировании волоконно-оптической сети требуется предусмотреть прохождение и изоляцию длин волн оборудования мониторинга в соответствующих точках волоконно-оптического тракта.

7.2.5.2.5 ДКВ должно иметь соответствующий сетевой интерфейс для передачи результатов диагностики в центр мониторинга.

7.2.5.2.6 В центре мониторинга сети связи должен быть установлен сервер сбора и обработки данных мониторинга, а также визуального отображения информации на соответствующей ГИС.

7.2.5.2.7 Сервер должен иметь соответствующее математическое программное обеспечение, позволяющее на основе накопленных данных формировать прогноз изменения передаточных характеристик оптических волокон и формировать планы технического обслуживания ВОЛС с учетом текущего и прогнозируемого состояния ВОК.

### **7.3 Системы информирования пассажиров и оповещения работающих на путях**

#### **7.3.1 Основные требования к организации системы информирования пассажиров и оповещения, работающих на железнодорожных путях высокоскоростной железнодорожной магистрали**

7.3.1.1 Требования к системам оповещения работающих на железнодорожных путях о приближении железнодорожного подвижного состава

##### **7.3.1.1.1 Общие требования**

7.3.1.1.1.1 В состав автоматических систем оповещения о приближении железнодорожного подвижного состава должны входить:

- устройства сбора и обработки информации от источников информации о приближении железнодорожного подвижного состава;
- сигнализаторы, предназначенные для предупреждения работников, производящих работы на путях, о приближении железнодорожного подвижного состава.

7.3.1.1.2 Требования к источникам информации и устройствам сбора и обработки информации

7.3.1.1.2.1 Время начала и окончания оповещения о приближении железнодорожного подвижного состава должно определяться на основании информации от одного или от нескольких из следующих источников:

- напольных датчиков обнаружения поезда;
- устройств электрической централизации стрелок и сигналов;
- устройств автоблокировки;
- устройств диспетчерской централизации;
- устройств счета осей подвижного состава;
- бортовых устройств локомотивов, способных определять местонахождение железнодорожного подвижного состава и передавать сигналы на устройства железнодорожной автоматики, информационно-управляющие системы или на приемные устройства системы оповещения.

Технические требования к устройствам железнодорожной автоматики и телемеханики изложены в ГОСТ 34012-2016.

7.3.1.1.2.2 На двухпутных (многопутных) железнодорожных участках

информация о приближении железнодорожного подвижного состава должна поступать со всех путей такого участка.

7.3.1.1.3 Требования к организации оповещения работников, производящих работы на путях, требования к сигнализаторам системы оповещения

7.3.1.1.3.1 Системами оповещения работников, производящих работы на путях (далее системы оповещения), должны быть оборудованы все станции и перегоны ВСЖМ-1.

7.3.1.1.3.2 Бригады, работающие на путях, должны иметь при себе коллективные и (или) индивидуальные сигнализаторы, оповещающие о приближении поезда.

7.3.1.1.3.3 Сигналы оповещения для коллективных и индивидуальных сигнализаторов должны передаваться по радиоканалу.

7.3.1.1.3.4 Сигнализаторы должны воспроизводить сигналы четко, разборчиво, с хорошей различимостью, как при отсутствии железнодорожного подвижного состава, так и при его движении по участку, где проводятся работы на железнодорожных путях.

7.3.1.1.3.5 Сигнализаторы должны быть оснащены индикаторами работоспособности.

7.3.1.1.3.6 Индивидуальные сигнализаторы бригад, работающих на путях, должны обеспечивать помимо звукового сигнала подачу вибросигнализации.

7.3.1.1.3.7 Каждая бригада, работающая на путях, должна иметь один коллективный сигнализатор и не менее 2-х индивидуальных.

7.3.1.1.3.8 При наличии 2-х и более коллективных сигнализаторов, допускается обходиться без индивидуальных сигнализаторов (два сигнализатора ограждают место проведения работ).

7.3.1.1.3.9 При проектировании системы оповещения, зоны оповещения на перегонах определяются с учетом наличия искусственных сооружений, длиной не менее 100 и не более 1000 м.

7.3.1.1.3.10 При расстоянии на перегоне между осями путей менее 9,5 м для обоих путей проектируется общая зона оповещения (по инструкции 5 м от рельса безопасное расстояние + 1,5 м ширина колеи + 3 м для работы по соседнему пути).

7.3.1.1.3.11 При проектировании системы оповещения, зоны оповещения на станциях определяются с учетом наличия искусственных сооружений, технологии работы станции и количества путей, по которым предусмотрен режим высокоскоростного движения.

7.3.1.1.3.12 Для каждого пути станции, по которому предусмотрено высокоскоростное движение, предусматривается минимум одна зона оповещения, в которую включаются все путевые элементы, расположенные на расстоянии менее 9,5 м от оси пути.

7.3.1.1.3.13 Если на станции (промежуточной станции) нет путей, которые не попадают в зоны оповещения путей высокоскоростного пропуска и по которым возможны поездные или маневровые передвижения при

установленном режиме высокоскоростного движения, то допускается проектировать зоны оповещения только для путей высокоскоростного пропуска с включением в них остальных путей станции.

7.3.1.1.3.14 При проектировании систем оповещения на перегонах и на станциях должна быть предусмотрена возможность динамического формирования из отдельных зон оповещения единой зоны оповещения, охватывающей всю территорию (для которой предусмотрены зоны оповещения), на которой выполняются работы или могут находиться работники, участвующие в выполнении соответствующих работ.

7.3.1.1.3.15 При включенном режиме высокоскоростного движения, для соответствующей ему зоны, нельзя установить режим оповещения работающих на путях.

7.3.1.1.3.16 При установленном для зоны режиме оповещения работающих на путях нельзя включить режим высокоскоростного движения через эту зону.

7.3.1.1.3.17 При установленном на перегоне режиме высокоскоростного движения все сигнализаторы коллективного пользования «зарезервированные» для данного перегона, для которых не включен режим оповещения, должны подавать сигнал извещения.

7.3.1.1.3.18 При разработке проекта системы оповещения должны быть определены системы ЖАТ, обеспечивающие передачу ей информации, необходимой для своевременного включения и выключения сигнала оповещения, а также вид и количественные характеристики интерфейсов взаимодействия между этими системами.

7.3.1.1.3.19 Время начала оповещения для каждой зоны оповещения выбирается из расчета не менее 60 и не более 120 с до момента проследования поезда.

7.3.1.1.3.20 Время оповещения для зон оповещения, включающих искусственные сооружения (мосты, тоннели и т.д.), определяется из расчета 60 с плюс время, необходимое для выхода в безопасную зону.

7.3.1.1.3.21 Участки приближения к зонам оповещения, задержки на открытие сигналов рассчитываются по общепринятым методикам из расчета максимальных скоростей, предусмотренных для движения высокоскоростных, скоростных и хозяйственных поездов и маневровых передвижений.

## **7.3.2 Централизованная интегрированная система информирования пассажиров, оповещения работающих на железнодорожных путях и станционной парковой связи**

### **7.3.2.1 Назначение и область применения**

7.3.2.1.1 В настоящем разделе устанавливаются технические требования к Централизованной интегрированной системе информирования пассажиров, оповещения работающих на железнодорожных путях и станционной парковой связи (ЦИСОП) для ВСЖМ-1.

7.3.2.1.2 ЦИСОП должна обеспечивать:

7.3.2.1.2.1 с использованием средств громкоговорящего оповещения, двухсторонней парковой связи, средств визуального отображения информации (табло, световые сигналы), на основании информации, получаемой от информационно-управляющих систем управления движением, безопасности движения, автоматизированное:

7.3.2.1.2.1.1 информирование пассажиров, находящихся в железнодорожных вокзалах, на пассажирских платформах железнодорожных станций и остановочных пунктов о:

- времени отправления (прибытия) и порядке следования пассажирских и пригородных поездов;

- приближении самоходного железнодорожного подвижного состава (далее подвижного состава);

- чрезвычайных ситуациях и других обстоятельствах, связанных с обслуживанием и обеспечением безопасности пассажиров;

7.3.2.1.2.1.2 с использованием средств громкоговорящего оповещения, двухсторонней парковой связи, средств радиосвязи, индивидуальных и коллективных оповещателей – информирование работающих на путях в парках железнодорожных станций и на перегонах о чрезвычайных ситуациях и других обстоятельствах, связанных с безопасностью движения поездов;

7.3.2.1.2.1.3 с использованием средств громкоговорящего оповещения, двухсторонней парковой связи, средств радиосвязи, индивидуальных и коллективных оповещателей – оповещение работающих на путях перегонов и станций о приближении железнодорожного подвижного состава;

7.3.2.1.2.2 с использованием средств громкоговорящего оповещения, двухсторонней парковой связи – возможность передачи поездным диспетчером, дежурным по станции, дежурным по вокзалу или другим работником, определенным ОАО «РЖД», оперативной информации пассажирам, находящимся в вокзалах, на пассажирских платформах железнодорожных станций и остановочных пунктов;

7.3.2.1.2.3 с использованием колонн (точек) экстренного вызова оперативную фиксированную связь пассажиров, находящихся в железнодорожных вокзалах, на пассажирских платформах железнодорожных станций и остановочных пунктов, со справочными или другими службами железнодорожного транспорта для получения информации о следовании поездов, предоставляемых услугах и передачи информации о необходимости оказания медицинской или другой помощи в экстренных ситуациях;

7.3.2.1.2.4 передачу команд и сообщений руководителями, в т.ч. эксплуатационных и ремонтных бригад, исполнителям работ, находящимся в парках железнодорожных станций с использованием систем громкоговорящего оповещения, двухсторонней парковой связи и систем радиосвязи;

7.3.2.1.2.5 переговоры персонала эксплуатационных и ремонтных бригад между собой с помощью средств громкоговорящей двухсторонней парковой связи и/или беспроводного радиодоступа в системе двухсторонней парковой связи;



7.3.2.1.2.6 удаленный доступ зарегистрированных абонентов к системам громкоговорящей двухсторонней парковой связи через системы оперативно-технологической и общетехнологической связи ОАО «РЖД».

7.3.2.1.3 ЦИСОП должна применяться на железнодорожных станциях, железнодорожных вокзалах и остановочных пунктах на участках железных дорог ОАО «РЖД» высокоскоростного движения.

7.3.2.1.4 Количество, границы зон информирования и оповещения на железнодорожных станциях, остановочных пунктах, перегонах определяются при проектировании, в зависимости от категории, технологии работы железнодорожных станций, участков железных дорог, и согласовываются с ОАО «РЖД» (иным владельцем инфраструктуры).

7.3.2.1.5 ЦИСОП на участке ВСЖМ-1 должна включать:

7.3.2.1.5.1 централизованную систему информирования пассажиров, находящихся в железнодорожных вокзалах, на пассажирских платформах железнодорожных станций и остановочных пунктов;

7.3.2.1.5.2 централизованную систему оповещения работающих на железнодорожных путях станций и перегонов о приближении подвижного состава;

7.3.2.1.5.3 централизованную систему парковой (станционной) громкоговорящей связи (ДПС);

Системы 7.3.2.1.5.2 и 7.3.2.1.5.3 могут быть реализованы на основе системы двухсторонней станционной парковой связи и оповещения работающих на железнодорожных путях на базе технологической радиосвязи стандарта DMR РДПС-Ц.

7.3.2.1.6 Обязательными условиями применения ЦИСОП являются:

- наличие встроенных систем мониторинга и диагностики в применяемом оборудовании;

- включение систем мониторинга и диагностики применяемого оборудования в Единую систему мониторинга и администрирования технологической связи ОАО «РЖД» (ЕСМА);

- централизация функций управления и контроля с возможностью их передачи (перераспределения) между рабочими местами (АРМ) операторов системы (поездными диспетчерами, дежурными по станциям, дежурными по вокзалам и др.);

- регистрация и запись переговоров, производимых с использованием средств ЦИСОП и его элементов;

- регистрация и запись сигналов информирования и оповещения, передаваемых с использованием средств ЦИСОП и его элементов.

## 7.3.2.2 Технические требования

### 7.3.2.2.1 Состав и построение ЦИСОП

7.3.2.2.1.1 ЦИСОП должна состоять из следующих логически (программно) разделенных подсистем:

- централизованная система парковой (станционной) громкоговорящей связи или система подвижной станционной радиосвязи;

- централизованная система информирования пассажиров, находящихся в железнодорожных вокзалах, на пассажирских платформах;
- централизованная система оповещения работающих на железнодорожных путях о приближении подвижного состава.

7.3.2.2.1.2 В состав ЦИСОП должны входить следующие основные устройства и элементы:

- центральный информационный сервер (ЦИС);
- оборудование автоматизированных рабочих мест для диспетчеров ЦИСОП и дежурных по зонам оповещения (АРМ-Д, АРМ-З);
- станционный сервер (СС) – опционально;
- трансляционный усилитель (УТ);
- звуковоспроизводящие устройства (динамики, колонки и др.);
- информационные табло – опционально;
- переговорные колонки экстренного вызова (ПК) – опционально;
- индивидуальный носимый оповещатель о приближении подвижного состава (ИНО) – опционально;
- коллективный переносимый оповещатель о приближении подвижного состава (КПО) – опционально;
- пульт (АРМ) руководителя парковой станционной связи (ПР);
- парковое переговорное устройство (ППУ) – опционально;
- парковое переговорное устройство упрощенное (ППУ.У) – опционально;
- парковое переговорное устройство внутреннее (ППУ.В) – опционально;
- оборудование станционной радиосвязи радиодоступа – опционально;
- вводно-защитные устройства;
- кабельные сети, каналы и оборудование систем передачи данных;
- сооружения и устройства для размещения устройств отображения и воспроизведения информации.

7.3.2.2.1.3 ЦИСОП должна представлять собой комбинированную структуру с централизованным управлением средствами информирования и оповещения и централизованным построением систем парковой связи.

7.3.2.2.1.4 В качестве основного варианта транспортной сети, обеспечивающей взаимодействие ЦИС со станционными устройствами ЦИСОП, должна использоваться сеть с коммутацией пакетов (сеть IP) с применением интерфейсов Ethernet 10/100 и протокола TCP/IP, имеющая средства доступа на каждой станции (остановочном пункте).

Должна быть предусмотрена возможность использования транспортной сети по технологии TDM.

7.3.2.2.1.5 Информация о времени отправления (прибытия) и порядке следования пассажирских поездов на обслуживаемом участке железной дороги, формируемая в ЦИС, должна передаваться по сети с коммутацией пакетов через имеющийся на каждом объекте (вокзалы, станции, платформы) коммутатор доступа в сеть IP или локальную сеть IP, организуемую на

станциях, оборудованных системой парковой связи, на трансляционные усилители речевого информирования и информационные табло.

7.3.2.2.1.6 Сигналы оповещения о приближении подвижного состава к зоне оповещения должны передаваться от ЦИС по сети с коммутацией пакетов через коммутатор доступа или локальную сеть IP на стационарный сервер (конкретный стационарный сервер определяется в каждом случае проектом), формирующий соответствующие речевые сообщения, поступающие на трансляционные усилители в системе информирования и оповещения.

7.3.2.2.1.7 Оповещение работающих на железнодорожных путях в парках железнодорожной станции должно осуществляться по командам, поступающим от ИУС через ЦИС или от ЭЦ. Передача команд должна осуществляться по радиоканалу, в исключительных случаях – с использованием фидерных линий систем парковой связи.

7.3.2.2.1.8 Оповещение работающих на железнодорожных путях на перегоне должно осуществляться с применением ИНО работником или КПО, выдаваемого руководителю бригады, и обеспечивающих с помощью встроенного навигационного приемника определение местоположения работника или бригады, и передающего установленные координаты по каналам радиосвязи в ИУС. Сформированная ИУС на основании данных о движении поездов на участке и координат местоположения бригады информация оповещения о приближении поезда должна передаваться через сервер формирования коротких сообщений (SDS) в Центральный коммутатор (MSC или др.) системы радиосвязи и через соответствующую базовую станцию на устройство оповещения, имеющее в сети радиосвязи уникальный идентификационный адрес.

7.3.2.2.1.9 Для обеспечения функционирования систем парковой связи к локальной сети IP должны быть подключены на каждой станции пульта руководителей (ПР), усилители фидерных линий, линии парковых переговорных устройств и контроллер (коммутатор) базовых станций радиодоступа.

7.3.2.2.1.10 В режиме управления опорной станцией соседними должна обеспечиваться возможность установления соединения по сети IP пульта ПР дежурного опорной станции со входами фидерных трансляционных усилителей, линиями парковых переговорных устройств и с абонентами сети радиодоступа (при ее наличии) управляемой станции.

7.3.2.2.1.11 Переговорные колонки экстренного вызова (ПК) должны соединяться с АРМ-Д диспетчера ЦИСОП или АРМ-З по сети IP.

7.3.2.2.1.12 Автоматизированное рабочее место администратора (АРМ-СМА ЦИСОП), на которое должна поступать информация от системы мониторинга и с которого должна обеспечиваться возможность управления техническими средствами системы, должно сопрягаться с оборудованием ЦИСОП по сети IP.

7.3.2.2.2 Требования к системам оповещения и информирования о движении поездов на пассажирских платформах

7.3.2.2.2.1 Требования к системам информирования пассажиров на пассажирских железнодорожных платформах о приближении высокоскоростного состава

7.3.2.2.2.1.1 Системами информирования пассажиров (СИП) не оборудуются платформы конечных пассажирских станций.

7.3.2.2.2.1.2 СИП оборудуются платформы, мимо которых предусматривается безостановочный пропуск высокоскоростных, скоростных пассажирских и специальных поездов.

7.3.2.2.2.1.3 Если пропуск высокоскоростных, скоростных пассажирских и специальных поездов предусматривается с двух сторон платформы, то для каждой из сторон проектируется независимая СИП. При этом допускается использование общего для обеих сторон платформы комплекта громкоговорителей СИП.

7.3.2.2.2.1.4 СИП должна подавать сигнал опасности для пассажиров не менее чем за 60 с и не более 180 с до подхода подвижного состава к началу платформы.

7.3.2.2.2.1.5 СИП должна прекращать подавать сигнал опасности для пассажиров при достижении головным вагоном (или локомотивом) зоны остановки (при нахождении поезда напротив платформы).

7.3.2.2.2.1.6 При разработке проекта СИП для каждой платформы (для каждой стороны платформы) должны быть определены правила включения сигнала опасности для пассажиров в зависимости от режима работы устройств ЖАТ, установленных маршрутов и местонахождения поезда. Должно быть указано предполагаемое время оповещения и информирования пассажиров.

7.3.2.2.2.1.7 При разработке проекта СИП для каждой платформы (для каждой стороны платформы) должны быть определены системы ЖАТ, обеспечивающие передачу в СИП информации, необходимой для своевременного включения и выключения сигнала опасности, а также вид и количественные характеристики интерфейсов взаимодействия между этими системами.

7.3.2.2.2.1.8 СИП для каждой платформы (для каждой стороны платформы) должны иметь два типа сигнализаторов опасности: акустические и оптические.

7.3.2.2.2.1.9 Сигнализаторы СИП должны использоваться только для оповещения и информирования пассажиров о приближении поезда.

7.3.2.2.2.1.10 Аппаратура СИП для каждой платформы (для каждой стороны платформы) должна состоять из двух независимых друг от друга, параллельно работающих комплектов с отдельными наборами сигнализаторов. При этом допускается использование общего для обеих сторон платформы комплекта громкоговорителей СИП.

7.3.2.2.2.1.11 Оптические сигнализаторы встраиваются в полотно платформы, обозначая линию безопасности, либо размещаются вдоль края платформы на высоте не менее 2 м.

7.3.2.2.2.1.12 Оптические сигнализаторы, встраиваемые в полотно платформы, должны располагаться на расстоянии не более 1,5 м друг от друга с чередованием сигнализаторов разных комплектов СИП.

7.3.2.2.2.1.13 Оптические сигнализаторы, расположенные над платформой, должны однозначно указывать с какой стороны платформы приближается поезд. Допускается использовать надписи, стрелки или специальную пространственную ориентацию источников света.

7.3.2.2.2.1.14 Оптические сигнализаторы, расположенные над платформой, должны размещаться с таким расчетом, что с любого места между осью платформы и ее краем пассажир на расстоянии не более 5 м видел хотя бы один сигнализатор от каждого комплекта СИП.

7.3.2.2.2.1.15 Помимо описанных выше, системы информирования пассажиров о приближении высокоскоростного состава на пассажирских железнодорожных платформах должны включать в себя устройства визуального отображения информации на информационных табло и устройства автоматической громкоговорящей связи. Время начала информирования должно быть не менее чем за 60 с и не более 180 с до подхода подвижного состава к началу платформы. Передачу сообщений следует повторять до прохода поезда с интервалом 20 с.

7.3.2.2.2.1.16 По системе автоматической громкоговорящей связи пассажиров и иных граждан следует информировать о необходимости отойти от края платформы за ограничительную линию или за дополнительное ограждение (при его наличии).

7.3.2.2.2.2 Требования к устройствам визуального отображения информации на информационных табло

7.3.2.2.2.2.1 Необходимо использовать антивандальное исполнение систем визуального отображения информации: антивандальная защитная пленка, антивандальные защитные рольставни, антивандальные контейнеры и сетки.

7.3.2.2.3 Порядок информирования пассажиров и оповещения, работающих на путях о приближении поезда с использованием системы ЦИСОП

7.3.2.2.3.1 Информирование пассажиров о приближении поезда

7.3.2.2.3.1.1 О приближении поезда или другого подвижного состава должны оповещаться пассажиры и граждане, находящиеся на платформах.

7.3.2.2.3.1.2 Устройства информирования о приближении подвижного состава должны быть оборудованы системой автоматического контроля исправности оборудования.

Система должна обеспечивать передачу информации об отказе устройств информирования на конкретном объекте на АРМ-Д, на АРМ-3 и на АРМ системного администратора не позднее, чем через 5 – 7 с после наступления отказа.

7.3.2.2.3.1.3 При поступлении информации об отказе устройств информирования диспетчером или дежурным по информационной зоне

должны быть приняты меры по передаче информации от АРМ-Д (АРМ-3) до восстановления нормальной работы оборудования.

7.3.2.2.3.1.4 Прекращение передачи сигналов информирования после прохода подвижного состава должно осуществляться автоматически по сигналу от ИУС через ЦИС или ЭЦ.

7.3.2.2.3.2 Оповещение работающих на путях в парках железнодорожных станций о приближении подвижного состава

7.3.2.2.3.2.1 Оповещение работающих на путях в парках железнодорожных станций должно осуществляться средствами парковой громкоговорящей связи на основании информации о перемещении и отправлении подвижного состава, формируемой в ИУС и поступающей от ЦИС или от ЭЦ.

7.3.2.2.3.2.2 Информация, поступающая от ИУС в ЦИС, должна содержать данные, определяющие маршрут следования подвижного состава.

Формирование соответствующих команд на включение конкретных трансляционных усилителей и фидерных линий должно осуществляться в ИУС на основе фактической конфигурации путевого развития станций, хранящейся в его базе данных. Должна обеспечиваться возможность формирования речевых сообщений для информирования пассажиров и оповещения работающих на путях станции непосредственно в станционном сервере.

7.3.2.2.3.2.3 При отсутствии поездов на участке приближения к зоне оповещения (фронту работ) с периодом от 10 до 15 секунд, должен передаваться сигнал тональной частоты длительностью 1 – 2 секунды, свидетельствующий о готовности системы оповещения. Отсутствие сигнала готовности системы оповещения должно классифицироваться, как сигнал неисправности. При такой ситуации работы на путях должны быть прекращены, персонал выведен, инструмент, инвентарь и др. средства убраны за пределы габарита приближения строений. Работы могут быть возобновлены только после перехода работающих на железнодорожных путях на другой способ оповещения и информирования об этом дежурного по станции.

7.3.2.2.3.2.4 Оповещение о приближении подвижного состава должно содержать информацию о номере пути и/или номере стрелочного перевода, направлении движения. Передаче оповещения должен предшествовать сигнал гонга. Передача сигналов оповещения должна начинаться не менее, чем за 60 секунд до момента вступления подвижного состава в зону оповещения, повторяться каждые  $10 \pm 1$  секунд до выхода подвижного состава из зоны оповещения и прекращаться через 1 – 2 секунды после его выхода.

7.3.2.2.3.2.5 Устройства, обеспечивающие передачу сигналов оповещения, должны быть оборудованы системой документированной регистрации.

7.3.2.2.3.2.6 Наличие исполнителей ремонтных работ в соответствующей зоне станции должно определяться с помощью

навигационного приемника системы Глонасс/GPS, взаимодействующего с РН, приданных руководителю или исполнителю работ.

7.3.2.2.3.2.7 При наличии на станции сети радиодоступа оповещение работающих на железнодорожных путях может быть организовано с помощью придаваемой руководителю или исполнителю РН.

Оповещение о приближении подвижного состава в этом случае должно передаваться от ИУС через ЦИС и далее терминальный абонентский радиоблок (ТАРБ).

7.3.2.2.3.3 Оповещение работающих на железнодорожных путях перегонов о приближении подвижного состава

7.3.2.2.3.3.1 Оповещение должно обеспечиваться с помощью ИНО, КПО, придаваемых работающим.

7.3.2.2.3.3.2 Информация о местоположении работающих с навигационного приемника ИНО, КПО каждые 15 – 20 секунд должна передаваться через ближайшую к месту работ базовую станцию, соединенную с Центральным коммутатором системы радиосвязи, на вход сервера коротких сообщений (SDS), подключенного к ИУС.

Примечание – Преобразование географических координат местоположения в железнодорожные должно осуществляться в ИУС.

7.3.2.2.3.3.3 При отсутствии поездов на участке приближения к зоне оповещения (фронту работ) с периодом от 10 до 15 секунд на ИНО, КПО должен передаваться сигнал тональной частоты длительностью 1 – 2 секунды, свидетельствующий о готовности системы оповещения. Отсутствие сигнала готовности системы оповещения должно классифицироваться, как сигнал неисправности. При такой ситуации работы на путях должны быть прекращены, персонал выведен, инструмент, инвентарь и др. средства убраны за пределы габарита приближения строений. Работы могут быть возобновлены только после перехода работающих на железнодорожных путях на другой способ оповещения и информирования об этом дежурных по станциям, ограничивающим перегон.

7.3.2.2.3.3.4 Сигнал оповещения о приближении подвижного состава, формируемый в ИУС на основании данных о местоположении бригады и поездного положения на участке, должен передаваться на ИНО, КПО по каналам радиосвязи.

7.3.2.2.3.3.5 Передача сигналов оповещения должна начинаться не менее чем за 60 секунд до момента вступления подвижного состава в зону оповещения, повторяться каждые  $10 \pm 1$  секунд до выхода подвижного состава из зоны оповещения и прекращаться через 1-2 секунды после его выхода.

При подходе к месту расположения работающих на железнодорожном пути подвижного состава со встречных направлений передача оповещения должна прекращаться только после прохода подвижного состава в каждом направлении.

7.3.2.2.3.3.6 При передаче сигналов оповещения о приближении подвижного состава передача контрольных сигналов должна прекращаться.

Передача контрольных сигналов должна возобновляться не позднее чем через 5 секунд после освобождения подвижным составом зоны оповещения.

7.3.2.2.3.4 Автоматизированные рабочие места диспетчера ЦИСОП и дежурного зоны информирования и оповещения (АРМ-Д, АРМ-З)

7.3.2.2.3.4.1 С помощью оборудования АРМ-Д должно обеспечиваться выполнение следующих функций:

- отключение или корректировка информации о времени отправления (прибытия) и порядке следования поездов на каждом информационном табло каждой станции участка;
- передача визуальной информации на любое табло каждой станции участка, в том числе о задержках, отменах поездов и отправлении (прибытии) поездов с отступлением от графика (расписания);
- отмена или корректировка речевых информационных сообщений, передаваемых по громкоговорящей сети на каждой станции участка;
- передача экстренных и других информационных сообщений, связанных с обслуживанием пассажиров, по громкоговорящей сети на каждой станции участка;
- передача громкоговорящего оповещения о приближении подвижного состава на каждой станции участка;
- включение, в случае необходимости, информации о приближении подвижного состава для каждой ремонтной бригады, работающей на железнодорожных путях перегонов и станций;
- прием вызова от переговорных колонок экстренного вызова пассажиров и переговоры с пассажиром.

7.3.2.2.3.4.2 С помощью АРМ-З должны выполняться перечисленные в п. 7.3.2.2.3.4.1 функции в пределах соответствующей зоны ЦИСОП.

7.3.2.2.3.5 Перечень информации, поступающей от ИУС в ЦИС, необходимой для автоматического функционирования ЦИСОП.

7.3.2.2.3.5.1 Информация по расписанию.

7.3.2.2.3.5.2 Информация по каждой подвижной единице, проходящей через обслуживаемые станции.

7.3.2.2.3.5.3 Поступления информации должно происходить в течение не более 30 секунд после изменения фактического состояния объектов контроля.

7.3.2.2.3.5.4 Перечисленные выше данные должны сводиться в базу данных типа СУБД, которая реализует возможность обработки данных посредством стандартного языка структурированных запросов SQL.

7.3.2.2.3.5.5 Сформированные в ИУС сигналы оповещения должны поступать через сервер формирования коротких сообщений на центральный коммутатор сети технологической радиосвязи и через соответствующую базовую станцию на ИНО, КПО.

Примечание – Требования раздела 7.3.2.2.3.5 должны быть уточнены в процессе разработки.

7.3.2.2.4 Специальные требования к ЦИСОП



7.3.2.2.4.1 Информирование и оповещение пассажиров и граждан должно осуществляться на 2-х языках (русском и английском).

7.3.2.2.4.2 В ЦИСОП должна обеспечиваться документированная регистрация в централизованной системе регистрации переговоров ОАО «РЖД», поступающих от ИУС, ЭЦ и др. сообщений, сообщений, сигналов и переговоров, передаваемых, транслируемых и воспроизводимых системой.

7.3.2.2.4.3 Электропитание оборудования, используемого для парковой связи и оповещения о приближении подвижного состава, должно осуществляться как электропотребителей первой группы через источники бесперебойного электропитания.

7.3.2.2.4.4 В ЦИСОП должно быть предусмотрено автоматическое резервирование основных устройств.

7.3.2.2.5 Система мониторинга и администрирования (СМА-ЦИСОП)

7.3.2.2.5.1 СМА-ЦИСОП предназначена:

- для непрерывного круглосуточного контроля работоспособности оборудования ЦИСОП на каждом объекте с предоставлением обслуживающему персоналу информации о сбоях, не вызывающих нарушение работы, и об отказах, приводящих к частичному или полному невыполнению функций;

- для предоставления информации о составе и инвентарных номерах задействованного в системе оборудования;

- для контроля и изменения настроек и программной конфигурации.

7.3.2.2.5.2 СМА-ЦИСОП должна представлять собой комплекс программно-аппаратных средств, взаимодействующих между собой посредством сети передачи данных на основе стандартизированных протоколов и интерфейсов.

СМА-ЦИСОП должна взаимодействовать и быть сопряжена с ЕСМА.

7.3.2.2.5.3 Для построения СМА-ЦИСОП должны использоваться следующие средства:

- сервер СМА-ЦИСОП;
- рабочее место администратора СМА-ЦИСОП на основе компьютера;
- переносной портативный компьютер для выполнения функции контроля и настройки на станции (РМ-1);

- для сопряжения с сетью СМА-ЦИСОП в Центральном сервере и станционных серверах должны быть предусмотрены интерфейсы Ethernet 10/100 Base-T, поддерживающие протокол TCP/IP.

7.3.2.2.5.4 Сервер СМА-ЦИСОП

Сервер должен принимать сообщения, формируемые системой диагностики оборудования, и заносить их в базу данных (БД).

На основании информации, поступающей от оборудования ЦИСОП, сервер должен обеспечивать идентификацию и инвентаризацию устройств, мониторинг, фиксацию и установку текущих настроек и параметров оборудования.

7.3.2.2.5.5 Взаимодействие сервера с каждым зарегистрированным объектом оборудования ЦИСОП должно производиться круглосуточно и непрерывно.

7.3.2.2.5.6 Результаты контроля аппаратуры должны формироваться и направляться в СМА-ЦИСОП при изменении параметров (по событию, изменению состояния). Вся полученная информация должна документироваться.

7.3.2.2.5.7 В СМА-ЦИСОП должны обеспечиваться следующие функции администрирования (управления):

- установление соединения станционного сервера с соответствующими пультами парковой связи и усилителями информирования и оповещения;
- мониторинг и изменение текущих настроек и параметров.

7.3.2.2.5.8 Информация о возникновении отклонений от нормы и полных отказах должна сопровождаться акустическим сигналом на рабочем месте администратора.

#### 7.3.2.3 Требования к надежности

7.3.2.3.1 Аппаратные средства ЦИСОП должны быть рассчитаны для работы в непрерывном режиме и должны быть восстанавливаемыми.

7.3.2.3.2 Отказом системы является невыполнение функций и несоответствие параметров требованиям, изложенным в настоящих требованиях к ЦИСОП.

7.3.2.3.3 Показателями надежности аппаратуры ЦИСОП должны быть:

- средняя наработка на отказ сменных устройств аппаратуры – не менее 50000 ч;
- среднее время восстановления работоспособного состояния – не более  $T_v = 1$  ч;
- средний срок службы составных частей аппаратуры – не менее 15 лет.

7.3.2.3.4 Гарантийный срок эксплуатации аппаратуры ЦИСОП должен быть не менее 60 месяцев.

7.3.2.4 Основные требования к программному обеспечению централизованной интегрированной системы информирования пассажиров, оповещения работающих на железнодорожных путях и станционной парковой связи

Программные средства (ПО) ЦИСОП должны обеспечивать:

- решение функциональных задач в соответствии с целевым назначением ЦИСОП;
- периодический контроль состояния технических средств системы;
- контроль целостности программ и данных в памяти;
- автоматический перезапуск системы в случае зависания или потери электропитания;
- открытость ПО для расширения или изложения функциональных возможностей системы;

- защищенность от несанкционированного доступа и потери информации.

Системное программное обеспечение должно строиться на унифицированной операционной платформе, согласованной ОАО «РЖД» (иным владельцем инфраструктуры).

Общее программное обеспечение должно обеспечивать бесперебойное функционирование всего комплекса программного обеспечения ЦИСОП.

Все серверы ЦИСОП должны быть обеспечены антивирусной и сетевой (firewall) защитой.

Должна быть предусмотрена система автоматического резервирования копирования информации, система удаленного мониторинга функционирования серверов.

Серверы ЦИС и СМА-ЦИСОП должны быть реализованы по кластерной технологии с обеспечением «горячего» резервирования физических серверов.

Аналогичная степень резервирования должна быть предусмотрена для системы хранения данных.

Должна быть предусмотрена центральная система хранения данных, расположенная в месте расположения ЦИС, и, помимо выполнения функций дискового хранилища данных серверов ЦИС и СМА-ЦИСОП, служащая для хранения резервных копий всех серверов и АРМ ЦИСОП для их быстрого восстановления в случае сбоя или потери информации.

### **7.3.3 Локальная система оповещения о чрезвычайных ситуациях в районах размещения объектов высокоскоростной железнодорожной магистрали**

7.3.3.1 Назначение, организация и порядок применения локальных систем оповещения

7.3.3.1.1 Назначение локальных систем оповещения

Локальные системы оповещения на объектах высокоскоростной железнодорожной магистрали должны выполнять функции обеспечения доведения сигналов и информации оповещения:

- до руководителей и персонала объектов ВСЖМ-1;
- специализированных подразделений ОАО «РЖД» по ликвидации чрезвычайных ситуаций;
- пассажиров, находящихся в зоне действия локальной системы оповещения на объектах ВСЖМ-1.

При авариях (катастрофах) на объекте ВСЖМ-1 или в зонах, в которые попадают эти объекты, посредством ЛСО должны оповещаться:

- руководители и персонал объекта ВСЖМ-1;
- специализированные подразделения ОАО «РЖД» по ликвидации чрезвычайных ситуаций;
- оперативные дежурные службы органов управления по делам гражданской обороны и чрезвычайным ситуациям субъекта Российской

Федерации, города или муниципального образования (в случае аварии на объекте ВСЖМ-1);

- пассажиры, находящиеся в зоне действия локальной системы оповещения.

#### 7.3.3.1.2 Организация локальных систем оповещения

7.3.3.1.2.1 Управление локальной системой оповещения на потенциально опасном объекте ВСЖМ-1 должно осуществляться с терминалов/пультов, расположенных на пунктах управления потенциально опасного объекта ВСЖМ-1, согласно установленным приоритетам.

7.3.3.1.2.2 Рабочее место дежурного диспетчера (начальника смены) потенциально опасного объекта ВСЖМ-1 должно оборудоваться техническими средствами, обеспечивающими:

- управление локальной системой оповещения;
- прямую телефонную и, при необходимости, радиосвязь с оперативными дежурными органов управления по делам гражданской обороны и чрезвычайным ситуациям субъекта Российской Федерации, города или городского района;
- прямую проводную и радиосвязь дежурного диспетчера со специализированными подразделениями ОАО «РЖД» по ликвидации чрезвычайных ситуаций;
- прием сообщений, передаваемых по территориальной системе централизованного оповещения;
- контроль прохождения сигналов и информации, передаваемых по локальной системе оповещения;
- телефонную связь общего пользования.

7.3.3.1.2.3 Технические средства локальных систем оповещения должны находиться в режиме постоянной готовности к передаче сигналов и информации оповещения и обеспечивать автоматизированное включение оконечных средств оповещения по сигналам территориальной автоматизированной системы централизованного оповещения и от дежурного диспетчера (начальника смены) потенциально опасного объекта ВСЖМ-1.

7.3.3.1.2.4 При создании локальных систем оповещения необходимо предусматривать их организационное, техническое и программное сопряжение с территориальной автоматизированной системой централизованного оповещения субъекта Российской Федерации, системами аварийной сигнализации и контроля потенциально опасного объекта.

7.3.3.1.2.5 Зоны действия локальных систем оповещения объектов ВСЖМ-1 определяются в соответствии с действующими нормативными документами и с учетом особенностей построения сетей связи и вещания в районе размещения потенциально опасного объекта (в соответствии с инфраструктурой ВСЖМ-1: депо, вокзалов, перронов, переездов и пр.).

7.3.3.2 Организационно-техническое построение локальных систем оповещения в районах размещения потенциально опасных объектов высокоскоростной железнодорожной магистрали

7.3.3.2.1 В помещении диспетчерской, на узлах связи объектов ВСЖМ-1 должны устанавливаться:

- автоматизированный терминал управления – для управления локальной системой оповещения (в том числе, для контроля речевой информации, передаваемой по локальной системе оповещения), приема сигналов и речевой информации оповещения, передаваемой по территориальной автоматизированной системе централизованного оповещения, а также для передачи информации об аварии в орган управления по делам гражданской обороны и чрезвычайным ситуациям субъекта Российской Федерации;

- средства связи с дежурным персоналом, с оперативным дежурным органа управления по делам гражданской обороны и чрезвычайным ситуациям субъекта Российской Федерации, города или городского района.

7.3.3.2.2 На узлах связи должны устанавливаться:

- коммутационное оборудование для стыка с магистральными сетями связи ВСЖМ-1 и коммутации команд дистанционного управления и речевой информации, передаваемых по ЛСО на оконечные комплекты аппаратуры оповещения;

- преобразователи стыков и сигнализаций для приема команд дистанционного управления и речевой информации, передаваемых по сетям ГО и ЧС и ЛСО потенциально опасных объектов, находящихся в зоне ВСЖМ-1 и других служб, для сопряжения с оконечными комплектами аппаратуры оповещения;

- оконечные комплекты аппаратуры оповещения – трансляционные усилители с распределительной сетью громкоговорителей.

7.3.3.2.3 На пассажирских перронах, а также в зданиях на объектах высокоскоростной железнодорожной магистрали, должны устанавливаться преобразователи стыков и сигнализаций совместно с оконечными комплектами аппаратуры оповещения либо оконечные точки оповещения.

7.3.3.2.4 В точках обмена (места включения в сети ГО и ЧС или ЛСО потенциально опасных объектов) должно устанавливаться:

- коммутационное оборудование;

- преобразователи соответствующих стыков и сигнализаций.

7.3.3.3 Основные технические требования к характеристикам комплекса технических средств оповещения

ЛСО ВСЖМ-1 должна представлять собой мультисервисную сеть на базе пакетных технологий, основанную на стандартизированных протоколах, с возможностью быстрого интегрирования в нее дополнительных функций и услуг без перерыва функционирования системы;

ЛСО ВСЖМ-1 должна содержать в своем составе средства дистанционного автоматического мониторинга состояния оборудования и средства дистанционного управления ЛСО.

ЛСО ВСЖМ-1 должна иметь в своем составе средства документирования переговоров и хранения информации.

ЛСО ВСЖМ-1 должна иметь интерфейсы для сопряжения с ЛСО потенциально опасных объектов, находящихся на территории, примыкающей к маршруту прохождения ВСЖМ-1.

ЛСО должна иметь интерфейсы для сопряжения со службами ВСЖМ-1.

Оборудование ЛСО должно иметь интерфейс подключения к магистральной сети ВСЖМ-1 – Ethernet 10/100BaseTX, Ethernet 100BaseFX.

Оборудование ЛСО ВСЖМ-1 должно иметь возможность дуплексной передачи речевой информации с целью дальнейшего развития и интеграции с другими служебными системами связи ОАО «РЖД».

Оборудование ЛСО должно иметь возможность для работы в мультисервисных сетях с применением протокола SIP.

Оборудование ЛСО должно обеспечивать возможность кодирования речи в соответствии с протоколами G.711, G722 (для протокола SIP).

Оборудование ЛСО должно обеспечивать соединение с системами централизованного оповещения субъекта Российской Федерации – IP (TCP/UDP) или каналы ТЧ и «сухие контакты».

## **7.4. Железнодорожная радиосвязь**

### **7.4.1 Общие положения**

7.4.1.1 Классификация, назначение и состав сетей железнодорожной радиосвязи в проекте ВСЖМ-1

7.4.1.1.1 Железнодорожная радиосвязь в проекте ВСЖМ-1 должна включать следующие системы радиосвязи:

- цифровую систему технологической радиосвязи (ЦСТР) стандарта GSM-R (диапазон 900 МГц) или систему следующих поколений (LTE, 5G и пр.) при появлении соответствующих разрешительных и нормативно-технических документов;

- цифровую систему технологической радиосвязи стандарта DMR (диапазон 160 МГц);

- цифровую систему технологической радиосвязи стандарта LTE (диапазон 1800 МГц (TDD));

- систему технологической ремонтно-оперативной радиосвязи (РОРС) на базе сетей подвижной связи коммерческих операторов (по данным радиосетям может передаваться только информация, не связанная с безопасностью движения поездов).

7.4.1.1.2 Цифровая система технологической радиосвязи стандарта GSM-R (или иная система следующих поколений) должна обеспечивать при скоростях движения на ВСЖМ-1 до 400 км/ч:

- организацию поездной радиосвязи с использованием индивидуальных, групповых и циркулярных вызовов следующих абонентов: поездных и энергодиспетчеров, машинистов локомотивов, моторвагонных

поездов, специального подвижного состава, дежурных по станциям и по депо, начальников поездов и других работников, участвующих в выполнении поездной работы;

- организацию беспроводных каналов передачи данных для информационно-управляющих систем управления движением поездов и обеспечения безопасности движения (РСУДП).

7.4.1.1.3 Цифровая система технологической радиосвязи стандарта DMR (диапазона 160 МГц) является резервной системой поездной радиосвязи в диапазоне скоростей до 250 км/ч, а также основной системой станционной радиосвязи.

В связи с тем, что на момент разработки СТУ отечественный и международный практический опыт использования ЦСТР стандарта DMR на скоростях до 400 км/ч отсутствует, применение ЦСТР стандарта DMR в качестве резервной системы ПРС должно осуществляться со снижением скорости движения подвижных единиц до значений, для которых гарантировано обеспечение заданных требований к каналам ПРС.

ЦСТР стандарта DMR должна обеспечивать возможность передачи данных в информационно-управляющих системах.

7.4.1.1.4 Цифровая система технологической радиосвязи стандарта LTE диапазона 1800 МГц (TDD) предназначена для использования в качестве:

- основной системы передачи данных для ИУС на станциях и перегонах.

- резервной системы СРС,

- резервной системы ПРС и каналов передачи данных РСУДП;

В случае появления необходимой разрешительной и нормативно-технической документации ЦСТР стандарта LTE диапазона 1800 МГц (TDD) может использоваться в качестве основной системы для организации поездной радиосвязи и каналов передачи данных РСУДП.

7.4.1.1.5 Система технологической ремонтно-оперативной радиосвязи (РОРС) на базе сетей подвижной связи коммерческих операторов предназначена для обеспечения технологической радиосвязью персонала, не связанного непосредственно с организацией перевозочного процесса.

7.4.1.1.6 На линии ВСЖМ-1 может эксплуатироваться подвижной состав следующих типов:

- высокоскоростной электроподвижной состав (скорость до 400 км/ч);

- специальные и пассажирские поезда (скорость до 200 км/ч).

Подвижной состав любого типа, эксплуатируемый на линии ВСЖМ-1, должен быть оснащен следующими средствами радиосвязи:

- радиостанциями с приемопередатчиками диапазонов 900 МГц (система стандарта GSM-R или система следующих поколений (LTE, 5G и пр.)), 160 МГц (стандарт DMR и аналоговая радиосвязь), 1800 МГц (стандарт LTE (TDD)), 2 МГц (аналоговая радиосвязь). При этом аналоговая радиосвязь необходима для обеспечения радиосвязи с подвижным объектом при его выезде за пределы ВСЖМ-1 на железнодорожные участки,

оснащенные соответствующими аналоговыми системами технологической радиосвязи;

- радиостанциями для организации РОПС на базе сетей подвижной связи коммерческих операторов.

Для обеспечения работы систем управления движением поездов, а также иных систем, требующих определения местоположения подвижного объекта, подвижной состав должен оснащаться модулями ГЛОНАСС/GPS.

Рабочие места начальников пассажирских поездов должны оснащаться радиостанциями, обеспечивающими передачу речи в диапазонах:

- 900 МГц (система стандарта GSM-R или система следующих поколений (LTE, 5G и пр.));
- 160 МГц (стандарт DMR и аналоговая связь);
- 1800 МГц (стандарт LTE) (TDD));
- 2 МГц (аналоговая радиосвязь).

7.4.1.1.7 Электропитание средств радиосвязи на подвижных объектах должно осуществляться от источников напряжением 48 В с допустимыми отклонениями от номинального напряжения не более  $\pm 20\%$ .

Для средств радиосвязи, установленных на электропоезде, должно быть предусмотрено питание от бортовой сети постоянного тока 110 В.

7.4.1.1.8 Электроснабжение стационарных средств радиосвязи должно осуществляться как электроприемников I категории особой группы. Электроснабжение должно осуществляться от двух независимых фидеров.

В качестве третьего независимого источника может быть предусмотрена либо аккумуляторная батарея, обеспечивающая не менее 8 часов непрерывной работы при пропадании электроснабжения по внешним фидерам, либо стационарная ДГУ. При использовании в качестве третьего источника АКБ должна быть предусмотрена возможность использования возимой электростанции, которая может быть доставлена и запущена в работу в течение не более восьми часов. При наличии стационарной ДГУ (или третьего независимого фидера) для обеспечения бесперебойности должна предусматриваться АКБ, обеспечивающая не менее 2 часов непрерывной работы при пропадании электроснабжения по внешним фидерам.

## **7.4.2 Цифровые системы технологической радиосвязи (ЦСТР)**

7.4.2.1 Цифровая система технологической радиосвязи стандарта GSM-R

7.4.2.1.1 Функциональные требования к ЦСТР стандарта GSM-R и требования по гарантированной безопасности и надежности

7.4.2.1.1.1 Должны быть реализованы следующие функции передачи речи GSM-R:

- циркулярный голосовой вызов (VBS);
- групповой голосовой вызов (VGSC);
- вызовы, адресуемые в зависимости от места (LDA);



- функциональный вызов (FA);
- железнодорожный аварийный вызов;
- общегражданский аварийный вызов (112);
- вызовы между абонентами, включая использование номеров MSISDN.

На основе анализа технологических процессов формируется таблица доступности абонентов ВСЖМ-1, в которой должны быть установлены группы и категории абонентов, условия доступности для абонентов сетей GSM-R и абонентов других сетей (DMR), права, обязанности, приоритеты вызовов и т. д.

7.4.2.1.1.2 Должны быть реализованы следующие функции передачи данных GSM-R:

- передача данных коммутируемых цепей (CSD);
- передача пакетных данных GPRS и EDGE;
- передача коротких сообщений (текста) (SMS).

Должна быть возможность отправки сообщений SMS с использованием адресации по номеру MSISDN, функциональной адресации и адресации, зависящей от места.

Должна быть возможность отправки (приема) сообщений SMS из терминалов мобильной и фиксированной диспетчерской связи. Отправитель сообщения SMS должен автоматически получить подтверждение, что абонент, которому было отправлено сообщение, его получил.

7.4.2.1.1.3 Топология сети GSM-R, места размещения BTS по участку и высоты установки антенн должны обеспечивать непрерывность радиопокрытия при обеспеченности радиосвязью с вероятностью 95% по времени и месту на границах зоны обслуживания каждой BTS при минимальном уровне радиосигнала на входе приемника локомотивной радиостанции минус 92 дБм и высоте установки антенны локомотивной радиостанции 4 м.

Обеспечение непрерывности радиопокрытия предполагает:

- организацию связи без переустановки соединения абонентом на все время занятия радиоканала для информационного обмена с учетом заданной вероятности обеспеченности связью по месту и времени;
- достижение перекрытия смежных зон обслуживания BTS, достаточного для реализации функции эстафетной передачи («хэндовера»);
- двойное покрытие зон обслуживания соседних BTS.

7.4.2.1.2 Архитектура ЦСТР стандарта GSM-R, основные компоненты

7.4.2.1.2.1 Система GSM-R должна быть построена как новая система с возможностью интеграции в существующие сети GSM-R ОАО «РЖД» и должна включать в себя следующие основные подсистемы:

- коммутации (NSS);
- базовых станций (BSS);
- управления сетью (NMS);
- регистрации переговоров абонентов (CRS);

- мобильных станций (MSS);
- фиксированной диспетчерской связи (FDN).

7.4.2.1.3 Организация каналов связи между элементами ЦСТР стандарта GSM-R

7.4.2.1.3.1 Должна быть сформирована оптическая транспортная платформа на основе технологии WDM (DWDM и CWDM).

7.4.2.1.3.2 Транспортная (первичная) сеть должна быть сформирована на основе двух видов типовых сетевых фрагментов:

- типового звена (ТЗВ);
- типовой секции (ТС), включающей в себя цепочку ТЗВ и прямое соединение транзитно-периферийных узлов (ТПУ) ТПУ–ТПУ, организованное на свободной паре оптических волокон.

7.4.2.1.3.3 На прямом соединении ТПУ–ТПУ должна использоваться технология DWDM, в цепочке ТЗВ – технология CWDM.

7.4.2.1.3.4 Для организации СПД ОTH в региональных узлах (РУ) необходимо установить маршрутизаторы MPLS с расширенной функциональностью.

В ТПУ по концам ТС необходимо также установить маршрутизаторы MPLS. На каждом ПУ в цепочке ТЗВ между ТПУ необходимо установить коммутаторы Ethernet, осуществляющие переключения на уровне L2.

7.4.2.1.4 Администрирование, конфигурирование ЦСТР стандарта GSM-R, включение в единую систему мониторинга и администрирования (ЕСМА) сетей связи ОАО «РЖД»

7.4.2.1.4.1 Для реализации функций администрирования и конфигурирования ЦСТР должно быть предусмотрено использование действующей Единой системы мониторинга и администрирования сети связи ОАО «РЖД» (ЕСМА).

7.4.2.1.4.2 Информация о состоянии оборудования должна передаваться в служебных каналах группового линейного тракта и поступать в сеть передачи данных ЕСМА через шлюзовые элементы.

7.4.2.1.4.3 Действующее серверное оборудование ЕСМА должно располагаться в Центре технологического управления (ЦТУ), а рабочие места операторов – в ЦТУ и центрах технического обслуживания (ЦТО).

7.4.2.2 Цифровая система технологической радиосвязи стандарта DMR

7.4.2.2.1 Функциональные требования к ЦСТР стандарта DMR и требования по гарантированной безопасности и надежности

7.4.2.2.1.1 Должны быть реализованы следующие функции передачи речи:

- циркулярный голосовой вызов;
- групповой голосовой вызов;

На основе анализа технологических процессов должна быть сформирована таблица доступности абонентов ВСЖМ-1, в которой должны быть установлены группы и категории абонентов, условия доступности для

абонентов сетей DMR и абонентов других сетей (GSM-R), права, обязанности, приоритеты вызовов и т. д.

7.4.2.2.1.2 Должны быть реализованы следующие функции передачи данных:

- передача данных коммутируемых цепей.

7.4.2.2.2 Архитектура ЦСТР стандарта DMR, основные компоненты

7.4.2.2.2.1 Цифровая система DMR поездной радиосвязи должна включать:

- распорядительную станцию;
- диспетчерские абонентские терминалы (пульты);
- пульты дежурных по станции;
- сервер управления сетью радиосвязи (радиосервер);
- стационарные радиостанции;
- ретрансляторы;
- локомотивные (возимые) радиостанции по стандарту DMR в вариантах исполнения для телефонной связи и передачи данных;
- носимые радиостанции;
- программное обеспечение системы, включающее комплекс для конфигурирования стационарных радиостанций, ретрансляторов станций, мобильных радиостанций и носимых радиостанций; комплекс для распорядительной станции;
- АРМ мониторинга, контроля, администрирования системы, взаимодействующий с ЕСМА;
- регистратор переговоров.

7.4.2.2.2.2 Цифровая система передачи данных по радиоканалу должна включать:

- стационарную радиостанцию с функцией передачи данных по радиоканалу;
- локомотивную радиостанцию с функцией передачи данных по радиоканалу;
- АРМ мониторинга, контроля, администрирования системы, взаимодействующий с ЕСМА.

7.4.2.2.2.3 Сооружения и устройства инфраструктуры:

- антенно-фидерные устройства;
- системы бесперебойного электропитания и заземления.

7.4.2.2.3 Администрирование, конфигурирование ЦСТР стандарта DMR, включение в единую систему мониторинга и администрирования (ЕСМА) сетей связи ОАО «РЖД»

7.4.2.2.3.1 В системе DMR должен обеспечиваться мониторинг и администрирование стационарных радиостанций, репитеров, локомотивных радиостанций, терминалов и пультов управления и работы системы в целом на АРМ администратора сети и взаимодействие с ЕСМА.

7.4.2.2.3.2 Единая система мониторинга и администрирования должна обеспечивать взаимодействие с базой данных системы ПРСЦ-160 (система передачи данных в радиочастотном диапазоне 160 МГц):

- возможность задавать пользовательские папки для хранения архивов базы данных и записей переговоров;
- просмотр информации о базе данных (сервер, имя, размер базы данных, общий размер аудиофайлов записей переговоров);
- архивирование старой базы данных (все данные старше указанной даты удаляются и создается архив базы данных с возможностью его последующего восстановления);
- архивирование базы данных по расписанию (база данных архивируется регулярно в соответствии с пожеланиями администратора);
- возможность восстановления всех данных системы из имеющегося архива базы данных и записей переговоров;
- сохранение всех данных при обновлении версии ПО.

7.4.2.2.3.3 ЕСМА ПРСЦ-160 должна обеспечивать работу с радиоканалом и голосовыми функциями:

- настройки различных схем перенаправления вызовов, позволяющих соединять между собой различные радиосети (каналы), в том числе аналоговые и цифровые, объединяя их в общую радиосеть;
- подключения внешнего микрофона (тангенты) к распорядительной станции (нажатие тангенты автоматически инициирует вызов на выбранном канале).

7.4.2.3 Цифровая система технологической радиосвязи стандарта LTE

7.4.2.3.1 ЦСТР стандарта LTE должна включать следующие функциональные узлы:

- подсистема ядра коммутации пакетов EPC;
- подсистема приложений MCx (MissionCritical x - MCPTT (голос), MCVideo (видео), MCData (данные и сообщения)) для организации сервисов абонентов, сервисы записи видео и переговоров, сервисы по предоставлению услуг геолокации;
- подсистема управления;
- подсистема регистрации переговоров;
- подсистема базовых станций радиодоступа eNodeB. Обеспечивает взаимодействие между возимыми радиостанциями (локомотивными) и носимыми радиостанциями;
- абонентского оборудования.

Доступность одного узла должна быть не менее 99,999 %.

Архитектура сети LTE для реализации VoLTE и MCPTT может быть основана на IMS или SIP core.

Состав оборудования ядра сети LTE должен включать оборудование:

- подсистема абонентских данных (HSS – Home Subscriber Server);
- подсистема управления мобильностью (MME – Mobility Management Entity);

- подсистема обслуживающего шлюза (S-GW – Serving Gateway);
- подсистема пакетного шлюза (P-GW – Packet Data Network Gateway);
- подсистема применения правил и тарификации (PCRF – Policy and Charging Rules Function).

Должны поддерживаться процедуры разгрузки элементов ядра сети без влияния на сервис абонентов (MME pool, apn graceful shutdown).

Должно быть предусмотрено оборудование подсистемы управления сетью (NMS) для оборудования ядра сети и базовых станций eNodeB с поддержкой следующей функциональности:

- а) обеспечение разграничения доступа для разных пользовательских групп и обеспечение возможности интеграции со сторонними системами авторизации (поддержка протокола LDAP, RADIUS, TACACS);
- б) обеспечение доступа ко всем сетевым элементам через консоль;
- в) обеспечение хранения резервной копии ПО и конфигурации для всех узлов;
- г) обеспечение хранения и доступа к данным статистики и основным KPI сети;
- д) отображение аварий на узлах;
- е) поддержка протоколов File Transfer Protocol over SSL (FTPS), Secure Socket Layer (SSL), and IP security (IPSec).

Компоненты ядра системы LTE должны обеспечивать поддержку процедур «UE requested bearer resource allocation procedure» согласно спецификации 3GPP TS 24.301.

На этапе разработки конфигурации ядра системы LTE должна быть согласована поддержка решением возможности создания локальных статических static PCC rules (Policy and Charging Control) правил на уровне узла PGW и возможности активации выделенного контекста (dedicated bearer) без взаимодействия с PCRF.

Дополнительно должна быть рассмотрена возможность активации выделенного контекста (dedicated bearer) после детектирования трафика с указанными параметрами (IP адрес, порт, тип протокола) для возможности организации сервисов с гарантированным качеством канала передачи данных.

7.4.2.3.2 Должно быть предусмотрено подключение к системе ЕСМА ОАО «РЖД» с обеспечением возможности удаленного мониторинга/администрирования с рабочих мест ЦТУ/ЦТО. Интеграция с ЕСМА должна осуществляться с помощью интерфейса CORBA и протокола SNMP.

7.4.2.3.3 Для записи ведущихся переговоров и событий в системе должны быть предусмотрены сервер и база данных, обеспечивающие хранение информации не менее 30 суток.

7.4.2.3.4 Требования к системе ЦСТР стандарта LTE по резервированию

7.4.2.3.4.1 Требования к резервированию ядра сети:

- все компоненты ядра сети должны соответствовать принципам резервирования 1+1 либо N+1, то есть остановка функционирования одного из сетевых элементов не должна являться причиной остановки предоставления услуги;

- должно обеспечиваться резервирование ядра сети LTE на уровне приложений (выход из строя одного сервера не должен приводить к выходу из строя узла);

- все подсистемы должны поддерживать схему географического резервирования;

- в составе поставляемого решения должна быть представлена схема резервирования Active-Standby Geographical Redundancy (либо Active-Active Geographical Redundancy) со 100 % резервированием каждого узла;

- после принудительной/неконтролируемой перезагрузки сетевых элементов системы восстановление полного функционирования комплекса должно происходить автоматически;

- базы данных, используемые в системе, должны основываться на кластерном решении во избежание единой точки отказа;

- в случае выхода из строя любого из компонентов системы должен автоматически включаться режим «обхода»;

- система должна поддерживать механизмы удаленного восстановления после сбоев;

- решение должно предусматривать наличие механизмов балансировки нагрузки и обработки отказов, возникающих в случае перегрузки системы.

#### 7.4.2.3.4.2 Требования к резервированию подсистемы базовых станций:

- резервирование базовых станций должно обеспечиваться преимущественно за счет «двойного» радиопокрытия от двух соседних базовых станций. При невозможности двойного радиопокрытия, применяется аппаратное резервирование 1+1.

#### 7.4.2.3.5 Требования к радиопокрытию ЦСТР стандарта LTE

Топология ЦСТР стандарта LTE, места размещения базовых станций по участку и высоты установки антенн должны обеспечивать:

- доступность абонентских устройств по времени и месту на границах зоны обслуживания каждой базовой станции, определенную в рамках проектирования. При оценке зон обслуживания принимать высоту установки локомотивных антенн равной 4 м над уровнем головки рельса, высоту антенны носимых радиостанций – 1,5 м;

- минимальная скорость передачи данных в канале с локомотивными радиостанциями и абонентскими устройствами на границе зон обслуживания базовых станций должна быть определена в процессе проектирования после определения (согласования) видов связи и услуг, информационных и управляющих систем (ИУС);

- наличие двойного радиопокрытия всех железнодорожных участков между смежными БС;

- перекрытие зон обслуживания смежных БС должно обеспечивать гарантированную реализацию функции эстафетной передачи («хендвера»).

7.4.2.3.5.1 Перечень информационных и управляющих систем (ИУС) и требования к ним в части обеспечения надежной передачи данных, пропускной способности, приоритетности, резервирования определить в рамках проектирования, в том числе с учетом письма от 10 октября 2022 г. № 8276/ИСХ-5532/НИИАС (Перечень ИУС направлен в АО «Росжелдорпроект» письмом от 13 октября 2022 г. №ИСХ-8005/ЦСС).

### **7.4.3 Ремонтно-оперативная радиосвязь на базе сетей радиосвязи коммерческих операторов**

7.4.3.1 Назначение системы технологической ремонтно-оперативной радиосвязи на базе сетей радиосвязи коммерческих операторов (РОРС СРКО)

Назначение системы РОРС СРКО – предоставление подвижной радиотелефонной связи персоналу ОАО «РЖД» для выполнения технологических процессов технического обслуживания, ремонта объектов инфраструктуры и подвижного состава.

По сети РОРС СРКО может передаваться только та информация, которая непосредственно не связана с обеспечением безопасности движения поездов.

7.4.3.2 Технические требования к системе технологической ремонтно-оперативной радиосвязи на базе сетей радиосвязи коммерческих операторов

7.4.3.2.1 РОРС СРКО должна обеспечивать:

7.4.3.2.1.1 Радиотелефонную связь для персонала ОАО «РЖД»:

- между собой и внутри структурного подразделения по заданным параметрам доступности соединений абонентов;

- между структурными подразделениями и филиалами ОАО «РЖД» по заданным параметрам доступности соединений;

- с оперативно-диспетчерским аппаратом структурных подразделений, филиалов и центрального аппарата ОАО «РЖД»;

- с руководителями структурных подразделений, филиалов, центрального аппарата ОАО «РЖД»;

- с экстренными службами;

7.4.3.2.1.2 Ведение переговоров между абонентами РОРС СРКО с использованием индивидуальных вызовов;

7.4.3.2.1.3 Ведение переговоров между абонентами РОРС СРКО с использованием групповых вызовов по заданным параметрам доступности соединений абонентов;

7.4.3.2.1.4 Выход абонентов РОРС СРКО в общетехнологическую телефонную сеть связи ОАО «РЖД» по заданным параметрам доступности соединений абонентов;

7.4.3.2.1.5 Выход абонентов РОРС СРКО в сеть оперативно-технологической связи ОАО «РЖД» по заданным параметрам доступности соединений абонентов;

7.4.3.2.1.6 Использование приоритетов для абонентов РОРС СРКО различных категорий;

7.4.3.2.1.7 Регистрацию переговоров абонентов РОРС СРКО;

7.4.3.2.1.8 Тарификацию переговоров абонентов РОРС СРКО;

7.4.3.2.1.9 Организацию факсимильной связи и передачи данных (с мест проведения работ) для абонентов РОРС СРКО;

7.4.3.2.1.10 Возможность работы абонентов РОРС СРКО с использованием «коротких номеров», используемых в нумерации сети ОБТС.

7.4.3.2.2 Для каждой железной дороги ОАО «РЖД», по территории которой проходит ВСЖМ-1, в рамках выделенного диапазона нумерации ОБТС должны быть разработаны таблицы доступности абонентов, в которых указываются:

- полный список абонентов РОРС СРКО ВСЖМ-1;
- сформированные группы абонентов;
- связанность между группами;
- DEF-абонентские номера оператора и соответствующие им номера ведомственной сети.

7.4.3.2.3 В РОРС СРКО могут использоваться следующие абонентские терминалы:

- носимые терминалы;
- терминалы, устанавливаемые на подвижных объектах;
- стационарные терминалы для оперативно-диспетчерского аппарата ОАО «РЖД».

Необходимость использования терминалов с функциями GLONASS/GPS определяется для каждой категории абонентов дополнительно.

7.4.3.2.4 Сеть РОРС СРКО должна обеспечивать предоставление следующих услуг (функций):

7.4.3.2.4.1 Услуги мобильной связи:

- передачу речевых сообщений (телефония, аварийные вызовы);
- передачу коротких сообщений;
- передачу факсимильных сообщений.

#### **7.4.4 Антенно-фидерные устройства в системах железнодорожной радиосвязи в проекте ВСЖМ-1**

7.4.4.1 Общие требования по организации антенно-фидерных устройств в системах железнодорожной радиосвязи в проекте ВСЖМ-1

7.4.4.1.1 Расстояние между смежными антенными мачтами и высота подвеса антенн над уровнем земли должны определяться с условием обеспечения надежной передачи соединения между соседними базовыми станциями радиосети и минимально допустимой скорости передачи данных на подвижной объект на скоростях до 400 км/ч, а также обеспечения радиопокрытия на станциях.

7.4.4.2 Организация антенно-фидерных устройств в цифровых системах технологической радиосвязи стандарта GSM-R (или системах диапазона 900 МГц следующих поколений (LTE, 5G и пр.))

7.4.4.2.1 В состав антенно-фидерного тракта (АФТ) базовых станций ЦСТР, как правило, входят:



- приемо-передающие антенные системы (Rx/Tx) или отдельно приемные (Rx) и передающие (Tx) антенные системы;
- радиочастотные коаксиальные кабели;
- соединительные радиочастотные кабельные вставки (джамперы);
- дополнительные элементы (сумматоры/делители мощности, предварительные усилители, заземлители и т. д.).

7.4.4.2.2 При разработке схем АФТ следует стремиться к минимизации разнообразия типов применяемых антенн, фидеров и дополнительных устройств, что позволит в дальнейшем существенно упростить обслуживание ЦСТР.

7.4.4.2.3 Базовые станции GSM-R должны оснащаться приемо-передающими панельными антеннами с вертикальной поляризацией. При этом в антенно-фидерном тракте производится объединение трактов передачи и приема.

7.4.4.2.4 Для подключения антенной системы к базовым приемо-передающим станциям должны применяться радиочастотные коаксиальные кабели с погонным затуханием значение которого определяется на этапе проектирования.

7.4.4.2.5 Для распределения радиочастотного сигнала по разнонаправленным антеннам необходимо подключать их через делитель сигнала.

7.4.4.2.6 При определении характеристик антенно-фидерного тракта ЦСТР диапазона 900 МГц необходимо учитывать следующие требования:

- потери в высокочастотном кабеле не должны превышать 1 дБ;
- коэффициент усиления стационарной антенны должен быть равен 17 дБи;
- ширина диаграммы направленности стационарной антенны в горизонтальной плоскости должна составлять 20 градусов.

7.4.4.3 Организация антенно-фидерных устройств в цифровых системах технологической радиосвязи стандарта DMR

7.4.4.3.1 Для оснащения участков ПРС, работающих в диапазоне 160 МГц, должны применяться стационарные антенны, разрешенные для применения на железнодорожном транспорте. Характеристики антенно-фидерного тракта и антенны должны выбираться на этапе проектирования с учетом конфигурации требуемой зоны покрытия радиосети и необходимой высоты установки антенны. При этом должны быть учтены следующие требования:

- погонное затухание высокочастотного фидера должно быть не более 4 дБ/100 м;
- коэффициент усиления антенн должен быть не ниже: 10,15 дБи – для однонаправленных антенн; 8,15 дБи – для двунаправленных антенн; 2,15 дБи – для ненаправленных антенн;
- ширина диаграммы направленности направленных стационарных антенн в горизонтальной плоскости должна быть не более 72 градусов.

7.4.4.4 Организация антенно-фидерных устройств в цифровых системах технологической радиосвязи стандарта LTE диапазона 1800 МГц (TDD).

7.4.4.4.1 Требования к антенно-фидерным устройствам в цифровых системах технологической радиосвязи стандарта LTE диапазона 1800 МГц (TDD) должны определяться на этапе проектирования системы. При этом необходимо учесть следующие требования:

- максимальное затухание в антенно-фидерном тракте базовой станции или локомотивной радиостанции должно быть не более 1 дБ;

- коэффициент усиления антенны базовой станции должен быть равен  $17,8 \pm 0,3$  дБи;

- ширина диаграммы направленности стационарной антенны базовой станции в горизонтальной плоскости должна составлять 2 x 62-67 градусов.

7.4.4.5 Молниезащита стационарных антенн

7.4.4.5.1 Молниезащите должны подлежать все антенны, находящиеся на крышах зданий и на отдельно стоящих опорах или мачтах. Молниезащита антенн должна состоять в их заземлении и в установке дополнительных устройств – молниеприемников, токоотводов и заземляющих устройств.

7.4.4.5.2 Соединение токоотводов между собой, а также присоединение их к молниеприемнику и к заземляющему устройству должно выполняться сваркой или болтовыми соединениями, но при этом площадь контакта между соединяемыми деталями должна быть не менее величины удвоенного сечения токоотводов.

Токоотводящие спуски следует прокладывать от молниеприемника к заземлителю кратчайшим путем без образования петель или острых углов.

7.4.4.5.3 При защите антенн с помощью специальных молниеприемников последние должны устанавливаться на расстоянии не менее 2 м от антенн, причем они не должны находиться в направлении связи.

7.4.4.5.4 Более подробно требования по молниезащите антенн, а также по организации заземлений рассмотрены в п.7.4.7 настоящих специальных технических условий.

## **7.4.5 Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств в сетях железнодорожной радиосвязи ВСЖМ-1**

7.4.5.1 Для всех сетей технологической радиосвязи, организуемых на участке ВСЖМ-1, должны быть определены и согласованы в установленном порядке зоны ограничения застройки (ЗОЗ) и санитарно-защитные зоны (СЗЗ).

7.4.5.2 При организации мобильной связи для пассажиров, организуемой с использованием сетей подвижной связи коммерческих операторов, должна обеспечиваться их электромагнитная совместимость с сетями технологической радиосвязи ВСЖМ-1.

7.4.5.3 Вопросы выделения радиочастот для организации сетей технологической радиосвязи на участке ВСЖМ-1 должны решаться в установленном действующим законодательством порядке, при необходимости включая организацию конверсии радиочастот.

7.4.5.4 Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств в сетях технологической радиосвязи ВСЖМ-1 должна обеспечиваться за счет корректного формирования частотно-территориального плана на этапе проектирования радиосети.

#### **7.4.6 Электропитание устройств в сетях железнодорожной радиосвязи ВСЖМ-1**

7.4.6.1 Электроснабжение стационарных средств радиосвязи должно осуществляться как электроприемников I категории особой группы.

Электроснабжение аппаратуры радиосвязи должно осуществляться от шины гарантированного питания вводной панели, к которой подведены два фидера электроснабжения.

7.4.6.2 Вводно-распределительное устройство должно использовать втычную распределительную систему со встроенными сборными шинами, которая обеспечивает компактность конструкции, максимальную гибкость и экономию времени и средств при первичной установке и модернизации.

7.4.6.3 Учет электроэнергии должен быть обеспечен с возможностью работы в составе АСКУЭ. Должны использоваться приборы учета энергоресурсов повышенного класса точности со встроенными интерфейсами связи для передачи накопленной информации.

7.4.6.4 Должны быть использованы средства мониторинга и диспетчеризации низковольтных распределительных сетей на основе внедрения системы измерения токов, что позволит обеспечить повышение безопасности и эффективности эксплуатации распределительных сетей 0,4 кВ, и предоставит возможность анализировать потребление каждой нагрузки распределительной системы, с целью увеличения эффективности потребления электроэнергии.

7.4.6.5 Для автоматического поддержания выходного напряжения должны использоваться стабилизаторы напряжения каждой фазы в диапазоне допустимых значений установившегося отклонения в соответствии с ГОСТ 32144-2013 при кратковременных и длительных отклонениях напряжения сети от номинального значения в диапазоне от 160 до 295 В. Стабилизаторы напряжения должны поддерживать функции дистанционного контроля и управления.

7.4.6.6 Электропитание устройств радиосвязи должно обеспечиваться от источников бесперебойного питания (ИБП) и электропитающих установок постоянного тока (ЭПУ), имеющих в своем составе аккумуляторные батареи.

7.4.6.7 Электропитающие установки должны состоять из выпрямительных модулей с номинальным напряжением минус 48 В и буферной аккумуляторной батареи. Резервирование выпрямительных модулей проектируемых ЭПУ должно осуществляться по схеме N+1.

7.4.6.8 Аккумуляторные батареи должны состоять из герметизированных необслуживаемых аккумуляторов. Номинальная емкость аккумуляторных батарей определяется десятичасовым режимом разряда до конечного напряжения 1,8 В на элемент при температуре 20°C (если иное не

рекомендуется производителем). Должна быть предусмотрена защита аккумуляторной батареи от ее чрезмерного заряда или разряда.

7.4.6.9 При обеспечении требований электромагнитной совместимости установок питания с другим оборудованием должны быть учтены все виды воздействий в части помехоустойчивости и помехоэмиссии в соответствии с ГОСТ 29192-91.

7.4.6.10 Должна быть предусмотрена система диагностики и мониторинга оборудования электропитания на узлах связи. Контроль состояния вводно-распределительных устройств электроснабжения устройств железнодорожной радиосвязи и приборов учета электроэнергии должен быть включен в Единую систему мониторинга и администрирования сетей технологической связи ОАО «РЖД».

#### **7.4.7 Требования к системе заземления и молниезащиты**

7.4.7.1 Заземляющие устройства сооружений радиосвязи должны обеспечивать:

- электробезопасность;
- молниезащиту.

Организация системы заземления и молниезащиты должна осуществляться с учетом положений действующей концепции комплексной защиты технических средств и объектов железнодорожной инфраструктуры от воздействия атмосферных и коммутационных перенапряжений и влияния тягового тока.

7.4.7.2 Для обеспечения требований электробезопасности заземление всех видов аппаратуры радиосвязи, устанавливаемых внутри служебно-технических зданий, осуществляется подсоединением ее отдельными проводниками к шинам защитной проводки, которые присоединены к защитному заземляющему устройству служебно-технического здания.

7.4.7.3 Защита антенно-мачтовых сооружений от прямых ударов молнии осуществляется путем заземления антенных опор и антенно-фидерных устройств.

Молниезащите подлежат антенные сооружения, состоящие из антенных опор, антенн и фидерных линий с учетом их вводов в техническое здание.

Молниезащите подлежит каждая металлическая и железобетонная антенная опора и каждая металлическая оконечная фидерная опора независимо от их числа на территории радиообъекта.

У антенных опор (металлических и железобетонных мачт) заземлению подлежит ствол мачты, а также оттяжки у каждого анкера. Все оттяжки у общего анкера должны присоединяться к одному заземлителю.

Деревянные и асбестоцементные мачты и их оттяжки, секционированные изоляторами, а также деревянные и асбестоцементные фидерные опоры молниезащите не подлежат.

Не допускается использовать в качестве токоотвода оплетку коаксиального кабеля, соединяющего антенну с радиостанцией.

В качестве токоотводов следует использовать металлические мачты или стальной прут сечением не менее 20 мм<sup>2</sup>.

При установке антенн на железобетонных мачтах (опорах) токоотводом может служить их арматура.

7.4.7.4 При невозможности использования естественных заземлителей выполняют искусственные заземлители: каждый токоотвод молниеприемника должен быть присоединен к специально установленному заземлителю.

## **8 Автоматизированная система технического диагностирования и мониторинга объектов инфраструктуры и природно-климатических условий высокоскоростной железнодорожной линии Москва – Санкт-Петербург. Технические нормы и требования к проектированию и строительству**

При разработке разделов проектной документации в части системы технического диагностирования и мониторинга объектов инфраструктуры и природно-климатических условий высокоскоростной железнодорожной линии Москва – Санкт-Петербург следует руководствоваться ГОСТ 34913-2022, ГОСТ 34832-2022, ГОСТ 34783-2021, ГОСТ 34773-2021.

### Способы оценки карстоопасности

#### **А.1 Методика вычисления параметров карстово-суффозионных деформаций методом послойного аналитико-графического моделирования**

##### **А.1.1 Общие положения методики**

Послойное аналитико-графическое моделирование основывается на анализе инженерно-геологического разреза, при котором для каждого отдельного грунтового слоя (ГС) или инженерно-геологического элемента (ИГЭ) определяется наиболее вероятный механизм деформирования над полостью и рассчитываются параметры этих деформаций. Расчет ведется снизу-вверх по разрезу. Отправной точкой расчета является полость, которая может быть заложена на стыке карстующихся пород и выше лежащих грунтов. Результаты промежуточных расчетов для каждого грунтового слоя оформляются в виде схематичных колонок.

В основе расчетной части аналитико-графического моделирования лежат:

- известные зависимости механики грунтов (модели Кулона-Мора, Бирбаумера, Пека), устанавливающие особенности поведения толщи связных грунтов над полостью;

- условия истечения несвязных песчаных грунтов в полости и трещинные зоны, установленные А.В. Аникеевым [1];

- некоторые эмпирические зависимости развития провального процесса, определенные экспериментальным путем.

Результатом расчета являются:

- прогнозные диаметры провала и/или локального оседания на поверхности земли или в основании фундамента;

- прогнозные диаметры полостей (зон истечения песчаных грунтов) на различных глубинных срезах.

Аналитико-графический метод расчета учитывает как сугубо провальный, так и карстово-суффозионный механизмы образования провалов и локальных оседаний. В расчете могут быть учтены дополнительные нагрузки от проектируемых сооружений, а также аккумулятивная емкость карстующихся пород или их способность вмещать перемещаемый сверху материал из покровной толщи грунтов.

Используемые в расчетах морфометрических размеров карстовых деформаций физико-механические свойства грунтов оцениваются по данным лабораторных исследований, таблиц СП 22.13330.2016 (прил. А) и литературных источников (Юрик, 1976 [2]; Лысенко, 1980 [3]; Рубинштейн, Канаев, 1984 [4]; «Рекомендации по методике прогноза изменения

строительных свойств структурно-неустойчивых грунтов при подтоплении», 1984 [5]; Федоров, 1988 [6]).

### **А.1.2 Вычисление параметров деформирования связных и полускальных грунтовых слоев над полостью**

Критический диаметр полости  $D_{cr}$ , при котором происходит неминуемое обрушение слоя связного грунта, рассчитывается по формуле:

$$D_{cr} = 2m \left( \tan^2 \left( \frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right) \tan \varphi + \frac{2c(1 - I_L)}{\sigma_{z,p}} \right) \quad (\text{А.1.2.1})$$

где  $m$  – мощность ГС или ИГЭ, м;  $\varphi$  – угол внутреннего трения, градус;  $c$  – удельное сцепление, кПа;  $I_L$  – показатель текучести, д.е. (для полускальных грунтов принимается меньшим 0);  $\sigma_{z,p}$  – давление от собственного веса грунта и нагрузки от сооружения на глубине залегания полости, кПа.

Обычно полости критического диаметра в основании толщи связных грунтов формируются крайне редко и, как правило, приводят к образованию катастрофических провалов на дневной поверхности. Чаще процесс идет по другому сценарию, при котором на участках развития тектонических и структурных трещин, пронизывающих массивы пород, в толще связных грунтов могут быть сформированы субвертикальные трубообразные каналы-полости. Такие каналы всегда приурочены к наиболее ослабленным участкам массива, характеризующимся повышенной трещиноватостью и раздробленностью грунтов покровной толщи. Формирование трубообразных полостей происходит при частых колебаниях уровней трещинно-карстовых вод и обычно растянуто во времени на десятилетия и даже сотни лет.

Диаметр и форма в профиле полостей канального типа зависят от свойств грунтов, их мощности и интенсивности трещиной раздробленности. Так, в твердых глинах и полускальных грунтах диаметр полостей канального типа обычно варьирует в пределах 0,1 – 4 м, а их форма в профиле на всем протяжении от подошвы до кровли слоя связного грунта примерно одинакова и близка к трубе. При этом полость-приемник, залегающая в подошве слоя связных грунтов, может значительно превосходить по диаметру размеры развивающегося трубообразного канала.

В пластичных глинистых грунтах диаметр полости канального типа, наоборот, сильно различается в разных глубинных интервалах толщи и, в самом общем случае, имеет форму конуса, ориентированного острием вниз. Ближе к полости-приемнику формируется трубообразный канал, диаметр которого стремится к размеру полости приемника. Выше по разрезу толщи связных грунтов трубообразный канал постепенно расширяется за счет эффекта прогиба грунтов в сторону полости-приемника и образования трещин отрыва в периферийных частях.

Механика процесса формирования и развития трубообразных полостей до сих пор изучена слабо. Для определения максимального диаметра



трубообразной полости, пронизывающей толщу связных грунтов, рекомендуется пользоваться следующей эмпирической зависимостью:

$$D_{pipe} = e^{I_L} D_{fis} \frac{9,8 \rho m}{c} \quad (\text{A.1.2.2})$$

где  $\rho$  – плотность грунта, г/см<sup>3</sup>;  $D_{fis}$  – суммарная ширина раскрытия трещин в связных и полускальных грунтах, м.

Формула для определения диаметра  $D_{pipe}$  трубообразной полости в большинстве случаев справедлива при следующих условиях:

$$c \geq 3 \text{ кПа}, \quad D_{fis} \leq 5 \text{ м}, \quad I_L < 1, \quad m < 50 \text{ м} \quad (\text{A.1.2.3})$$

Ширина раскрытия трещин может быть определена по-разному. Наиболее точно ширина трещин определяется по анализу керна. В качестве ориентиров, когда видимые глазу трещины не различаются, могут быть использованы тонкослоистые включения и примазки карбонатов, песчаных частиц, пятна ожелезнения и пр. неоднородности. Расстояние между трещинами в глинистых грунтах обычно составляет 0,1 – 10 см. Оно определяется путем прямых замеров, когда трещины видны невооруженным глазом, или по размеру отдельностей керна, на которые он распадается при извлечении из буровой колонны. В целях карстологического прогноза провалообразования следует определять суммарную ширину трещин в пределах всей мощности слоя связного грунта.

В целом, определение величины ширины раскрытия трещин является весьма условным и может быть по-разному интерпретировано разными геологами. Однако более точного способа расчета диаметров трубообразных полостей в толще связных грунтов на сегодняшний день неизвестно. Для приблизительных расчетов параметра  $D_{fis}$  может быть использована матрица значений удельной ширины раскрытия трещин, см/м, в глинистых и поддающихся раскатыванию полускальных грунтах, слагающих покровную толщу, составленная по данным массового изучения керна пермских глин, аргиллитов и алевролитов [1].

Следует учитывать, что рассчитанное значение  $D_{pipe}$  не может быть больше критической величины диаметра  $D_{cr}$ , иначе теряется физический смысл модели.

В некоторых случаях связные глинистые грунты могут проявлять определенную эластичность и выгибаться или провисать в расположенную под ними полость. Такое поведение глинистой толщи может наблюдаться при относительно большой ее мощности и одновременно высокой сжимаемости, что характерно для пластичных разностей.

Диаметр мульды оседания (провисания)  $D_{sub}$  глинистого грунта, залегающего над полостью, определяется по формуле:

$$D_{sub} = 2 \sqrt{m^2 - \frac{D_{pod}^2}{4}} \quad (\text{A.1.2.4})$$

где  $D_{pod}$  – диаметр полости в подошве слоя, м.

Формирование мульды оседания пластичного глинистого грунта возможно над относительно широкой полостью при ее крайне незначительной высоте, когда прогибание грунта происходит одновременно с формированием полости. Не исключено и прогибание твердых глинистых грунтов над полостью, диаметр которой меньше критического для данного грунта. В целом для развития мульды оседания должны соблюдаться следующие условия:

$$\begin{aligned} D_{pod} < D_{cr} < D_{sub} \\ m \geq \frac{D_{pod}}{2} \end{aligned} \quad (A.1.2.5)$$

Оценить величину максимального прогиба (усадки)  $S_{max}$  связного грунта над полостью можно по формуле:

$$S_{max} = \frac{\sigma_{z,p} D_{pod}^3 m (1 - \nu^2) \left( 1 + \frac{\nu}{1 - \nu} \right)}{E (4m^2 - D_{pod}^2)} \quad (A.1.2.6)$$

где  $\nu$  – коэффициент Пуассона, д.е.;  $E$  – модуль деформации, кПа.

### **А.1.3 Вычисление параметров деформирования несвязных грунтовых слоев над полостью**

Поведение несвязных грунтов (песчаной толщи) над карстовой полостью или трещинной зоной в значительной степени отличается от особенностей деформирования связных глинистых грунтов. Такое отличие во многом связано с отсутствием сцепления между частицами грунта, обусловленного наличием физико-химических связей. Песчаная толща, залегающая над полостью, в отличие от глинистого грунта, подвержена свободному истечению частиц. При этом истечение песчаного грунта связано как с суффозионным выносом мельчайших частичек из скелета грунта в результате фильтрации воды, так и с гравитационным перемещением более крупных частиц вниз по разрезу вследствие разрыхления скелета грунта в результате суффозионного выноса.

Согласно А.В. Аникееву (2017) [1] в зависимости от размера полости в основании толщи несвязных грунтов, мощности песчаной толщи, их угла внутреннего трения и плотности сложения, а также скорости реализации суффозионного выноса и аккумулятивной емкости вмещающей карстующейся толщи процесс деформирования покровных грунтов может идти по разным сценариям. При этом над полостью образуется канал свободного истечения и переупаковки песчаной толщи, который в зависимости от выше названных факторов имеет разную конфигурацию (от цилиндрической до параболической и эллипсовидной) и размеры. А.В. Аникеевым (2017) [1] выделяется 5 стадий суффозинно-гравитационного истечения песчаной толщи, характеризующихся

различными максимальными диаметрами  $D_k$  и высотными положениями  $z$  зоны деформирования песков над кровлей полости (рис.А.1):

1) начальная:

$$z_0 = \frac{D_{pod}}{\tan \varphi} \quad (A.1.3.1)$$

$$D_{k0} = D_{pod}$$

2) неустановившегося течения:

$$z_1 = \frac{D_{pod}(1 + 2 \sin \varphi)}{4 \tan \varphi \sin \varphi} \quad (A.1.3.2)$$

$$D_{k1} = \frac{D_{pod}}{\sin \varphi}$$

3) установившегося течения:

$$z_2 = z_1 + \frac{D_{pod}(1 + \sin \varphi)}{8 \tan \varphi \sin^2 \varphi} \quad (A.1.3.3)$$

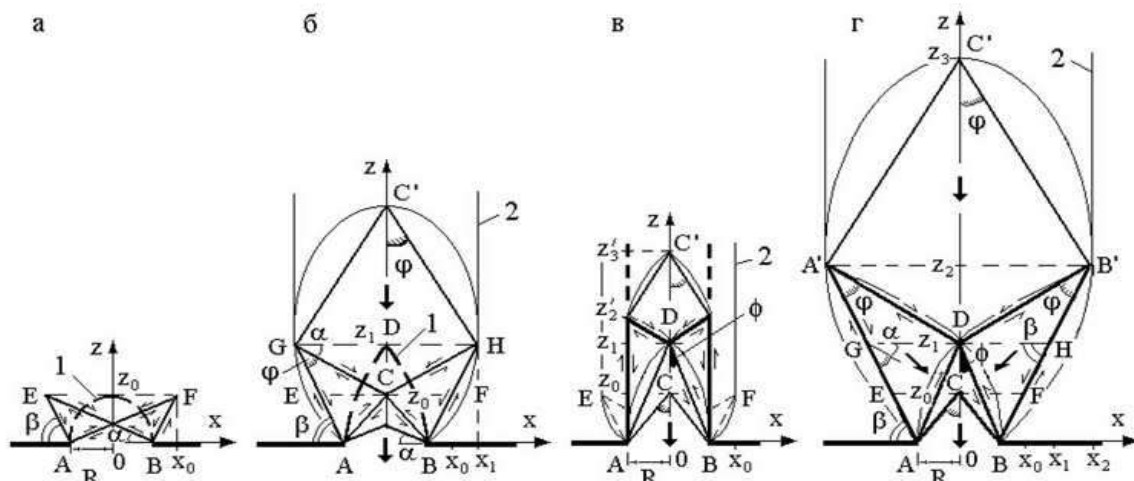
$$D_{k2} = \frac{D_{pod}(1 + \sin \varphi)}{2 \sin^2 \varphi}$$

4) максимально расширенного канала течения:

$$z_3 = z_2 + \frac{D_{pod}(1 + \sin \varphi)^2}{8 \tan \varphi \sin^3 \varphi} \quad (A.1.3.4)$$

$$D_{k3} = \frac{D_{pod}(1 + \sin \varphi)^2}{4 \sin^3 \varphi}$$

5) затухание деформаций – влияние полости практически отсутствует.



Условные обозначения: AB – полость в основании песчаной толщи, приуроченная к карстующимся или глинистым грунтам; ACB – зона полных сдвижений, отрыва, блокового обрушения в статическом и квазистатическом состояниях или зона свободного падения частиц в режиме свободного истечения сыпучих тел; ADB – зона интенсивной разгрузки напряжений, разуплотнения, повышенной трещиноватости и потенциального обрушения в статике или зона преимущественного столкновения частиц в динамике; AA'DB'BDA – статическая или квазистатическая зона опорного давления и возможного скольжения или динамическая зона пластического течения; AA'DB'B – динамический «свод»; DA'C'B'D – зона перехода от anomalно низких и высоких напряжений к литостатическим (зона возможного прогиба и разуплотнения) в статике и зона перехода от сходящегося движения к поршневому в динамике; AA'C'B'B – область влияния полости или эллипсоид выпуска; 1, 2 – границы области видимого деформирования и максимально широкого канала течения соответственно;  $\alpha = \pi / 4 - \varphi / 2$ ,  $\beta = \pi / 4 + \varphi / 2$ ,  $\psi = \varphi$ ,  $\phi = \varphi / 2$ . Маленькими стрелками показано направление максимальных касательных напряжений, большими – общее направление движение несвязного грунта.

Рисунок А.1 – Формирование расширяющегося или конусообразного (а, б, г) и трубообразного или цилиндрического (в) каналов течения несвязных грунтов в начальный момент времени (а), на стадиях неустановившегося (б), переходного и установившегося (в, г) движения (Аникеев, 2017) [1]

При последовательном переходе от начальной стадии развития суффозии к последующим стадиям (1→2→3→4) далеко не всегда наблюдается тенденция, связанная с увеличением диаметра зоны деформирования толщи несвязных грунтов, залегающих над полостью, при росте высотного положения зоны деформирования (таблица А.1). Иногда суффозионный процесс протекает таким образом, что при перемещении зоны деформирования вверх по разрезу диаметр канала течения песчаной толщи остается практически неизменным (рис. А.1 В). Сценарий развития суффозии, при котором размеры канала истечения несвязного грунта практически неизменны по сравнению с размерами полости-приемника, возможен при относительно плотной упаковке скелета песчаных грунтов и при условии залегания в основании песчаной толщи полости небольшого диаметра, как правило, не превышающего 0,1 – 1 м (табл. А.1).

Таблица А.1 – Соотношение высотного положения  $z$  и диаметра  $D_k$  зоны развития деформаций (канала течения) в толще несвязных грунтов, залегающих над полостью диаметром  $D_{pod}$

Стадия истечения несвязного грунта	Высота зоны развития деформаций $z$ над полостью в основании толщи несвязных грунтов	Диаметр $D_k$ полости или зоны развития деформаций в несвязных грунтах	
		Крупнообломочные грунты и пески рыхлого сложения	Пески плотные
Начальная	$z \leq z_0$	$D_k = D_{k0} = D_{pod}$	$D_k = D_{k0} = D_{pod}$
Неустановившегося течения	$z_0 < z \leq z_1$	$D_{pod} < D_k \leq D_{k1}$	$D_{pod} < D_k \leq D_{k1}$
Установившегося течения	$z_1 < z \leq z_2$	$D_{k1} < D_k \leq D_{k2}$	$D_k = D_{k1}$
Максимально расширенного канала течения	$z_2 < z \leq z_3$	$D_{k2} < D_k \leq D_{k3}$	$D_k = D_{k1}$
Затухание деформаций	$z > z_3$	$D_k = D_{k3}$	$D_k = D_{k1}$

На форму и размеры канала суффозионного истечения песчаной толщи существенное влияние также оказывает степень их водонасыщения, определяемая положением уровня грунтовых вод. Общая тенденция такова, что чем более грунт водонасыщен, тем больший его объем может быть вовлечен в процесс суффозионного истечения. Существенное влияние, как правило, выражающееся в резком росте диаметра канала суффозионного истечения, оказывает режим фильтрации трещинно-карстовых подземных вод. При напорном характере фильтрации последних с величиной напора, достигающей уровня грунтовых вод или дневной поверхности при отсутствии или недостаточной роли водоупора, размеры зоны суффозионного выноса достигают максимальных величин.

Рекомендованный способ интерпретации геолого-гидрогеологического разреза в части оценки параметров деформирования несвязных грунтов, залегающих над полостью, приведен в таблице А.2.

Таблица А.2 – Общая характеристика формы и размера канала суффозионного истечения в толще несвязных грунтов, залегающих над полостью диаметром  $D_{pod}$ , в зависимости от физических свойств грунтов и гидрогеологических условий

Трубообразный канал течения песков	Переходная форма канала течения (остроугольный конус, переходящий в цилиндр)	Конусообразный канал течения максимальной ширины, переходящий в цилиндр
$D_{pod} < D_k \leq D_{k1}$	$D_{k1} < D_k \leq D_{k2}$	$D_{k2} < D_k \leq D_{k3}$
Отсутствие или незначительный напор трещинно-карстовых вод, значительно меньший уровня грунтового водоносного горизонта ( $H_k \ll H_g$ )		Напорный характер трещинно-карстовых вод с величиной напора близкой к уровню грунтовых вод ( $H_k \approx H_g$ или $H_k > H_g$ ) или выходящей на дневную поверхность (самоизлив)
Малый диаметр полости приемника в подошве слоя $D_{pod} < 0,1-1$ м	Диаметр полости приемника в подошве слоя $D_{pod} \geq 1$ м	Любой диаметр полости приемника в подошве слоя
Пески малой степени водонасыщения $S_r \leq 0,5$ д.е. (низкая интенсивность истечения песка, образование промежуточных микрополостей и трещин в сводовой части зоны истечения)	Пески средней степени водонасыщения и насыщенные водой $S_r > 0,5$ д.е. (низкая интенсивность истечения песка, образование промежуточных микрополостей и трещин в сводовой части зоны истечения)	Пески различной степени водонасыщения
Плотные пески $e \leq 0,55$ д.е. (повышенная интенсивность истечения песка без образования промежуточных микрополостей и трещин)	Плотные пески $e \leq 0,55$ д.е. (повышенная интенсивность истечения песка без образования промежуточных микрополостей и трещин)	Пески различной степени плотности

#### А.1.4 Вычисление аккумулятивной емкости карстующейся толщи, объема перемещенной (вынесенной) толщи покровных грунтов и параметров промежуточных полостей (провалов)

Аккумулятивные емкости полости  $V_{a0}$ , и трещинной зоны  $V_{a1}$ , приуроченных к кровле толщи карстующихся пород, определяются согласно формулам ( $\text{м}^3$ ):

$$V_{a0} = \frac{\pi D_1^2 h_p}{4} \quad (\text{А.1.4.1})$$

$$V_{a1} = \frac{\pi m_k \left( K_k + \frac{v_r t}{m_k} \right) \cdot \left( 3D_1^2 + \frac{2m_k (3D_1 + 2m_k / \tan \varphi_o)}{\tan \varphi_o} \right)}{12}$$

где  $D_1$  – диаметр, м, полости или трещиновой зоны в кровле карстующейся толщи пород, определенный с учетом возможного увеличения за период времени  $t$ , лет, принимаемый равным сроку службы сооружения, при известной скорости растворения карстуемых пород  $v_r$ , м/год;  $h_p$  – высота полости, м;  $m_k$  – мощность зоны активного карстования в пределах толщи карстующихся пород, м, ассоциируемая с суммарной мощностью интервалов раздробленных и сильновыветрелых пород;  $K_k$  – коэффициент открытой трещиноватости (данный параметр по физическому смыслу аналогичен открытой пористости), д.е.;  $\varphi_o$  – средний угол внутреннего трения перекрывающих полость или трещинную зону грунтов, градус.

Общая аккумулятивная емкость карстующейся толщи пород  $V_a$ , таким образом, будем равна:

$$V_a = V_{a0} + V_{a1} \quad (\text{А.1.4.2})$$

Процесс деформирования покровной толщи грунтов над карстовой полостью, приуроченной к толще карстующихся пород, развивается поэтапно, в результате чего изначальная полость как бы перемещается снизу вверх по разрезу вплоть до ее выхода на земную поверхность. В ходе такого перемещения в покровной толще грунтов на контакте различных геологических слоев формируются и исчезают промежуточные полости, время существования которых изменяется в широких пределах: от долей секунд до нескольких дней и месяцев, реже лет – на контакте песчаных слоев; до нескольких лет и десятилетий – на контакте с глинистыми грунтами.

Характер наполнения аккумулятивной емкости карстующейся толщи при обрушении или перемещении залегающих выше по разрезу слоев покровных грунтов различен и зависит от состава, состояния и свойств покровных грунтов.

Развитие суффозии в песчаных грунтах плотного и средней плотности сложения, а также в некоторых рыхлых разностях, не обязательно сразу сопровождается развитием деформаций, приводящих в свою очередь к деформированию выше залегающих грунтовых слоев или земной поверхности. На первых стадиях суффозионный вынос может идти без изменения объема песчаной толщи, что происходит за счет изменения плотности упаковки частиц, которая постепенно снижается и грунт разрыхляется. Таким образом, существует некоторый критический объем суффозионно вынесенного материала, который не влияет на изменение объема изначальной толщи песчаных грунтов, из которой происходит вынос частиц. В результате реализации такого явления общий объем песчаной толщи как бы увеличивается, а масса остается прежней.

Подобное явление увеличения объема характерно и для связных грунтов, залегающих над полостью. В данном случае, в частности при медленном развитии провального процесса (например, в ходе формирования трубообразных полостей), вывал грунта происходит постепенно и небольшими порциями. Вываленный грунт при этом значительно разрыхляется, за счет чего увеличивается в объеме. Такой вываленный грунт нередко характеризуется высокой подвижностью в пределах полости.

Увеличение объема  $\Delta V$  несвязного грунта за счет действия суффозии, а также связного грунта в результате разрыхления при вывале, определяется по формуле:

$$\Delta V = \frac{e_{cr} - e}{1 + e_{cr}} V_0 \quad (\text{A.1.4.3})$$

где  $e$  – коэффициент пористости грунта в естественном залегании, д.е.;  $e_{cr}$  – коэффициент пористости разрыхленного грунта в результате реализации суффозионного выноса в песчаной толще или вывала в глинистой толще, д.е.;  $V_0$  – объем толщи грунта, залегающего над полостью или трещинной зоной, в пределах которого развиваются гравитационно-суффозионные явления, м<sup>3</sup>, рассчитываемый по формулам:

– для толщи несвязного грунта при  $m > z_3$ :

$$V_0 = \frac{\pi z_3}{3} \left( \frac{D_{pod}^2}{4} + \frac{D_{pod} D_{kr}}{4} + \frac{D_{kr}^2}{4} \right) + \frac{\pi D_{kr}^2 (m - z_3)}{4} \quad (\text{A.1.4.4})$$

– для толщи несвязного грунта при  $m \leq z_3$ :

$$V_0 = \frac{\pi m}{3} \left( \frac{D_{pod}^2}{4} + \frac{D_{pod} D_{kr}}{4} + \frac{D_{kr}^2}{4} \right) \quad (\text{A.1.4.5})$$

– для толщи связного грунта:

$$V_0 = \frac{\pi m D_{kr}^2}{4} \quad (\text{A.1.4.6})$$

где  $D_{kr}$  – диаметр полости в кровле грунтового слоя после его обрушения, вывала или выноса, м.

Расчет аккумулятивной емкости промежуточных полостей  $V_{a0i}$ , формирующихся в покровной толще грунтов в ходе реализации обвально-суффозионного процесса, а также расчет изменения аккумулятивной емкости трещинной зоны  $V_{a1i}$  в карстующейся толще, производятся по формулам, приведенным в таблице А.3.



Таблица А.3 – Расчетные формулы для определения аккумулятивной емкости  $V_{a0i}$  промежуточных полостей в покровной толще грунтов и изменения аккумулятивной мощности трещинной зоны  $V_{a1i}$  в карстующейся толще

Главное условие	Дополнительные условия	Расчетные формулы
$V_0 + \Delta V \geq V_a$	$\Delta V \geq V_a$	$V_{a0i} = 0$ $V_{a1i} = 0$
	$\Delta V < V_a$	$V_{a0i} = V_a - \Delta V$ $V_{a1i} = 0$
$V_0 + \Delta V < V_a$	$V_0 + \Delta V \geq V_{a1}$	$V_{a0i} = V_a - \Delta V$ $V_{a1i} = 0$
	$V_0 + \Delta V < V_{a1}$	$V_{a0i} = V_{a0} + V_0$ $V_{a1i} = V_{a1} - V_0 - \Delta V$

Следует учитывать, что разрыхленные связные грунты, вывалившиеся в полость из вышележащих слоев, по сравнению с песчаными грунтами, менее подвержены дальнейшему массопереносу по трещинам и порам в карстующихся породах. Это связано с наличием физико-химических взаимодействий между частицами, возникающих при контакте с водой, что способствует коагуляции трещин и пор в карстующейся толще. В практических расчетах имеет смысл полностью исключить возможность перемещения глинистых грунтов из зоны деформирования. В противном случае, для определения доли объема обрушившегося связного грунта, подверженного перемещению и выносу из полости, может быть использована эмпирическая зависимость:

$$\mu = 1 - (1,1595 \ln I_p + 1,0997)^{\exp(I_L)} \quad (\text{А.1.4.7})$$

где  $I_p$  – число пластичности глинистого грунта, д.е.

При известных аккумулятивно-емкостных параметрах и диаметрах промежуточных полостей (провалов) представляется возможным определить их максимальные высоты (глубины). Максимальная высота полости (глубина провала)  $h_{1i}$ , м, после обрушения грунтового слоя определяется по формуле:

$$h_1 = \frac{V_{a0Uz3}}{\pi \frac{D^2}{4}} + V_{a0Dz3} \frac{z}{V_{0con}} + \sum_{i=1}^{\lim} m \quad (\text{А.1.4.8})$$

где  $V_{a0Uz3}$  – объем полости в цилиндрической зоне деформирования, м<sup>3</sup> (табл. А.4);  $V_{a0Dz3}$  – объем полости в конусообразной зоне деформирования несвязного грунта, м<sup>3</sup> (табл. А.4);  $z$  – высота зоны (канала течения) развития деформаций в толще несвязных грунтов, м;  $i = 1 \dots \lim$  – количество грунтовых слоев ниже по разрезу, в пределах которых локализуется полость;  $V_{0con}$  – объем деформированной по конусообразной форме части слоя несвязного грунта, м<sup>3</sup>, определяемый по формулам:

$$V_{0con} = V_0 - V_{0cyl}$$

$$V_{0cyl} = \pi \frac{D_{kr}^2}{4} (m - z)$$
(A.1.4.9)

Высота полости в пределах зоны несвязного грунта, деформируемой по конусообразной форме, определяется в соответствии с условиями и формулами, приведенными в таблице А.5.

Диаметр промежуточной полости в грунтовой толще в ее днищевой части (рис. А.2), а также диаметр провала (оседания) на поверхности земли, определенный по его дну,  $D_{bed}$ , м, вычисляются с учетом емкостных свойств карстующейся толщи по формулам, приведенным в таблице А.6, дифференцировано для толщи связных и несвязных грунтов.

Однако следует иметь в виду, что к получаемым выше рассмотренными способами величинам  $h_1$  и  $D_{bed}$  следует относиться осторожно. Точность их вычисления находится в прямой и предопределяющей зависимости от величины мощности зоны активного карстования в пределах толщи карстующихся пород  $m_k$ . Ошибочное представление о мощности активного карстования  $m_k$  в рамках конкретного инженерно-карстологического разреза может привести к неожиданным результатам при расчете параметров  $h_1$  и  $D_{bed}$ , вплоть до противоречия действительности.

Таблица А.4 – Расчетные формулы и условия для определения объемов вторичных полостей в цилиндрической  $V_{a0Uz3}$  и конусообразной  $V_{a0Dz3}$  зонах деформирования грунтов покровной толщи

Условия залегания полости (провала)	Определение объема $V_{a0Uz3}$			Определение объема $V_{a0Dz3}$		
	Условия расчета		Значение	Условия расчета		Значение
Днищевая часть промежуточной полости расположена в $i$ -м грунтовом слое	$m > z$	$z = 0$	$V_{a0}$	$m > z$	$z = 0$	0
		$V_{0cyl} > V_{a0}$	$V_{a0}$		$V_{a0} > V_{a0Uz3}$	$V_{a0} - V_{a0Uz3}$
		$V_{0cyl} \leq V_{a0}$	$V_{0cyl}$		$V_{a0} \leq V_{a0Uz3}$	$V_{0cyl}$
	$m \leq z$		0	$m \leq z$		$V_{a0}$
Днищевая часть промежуточной полости достигает карстующейся толщи	$V_{a0Uz3} = V_{a0Dz3} = V_{a0bed} = \lim_{i=1} \min [V_{a0i} - V_{0i}]$					

Таблица А.5 – Расчетные формулы и условия для определения высоты полости в пределах зоны несвязного грунта, деформируемой по конусообразной форме

Условия залегания полости (провала)	Условие расчета	Расчетная формула
Днищевая часть промежуточной полости расположена в расчетном грунтовом слое	$m > z$	$h_{con} = h_1 - m + z$
	$m \leq z$	$h_{con} = h_1$
Днищевая часть промежуточной полости расположена в расчетном грунтовом слое	$V_{a0Dz3} > 0$	$h_1 = h_1 - \sum_{i=1}^{\lim} m + z$
	$V_{a0Dz3} = 0$	$h_{con} = z - h_{pod} - h_1$ , где $h_{pod}$ – глубина залегания подошвы слоя, в котором локализована днищевая часть полости, м

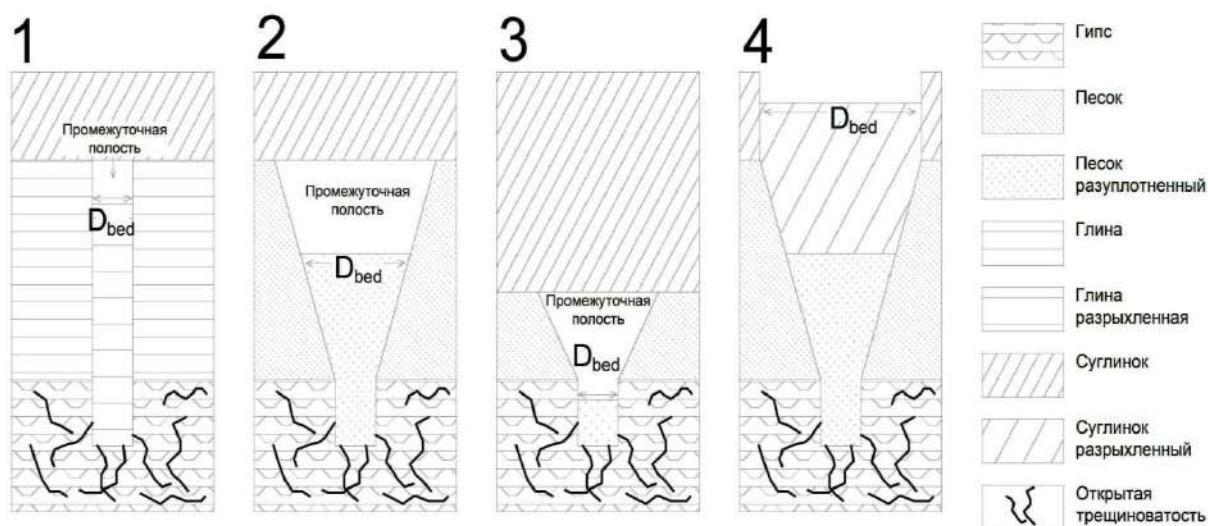


Рисунок А.2 – Примеры возможных диаметров днищевой части промежуточных полостей: 1 – в глинистой толще; 2, 3 – в песчаной толще в зоне, деформируемой по конусообразной форме; 4 – в суглинистой толще при выходе на дневную поверхность (провал)

Таблица 6 – Расчетные формулы и условия для определения диаметра промежуточной полости (провала) в днищевой части

Условия залегания днищевой части промежуточной полости (провала)	Условие расчета	Расчетная формула
В цилиндрической (трубообразной) зоне деформирования грунтов	$V_{a0Uz3} > 0$ , $V_{a0Dz3} = 0$	$D_{bed} = D_{kr}$

Условия залегания днищевой части промежуточной полости (провала)	Условие расчета	Расчетная формула
В конусообразной (расширяющейся) зоне деформирования грунтов	$m > z$	$D_{bed} = D_{kr} - 2S_{con} \frac{h_{con}}{z}$
	$m \leq z$	$D_{bed} = D_{kr} - 2S_{con} \frac{h_{con}}{m}$
В карстующейся толще		$D_{bed} = D_1$

### А.1.5 Влияние скорости развития суффозии на параметры карстово-суффозионных деформаций в толще грунтов и на поверхности земли

Согласно последним представлениям [1] влияние скорости развития суффозии на диаметр канала истечения несвязных грунтов может быть весьма существенным. В зависимости от скорости истечения несвязных грунтов в полость можно выделить быстрый и медленный режимы суффозии.

Быстрое развитие суффозии наблюдается при условии залегания в основании песчаной толщи полости относительно большого диаметра ( $D_{pod}$  более 1 – 2 м) и/или при значительной аккумулятивной емкости трещинно-полостного пространства  $V_a$  в основании несвязных грунтов, объем которых больше или равен объему грунта, подверженного суффозионному выносу и деформированию:

$$D_{pod} \geq 1...2 \text{ м} \quad (A.1.5.1)$$

$$V_a \geq V_0 + \Delta V$$

Суффозия массы при быстром протекании процесса может быть реализована как в течение нескольких дней или месяцев, так и растянута на несколько лет.

Медленное развитие суффозии, наоборот, возможно над относительно небольшой полостью в основании песчаной толщи, диаметр  $D_{pod}$  которой, как правило, не превышают 0,5 – 1 м. Суффозионный вынос также существенно замедляет отсутствие запаса аккумулятивной емкости трещинно-полостного пространства  $V_a$  в основании толщи несвязных грунтов и наличие предпосылок к временному закупориванию трещинного пространства выносимыми грунтовыми частицами. Последнее обстоятельство может быть связано с незначительной шириной раскрытия трещин и чаще всего наблюдается в толще глинистых и терригенно-карбонатных грунтов:

$$D_{pod} < 0,5...1 \text{ м} \quad (A.1.5.2)$$

$$V_a < V_0 + \Delta V$$

Суффозия массы при медленном протекании процесса, как правило, сильно растянута во времени и может развиваться на протяжении не одного десятилетия. При этом в ходе течения процесса выделяются периоды его

активизации, связанные с резкими колебаниями уровней подземных вод, вызванными как естественными сезонными изменениями, так и техногенными причинами (чрезмерные откачки, строительство дамб и насосных станций, утечки из водонесущих коммуникаций и пр.).

Влияние скорости развития суффозии в ходе моделирования оценивается только для многослойной песчаной толщи, сложенной песками различной плотности сложения, крупности и степени водонасыщения.

При моделировании медленного развития суффозии диаметр канала течения на границе различных слоев песчаных грунтов принимается постоянным и равным диаметру полости в основании всей песчаной толщи. При моделировании быстрого развития суффозии диаметр канала течения на границе различных слоев песчаных грунтов принимается согласно расчету, выполняемому в соответствии со стадийностью развития суффозии в зависимости от мощности слоя и характерных для него физико-механических свойств [1].

Заметим, что принятое разграничение в развитии деформаций в толще несвязных грунтов в зависимости от скорости развития суффозионного выноса пока что не имеет экспериментального подтверждения и основывается только на теоретических представлениях. В запас надежности при проектировании особо ответственных сооружений рекомендуется принимать значение диаметра деформации в основании фундамента, определенное при наихудшем сценарии развития суффозии, т.е. при быстром истечении грунтов. В остальных случаях допускается принимать арифметические средние или квартильные значения карстово-суффозионных деформаций.

Для повышения объективности определения диаметра карстово-суффозионных деформаций в условиях неопределенности решения задачи, которая связана с несовершенством методов пространственного изучения грунтового массива, целесообразно применение вероятностного метода.

Вероятность медленного или растянутого во времени развития карстово-суффозионного выноса  $P_{sufS}$  может быть определена по формуле:

$$P_{sufS} = \exp \left( - \frac{D_1(h_p + m_k K_k)}{\sum_{i=1}^n (m_{gi} - D_{fisi}) D_{pipei}} \right) \quad (A.1.5.3)$$

где  $m_g$  – мощность ГС или ИГЭ, представленного связным (глинистым) грунтом, при условии, что выше него по разрезу залегают ГС или ИГЭ, сложенные несвязными грунтами, м;  $n$  – кол-во ГС или ИГЭ глинистых грунтов, выше которых залегают ГС или ИГЭ, представленные несвязными грунтами.

Соответственно, вероятность быстрого протекания карстово-суффозионного процесса  $P_{sufF}$  будет обратной величиной:

$$P_{sufF} = 1 - P_{sufS} \quad (\text{A.1.5.4})$$

При известных деформациях рекомендуемый при проектировании диаметр карстово-суффозионной деформации (провала, оседания) будет определяться формулой:

$$d = d_S + P_{sufF}(d_F - d_S) = d_F - P_{sufS}(d_F - d_S) \quad (\text{A.1.5.5})$$

#### **А.1.6 Прогнозирование типа карстово-суффозионных деформаций на дневной поверхности (в основании фундамента) и их диаметров, рекомендуемых в расчетах для разработки инженерной защиты**

Принимая во внимание все вышесказанное, в условиях песчано-глинистой покровной толщи грунтов процесс развития карстово-суффозионных деформаций может развиваться по-разному. Определяющими факторами при этом выступают напластование грунтовых слоев (ГС) или инженерно-геологических элементов (ИГЭ), физико-механические свойства грунтов, гидрогеологические условия, выражающиеся через уровни грунтовых и трещинно-карстовых подземных вод, аккумулятивная емкость грунтов карстующейся толщи и собственно скорость развития суффозионного выноса. Различное сочетание выше отмеченных факторов приводит к широкой вариативности направленности развития карстово-суффозионного процесса и, как следствие, к различному типу деформирования грунтового основания.

В целях обеспечения максимальной безопасности проектирования итоговый результат развития карстово-суффозионного процесса целесообразно рассматривать с позиции формирования провала. Однако, как показывает практика строительства в карстовых районах, в абсолютном большинстве случаев это не так: провалы в основании сооружений происходят значительно реже, чем неравномерные оседания грунтов и земной поверхности. Вместе с тем, применяемые конструктивные решения при защите от провалов и оседаний для разных сооружений могут носить диаметрально противоположный характер. В самом общем случае защита от провалов значительно затратнее в экономическом отношении.

Для объективного понимания итога развития карстово-суффозионного процесса в части типа деформации основания за срок службы сооружения в условиях неопределенности решения задачи, которая связана с несовершенством методов пространственного изучения грунтового массива, рекомендуется применять вероятностные методы.

Вероятность образования деформации провального типа при различных скоростях развития суффозионного выноса  $P_{ds\ S,F}$  определяется по формуле:

$$P_{ds\,S,F} = 1 - \exp \left( \frac{V_a}{\sum_{j=1}^k (V_{0S,F\,j} + \Delta V_{S,F\,j})} \times \frac{\sum_{i=1}^n m_i \frac{D_{pipe\,i}}{D_{cr\,i}}}{M} \right) \quad (\text{A.1.6.1})$$

где  $i$  – ГС или ИГЭ, в пределах которых возможно формирование промежуточной полости (аккумулятивная емкость промежуточной полости  $V_{a0i}$  больше 0);  $n$  – кол-во ГС или ИГЭ, в пределах которых возможно формирование промежуточной полости;  $M$  – суммарная мощность грунтов, перекрывающих карстующуюся толщу, м;  $k$  – общее количество ГС или ИГЭ в покровной грунтовой толще; подстрочные индексы  $S$  и  $F$  указывают на скорость развития суффозии, соответственно, медленную и быструю.

Соответственно вероятность образования локального оседания  $P_{dsub}$  является обратной величиной и определяется формулой:

$$P_{dsub\,S,F} = 1 - P_{ds\,S,F} \quad (\text{A.1.6.2})$$

Очевидно, что реальное значение вероятного типа карстово-суффозионной деформации находится в интервале значений  $P_{dsS} \dots P_{dsF}$ . Рекомендованное значение вероятности образования карстово-суффозионной деформации провального типа  $P_{ds}$  может быть определено с учетом известной вероятности протекания суффозии с применением следующей формулы:

$$P_{ds} = P_{dsS} - P_{suffF} (P_{dsS} - P_{dsF}) \quad (\text{A.1.6.3})$$

В случаях, когда вероятность образования провала  $P_{ds}$  превышает 30% рубеж, рекомендуется проектировать конструктивную защиту на возможность образования провала. В условиях, когда расчетное значение  $P_{ds}$  колеблется в диапазоне 10 – 30%, конструктивная защита может быть предусмотрена для минимально возможного диаметра провала (медленное развитие карстово-суффозионного процесса). При  $P_{ds}$  меньших 10% образование провала рекомендуется исключать и исходить из возможности развития локального оседания в основании сооружения. Наконец, когда вероятность  $P_{ds}$  принимает значения меньше 1% выход карстово-суффозионной деформации на поверхность земли или в основание сооружения (в зависимости от характера расчета) можно исключать.

## **А.2 Способы определения исходных параметров карстовых и карстово-суффозионных деформаций**

### **А.2.1 Общие положения**

Для определения параметров карстовых деформаций следует использовать расчетные аналитические методы, а также методы численного компьютерного моделирования. При выполнении расчетов должны

привлекаться специализированные организации, имеющие опыт проведения подобного рода работ.

Определение расчетных параметров карстовых деформаций производится с учетом минералогического состава карстующихся пород, физико-механических свойств грунтов основания, их напластования, режима подземных вод и характера подтопления с учетом конструктивных особенностей проектируемых фундаментов (их типов, размеров, глубины заложения) и нагрузок, передаваемых на основание от проектируемых сооружений. Используемые в расчетах карстовых деформаций физико-механические свойства грунтов следует оценивать по данным материалов инженерно-геологических изысканий, данных из литературных источников и материалов исследований прошлых лет. Основные физико-механические характеристики, используемые в расчетах:

- плотность  $\rho$  или удельный вес  $\gamma$  грунта;
- модуль деформации  $E$ ;
- удельное сцепление  $c$ ;
- угол внутреннего трения  $\varphi$ .

Дополнительные физико-механические характеристики, используемые в расчетах:

- коэффициент Пуассона  $\mu$ ;
- угол дилатации  $\psi$ ;
- пористость  $n$  или коэффициент пористости  $e$ ;
- коэффициент фильтрации  $K_f$ .

При производстве расчетов следует учитывать гидрогеологические условия, которые формализуются в виде уровенных поверхностей различных водоносных горизонтов, а также напоров, присущих им. Расчеты следует выполнять с учетом прогноза изменений гидрогеологических условий. Расчеты производятся по разрезу конкретной инженерно-геологической или карстологической скважины или по осредненному разрезу совокупности карстологических скважин, расположенных на участке проектируемого сооружения.

Основным расчетным параметром является диаметр карстового провала (полости). Вычисление критического радиуса карстовой полости  $r$ , начального диаметра карстового провала  $d_0$  ( $d_1$ ), предельного диаметра провальной карстовой воронки  $d_{\text{lim}}$ , максимальных диаметров карстово-суффозионных провалов  $d_{\text{max}}$  аналитическими методами следует осуществлять с применением расчетных формул, приведенных в работах [7-14].

Данные расчетные методы базируются на условии предельного равновесия между сдвигающими  $T$  и удерживающими  $N$  силами, действующими над ослабленными зонами (полостями). Схема обрушения перекрывающих дисперсных грунтов в соответствии с данными расчетными моделями подразумевает их перемещение вниз по круглоцилиндрическим поверхностям. Расчет параметров провалов подразумевает, что карстовая



полость заложена на стыке кровли карстующихся отложений и перекрывающей грунтовой толщи.

Методы, изложенные в работах В.М. Кутепова [7] и В.П. Хоменко [11-13], позволяют осуществлять прогноз карстово-суффозионных и суффозионных деформаций. Аналитические методы, как правило, дают завышенные результаты в условиях глубокого залегания карстующихся пород.

## **А.2.2 Численное компьютерное моделирование**

А.2.2.1 Численное компьютерное моделирование деформаций грунтовой толщи и поверхности земли, связанных с развитием карста и суффозии, следует осуществлять с применением специализированных программных комплексов, основанных на методе конечных элементов (МКЭ), в соответствии с которым все пространство модели разбивается на точечные узлы, соединенные в сеть треугольников. Расчет напряжений и деформаций, возникающих в грунтовой толще, ведется для каждой конкретной узловой точки модели.

Моделирование осуществляется в результате решения двухмерной или трехмерной задачи. При моделировании базовой схемой обрушения и потери прочности грунтов над полостью является критерий Кулона-Мора, в различных модификациях, предполагающий упруго-пластичное смещение выше лежащих над полостью грунтовых масс по круглоцилиндрическим поверхностям скольжения с формированием на поверхности земли конусовидной деформации. Расчет ведется методом итераций (бесконечных приближений).

В определенных геолого-гидрогеологических условиях развития карста, при необходимости, и должном обосновании могут быть применены иные модели обрушения грунта.

Рассчитываемые в ходе проведения численного моделирования напряжения и деформации могут быть определены различными способами, в зависимости от способа реализации алгоритма, заложенного в применяемый расчетный программный комплекс.

А.2.2.2 Упруго-пластическая модель Кулона-Мора подразумевает разделение происходящих в грунтовом теле деформаций отдельно на упругие  $\varepsilon_u$  и пластичные  $\varepsilon_p$ , совместное действие которых приводит к общей деформации  $\varepsilon$ . Упругая деформация может быть разложена на отдельные компоненты (рис. А.3).

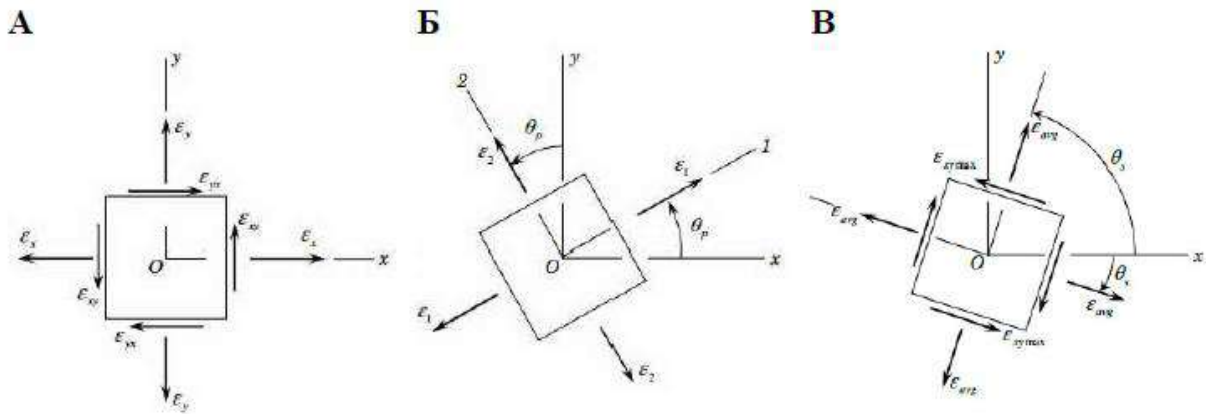


Рисунок А.3 – Компоненты тензора деформаций: А – в оригинальных координатах; Б – в координатах, трансформированных к главным направлениям действия напряжений; В – при максимальных сдвиговых деформациях

При решении двумерной задачи главные деформации могут быть определены по следующим формулам:

$$\varepsilon_1 = \frac{\varepsilon_{xx} + \varepsilon_{yy}}{2} + \sqrt{\left(\frac{\varepsilon_{xx} - \varepsilon_{yy}}{2}\right)^2 + \varepsilon_{xy}^2} \quad (\text{A.2.2.1})$$

$$\varepsilon_2 = \frac{\varepsilon_{xx} + \varepsilon_{yy}}{2} - \sqrt{\left(\frac{\varepsilon_{xx} - \varepsilon_{yy}}{2}\right)^2 + \varepsilon_{xy}^2} \quad (\text{A.2.2.2})$$

Относительная объемная деформация будет определяться по формуле:

$$\varepsilon_v = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 \quad (\text{A.2.2.3})$$

Максимально возможная сдвиговая деформация при решении двумерной задачи может быть определена по формуле:

$$\varepsilon_{xy \max} = \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{2} \quad (\text{A.2.2.4})$$

Зависимость между упругими деформациями и действующими напряжениями определяется законом Гука, согласно которому главные напряжения при сдвиге будут определяться формулами (расшифровку обозначений приведена в п. А.2.1 настоящего приложения):

$$\sigma_{xx} = 2G\varepsilon_{xx} + \lambda\theta_1 \quad (\text{A.2.2.5})$$

$$\sigma_{yy} = 2G\varepsilon_{yy} + \lambda\theta_1 \quad (\text{A.2.2.6})$$

$$\sigma_{zz} = 2G\varepsilon_{zz} + \lambda\theta_1 \quad (\text{A.2.2.7})$$

где

$$\lambda = \frac{\mu E}{(1 + \mu)(1 - 2\mu)} K - \frac{2G}{3} \quad (\text{A.2.2.8})$$

$$K = \frac{E}{3(1 - 2\mu)} \quad (\text{A.2.2.9})$$

$$G = \frac{E}{2(1 - 2\mu)} \quad (\text{A.2.2.10})$$

$$\theta_1 = \varepsilon_{xx} + \varepsilon_{yy} + \varepsilon_{zz} = \frac{1 - 2\mu}{E} (\sigma_{xx} + \sigma_{yy} + \sigma_{zz}) \quad (\text{A.2.2.11})$$

Пластические деформации в модели Кулона-Мора описываются функциями текучести  $f$  и пластического потенциала  $g$ , при этом производная от функции текучести  $f'$  пропорциональна скорости пластических деформаций. Поверхности текучести  $f_s$  и пластического потенциала  $g_s$  при неассоциированном законе пластичности могут быть вычислены с применением формул:

$$f_s = -\frac{I_1}{3} \sin\varphi + \sqrt{J_2} \left( \cos\theta + \frac{1}{\sqrt{3}} \sin\theta \sin\varphi \right) - c \cdot \cos\varphi \quad (\text{A.2.2.12})$$

$$g_s = -\frac{I_1}{3} \sin\psi + \sqrt{J_2} \left( \cos\theta + \frac{1}{\sqrt{3}} \sin\theta \sin\varphi \right) - c \cdot \cos\varphi \quad (\text{A.2.2.13})$$

где

$$I_1 = \sigma_{xx} + \sigma_{yy} + \sigma_{zz} \quad (\text{A.2.2.14})$$

$$J_2 = \frac{1}{2} (s_x^2 + s_y^2 + s_z^2) + \tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2 \quad (\text{A.2.2.15})$$

$$J_3 = s_x s_y s_z + 2\tau_{xy} \tau_{yz} \tau_{zx} - s_x \tau_{yz}^2 - s_y \tau_{xz}^2 - s_z \tau_{xy}^2 \quad (\text{A.2.2.16})$$

$$s_i = \sigma_i - \frac{1}{3} I_1 \quad (\text{A.2.2.17})$$

$$\theta = \frac{1}{3} \sin^{-1} \left( \frac{3\sqrt{3}J_3}{2J_2^{3/2}} \right) \quad (\text{A.2.2.18})$$

где  $\sigma_i$  – главные напряжения;  $\tau_i$  – касательные напряжения.

Расшифровка обозначений остальных величин, входящих в расчет, приведена в п. А.2.1 настоящего приложения.

В пределах вычисленных поверхностей текучести и пластического потенциала напряженное состояние подчиняется закону Гука (при условии изотропной среды).

А.2.2.3 Прогнозирование возможных карстовых деформаций на земной поверхности ведется, исходя из следующих положений:

- точного понимания, что на данной глубине уже имеется карстовая полость известного диаметра;
- предположения о том, что на данной глубине (как правило, совпадающей с кровлей карстующихся пород или контактом различных грунтов в покровной толще) в течение срока службы сооружения может развиться карстовая (суффозионная) полость определенного диаметра (рис. А.4 А).

В первом случае параметры полости задаются исходя из конкретной фактологии, во втором – назначаются с учетом прогноза развития карстово-суффозионных процессов и обосновываются с учетом материалов исследований прошлых лет и литературных данных.

При моделировании полости в карстующихся породах следует различать ее начальный диаметр, характерный для полости на момент проведения изысканий, и предельный диаметр, которого она может достичь за время эксплуатации сооружения.

В качестве полости может быть рассмотрена ослабленная трещиноватая зона в толще карстующихся пород. За начальный диаметр принимается ширина раскрытия трещин.

Предельный диаметр карстовой полости  $d_{\text{пол}}$ , является основополагающей величиной, закладываемой в модель. Он зависит от скорости растворения или выщелачивания пород:

- для полости в сульфатных породах:

$$d_{\text{пол}} = d_{\text{пол}0} + v_{ga}t_0 \quad (\text{A.2.2.19})$$

- для полости в карбонатных породах:

$$d_{\text{пол}} = d_{\text{пол}0} + v_{ia}t_0 \quad (\text{A.2.2.20})$$

где  $d_{\text{пол}0}$  – начальный диаметр полости, м;  $v_{ga}$  – среднегодовая скорость растворения сульфатных пород (гипса, ангидрита);  $v_{id}$  – среднегодовая скорость растворения карбонатных пород;  $t_0$  – расчетный срок службы ВСЖМ-1, принимаемый равным 100 годам.

Среднегодовая скорость растворения карстующихся пород на сегодняшний день в достаточной степени изучена, что позволяет определять данную величину из опубликованных работ, справочных материалов и иных литературных источников.

В запас надежности выполняемых расчетов рекомендуется учитывать наихудший прогноз в отношении скорости растворения карстующихся пород, что соответствует 0,003 м/год для карбонатных и 0,15 м/год для сульфатных пород.

Модель может учитывать несколько одновременно существующих карстовых полостей, развитых на различных глубинах.

А.2.2.4 Моделирование может быть осуществлено поэтапно, что позволяет учитывать вторичные полости, которые могут сформироваться в перекрывающей грунтовой толще в результате возможного внутреннего вывала грунта (без образования провала на поверхности земли) в первичную карстовую полость или в результате развивающейся в покровной толще суффозии (как механической, так и химической).

Наиболее опасные первичные полости, связанные с растворением карстующихся пород, приурочены к зонам контактов с вышележающими дисперсными грунтами (глинами, песками; рис. А.4 А; А.5 А).

Местоположение и размеры вторичных полостей обосновываются по результатам моделирования (рис. А.4 Б; А.5 Б).

Положение вторичной полости в толще грунтового массива назначается в вершине купола затухания деформаций (рис. А.4 Б) или на контакте литологических разностей грунтов. Аналогичное правило действует и для третичной полости по отношению ко вторичной. Следует учесть, что в условиях карбонатного карста, а также карста сульфатного при относительно мощной (более 10 м) перекрывающей толще глинистых пород, вторичные полости, не приуроченные к контакту глинистых и песчаных грунтов, крайне малы (менее 1 м) и их развитие в абсолютном большинстве случаев носит затухающий характер. Однако не исключены сценарии, при которых, например, в результате химического выщелачивания или развивающейся суффозии на фоне периодически изменяющейся неотектонической обстановки, возможен дальнейший рост вторичных полостей. Период времени, необходимый для увеличения вторичной полости до значительных размеров, может быть растянут во времени и несопоставим со сроком службы ВСЖМ-1. В этом случае факт роста таких полостей не учитывается при расчете их размеров в основании фундаментов глубокого заложения и под острием свай.

При моделировании провалообразования на поверхности земли, размеры вторичных полостей (при условии их дальнейшего развития и роста) принимаются меньше первичных за счет эффекта «разрыхления» обрушивающихся в первичную полость грунтов покровной толщи, которое, обычно, представляет собой серию вывалов отдельных блоков. В результате такого «разрыхления» в песчаной толще происходит переупаковка скелета грунта, следствием которой является снижение природной плотности грунта и одновременное увеличение его объема. Ширина возможной вторичной полости, связанной с внутренним вывалом перекрывающих грунтов в первичную полость и/или с растворением карбонатно-сульфатных прослоев и стяжений (химическая суффозия), развитых в их толще, принимается меньше предельной ширины первичной карстовой полости (рис. А.4 Б; А.4 В), при условии, что первичная карстовая полость в результате обрушения не выходит на поверхность. При этом размер вторичной полости обосновывается в каждом конкретном случае отдельно.

В условиях мощной песчаной толщи, насыщенной водой, и невозможности выхода первичной карстовой полости на земную поверхность в виде провала, моделирование вторичных полостей производится с учетом ползучего разжижения водонасыщенных песков. Вторичные полости, формирующиеся в таких грунтовых условиях в случаях возможности их дальнейшего разрастания, наоборот, могут достигнуть диаметра, превышающего диаметр первичной полости. Размер вторичных полостей в таких грунтовых условиях следует принимать больше размера первичной полости. При этом размер вторичной полости обосновывается в каждом конкретном случае отдельно.

### А.2.3 Интерпретация результатов моделирования

А.2.3.1 Интерпретация результатов моделирования производится в ходе анализа модели поля изменчивости абсолютной деформации грунтов (рис. А.6, А.7).

А.2.3.2 Пиковые участки графиков абсолютной деформации грунта, построенных по линии деформированной поверхности земли, идентифицируются как место возможного заложения провала, диаметр которого определяется по линейной зоне максимальных деформаций, граница которой отбивается по двукратным приращениям величины деформации между соседними точками графика (рис. А.6).

А.2.3.3 При больших абсолютных деформациях поверхности вокруг провала, как правило, превышающих 0,5 – 1 м, может быть выделена зона локального оседания, диаметр  $d_{oc}$  которой определяется по графику с учетом среднего отношения глубин  $h_{oc1}$  к диаметрам  $d_{oc2}$  уже существующих в районе исследований оседаний (рис. А.6 А);

А.2.3.4 При незначительных деформациях земной поверхности вокруг провала может быть выделена зона понижения (мульда оседания), диаметр  $d_{пон}$  которой определяется по графику с учетом требований к максимальной деформативности земляного полотна, которая не должна превышать 15 мм. Участки графика, на которых глубина деформации более данной величины, относятся к понижениям (рис. А.6 Б). Диаметр понижений в пределах допустимых значений деформаций (менее 15 мм) определяется в случае очевидного установления деформируемой зоны на карстологической модели или на графике абсолютной деформации грунтовой толщи;

А.2.3.5 Диаметр полости (провала)  $d_{пол1}$  под фундаментом или острием сваи при условии их опирания на грунты покровной толщи определяется в соответствии с пунктом А.2.3.2. При этом вместо деформированной поверхности земли при построении графика изменчивости абсолютной деформации грунта используется линия, проведенная в плоскости на глубине залегания фундамента (острия сваи).

При должном обосновании расчетный диаметр полости (провала) в основании фундамента (под острием сваи) может быть установлен по математическим зависимостям от высоты полости, устанавливаемой по абсолютной вертикальной деформации грунта (рис. А.6 В; А.7 Б).

А.2.3.6 При опирании фундамента или сваи на карстующиеся породы диаметр полости в их основании следует определять в соответствии с положениями А.2.2.2 настоящего приложения.

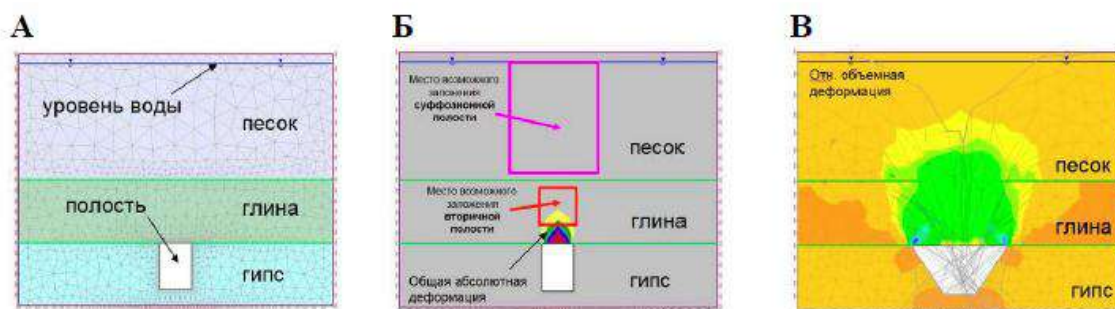


Рисунок А.4 – Пример формирования: А – входной модели; Б – промежуточной модели, иллюстрирующей деформацию грунта в глине на стадии 1 и зоны возможного заложения вторичных полостей на последующих стадиях развития процесса; В – результирующей модели обрушения грунта с выходом провала на поверхность, представленной в единица объемной деформации грунта

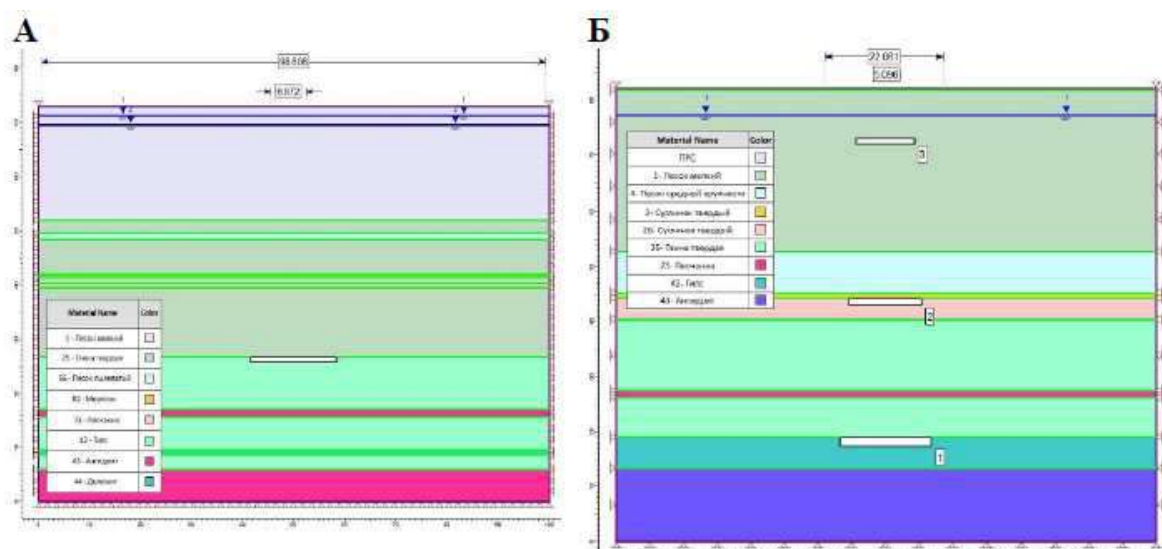


Рисунок А.5 – Пример формирования модели: А – карстовой полости предельного диаметра 17 м, развитой на контакте гипса и глины; Б – первичных и вторичных карстовых полостей

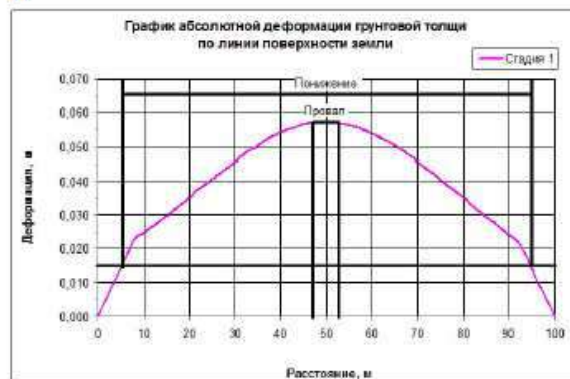
**А****Б****В**

Рисунок А.6 – Пример анализа графиков абсолютных деформаций, построенных по линии земной поверхности и на глубине заложения фундамента, с целью определения прогнозных морфометрических параметров: А – провалов и локальных оседаний; Б – провалов и понижений; В – провалов, понижений, а также полостей в основании фундамента (под острием сваи)



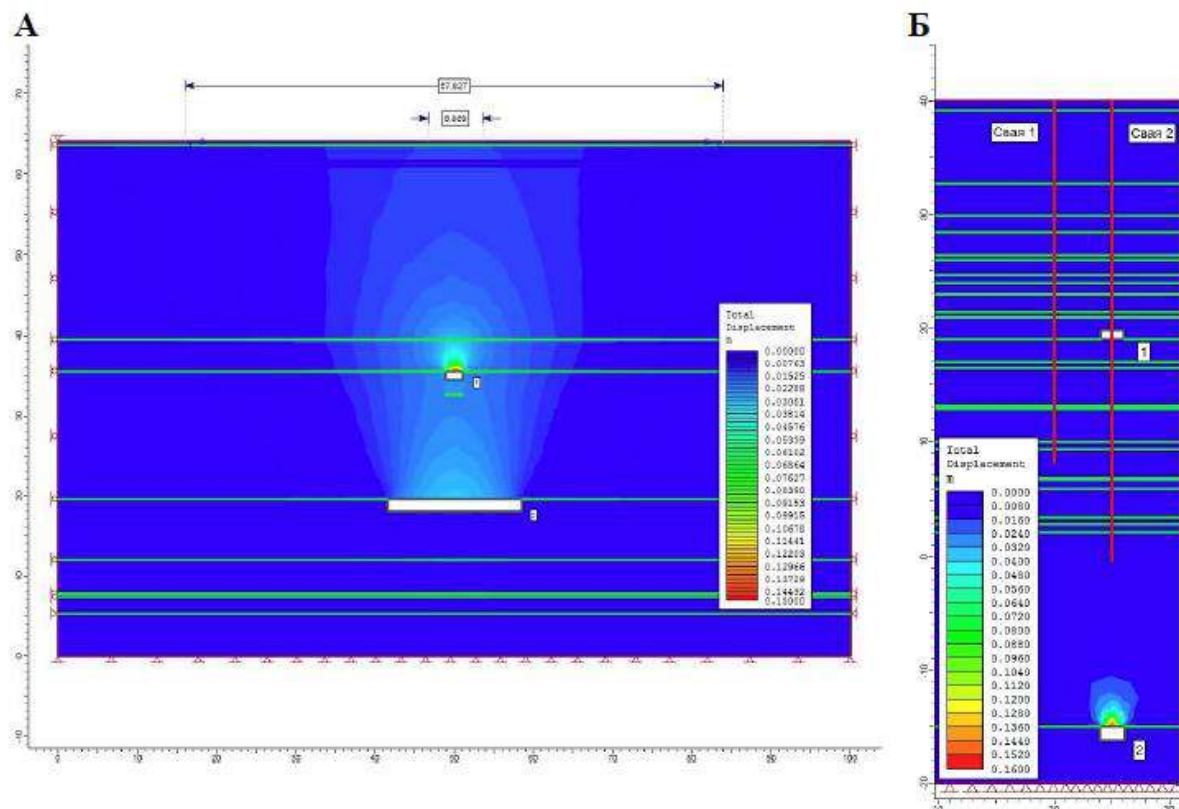


Рисунок А.7 – Модель поля изменчивости абсолютной деформации грунтов в случае выхода провала на поверхность (А) и на глубине заложения фундамента или под острием сваи (Б)

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

### Геофизические методы, используемые при инженерных изысканиях

Методы	Виды исследований	Решаемые задачи
<b>Волновой метод геофизики</b>		
Георадиолокация	Наземное, Изыскательские работы, мониторинг, контроль качества	Картирование участков распространения органо-минеральных грунтов (торфов, илов, сапропелей), выявление подземных карстовых полостей, окантовка оползневых тел, контроль качества производства работ при отсыпке насыпей, контроль за состоянием земляного полотна в процессе эксплуатации
<b>Электромагнитные методы естественного поля</b>		
Метод естественного электрического поля постоянного тока	Наземное и акваториальное профилирование, трассовая и площадная съемка, каротаж	Обнаружение областей питания и разгрузки подземных вод, участков просачивания вод через земляные сооружения, установление мест коррозии арматуры
Метод естественных импульсов электромагнитного поля Земли		Оценка напряженного состояния массива, степени трещиноватости грунтового массива, локализация мест нарушения сплошности
<b>Электроразведка постоянным (или низкочастотным) током</b>		
ЭП	Наземные	Картирование - субвертикальных геологических тел (зон повышенной трещиноватости, наличия полостей и др.; пород различного состава, влажности, пористости
ВЭЗ различными установками, электрическая томография	Наземные на акваториях	Определение состава, строения, свойств пород, включая, коррозионную агрессивность грунтов и подземных вод. Определение удельного электрического сопротивления.
Электропрофилирование и зондирование по методу двух составляющих	Наземные	То же, что ЭП т ВЭЗ при наблюдениях на одном профиле или в одной точке, сложных геологических сред
Электрокаротаж каротаж сопротивлений; токовой каротаж	Скважинные	Расчленение разреза, обнаружение зон повышенной трещиноватости, пористости, обводненности, определение состава, строения и свойств пород

Методы	Виды исследований	Решаемые задачи
Метод заряженного тела		Фиксация направления и скорости движения подземных вод
Резистивиметрия	Лабораторные, скважинные, акваториальные	Изучение режима подземных вод и их загрязнения. Оценка коррозионной агрессивности грунтов, определение минерализации жидкости.
<b>Сейсмоакустические методы</b>		
<b>Сейсмические</b>		
МПВ, метод отраженных волн, в модификации общей глубинной точки, многоканальный анализ поверхностных волн	Наземные	Расчленение разреза, установление геологических границ, обусловленных сменой литологического состава, состояния, степени трещиноватости, влагонасыщенности; изучение оползневых и карстовых участков, физико-механических свойств грунтов, их анизотропии
СК, сейсмическое просвечивание, вертикально-сейсмическое профилирование	Скважинные	Расчленение разреза, обнаружение ниже забоя и в стороне от скважины, выделение зон трещиноватости и разуплотнения, оценка физико-механических свойств грунтов
Непрерывное сейсмическое профилирование	На акваториях	Изучение строения дна, расчленение разреза, расчленение разреза по литологии, оценка состава и свойств грунтов
<b>Акустические</b>		
Акустический каротаж	В скважинах	Исследование состава и свойств массива пород
Непрерывное акустическое профилирование	На акваториях	Изучение состава и свойств массива пород
<b>Ультразвуковые</b>		
Ультразвуковой каротаж	Наземные и скважинные	Расчленение разреза по вертикале, изучение состава, строения и свойств грунтов
<b>Магниторазведка</b>		

Методы	Виды исследований	Решаемые задачи
Трассовая и площадная съемка	Наземные	Расчленение по литологическим признакам осадочных и четвертичных отложений, изучение трещиноватости скальных пород, изучение геодинамических процессов на оползневых и карстоопасных участках
<b>Гравиоразведка</b>		
Трассовая и площадная гравиоразведочная съемка	Наземные	Обнаружение и определение геометрии аномалеобразующих тел, глубины их залегания (в пределах до 10 м). Отличие грунтов по плотности 0,02-0,03 г/см <sup>3</sup>
<b>Ядерно-физические методы</b>		
Гамма-гамма каротаж, ННК, метод естественной радиоактивности	Скважинные	Определение плотности, влажности, общей пористости грунтов в естественном залегании, особенно песков от пылеватых до гравелистых, в том числе техногенных насыпанных и крупнообломочных грунтов; определение естественной радиоактивности и глинистости грунтов
<b>Газово-эманационные методы</b>		
Радон-тороновый метод, газово-эманационный метод	Наземные	Структурно-геодинамическое картирование, выделение устойчивых блоков пород и геодинамических зон с различным уровнем активности, связанным с разрывной тектоникой, оползнями, карстом. Не применяется в заболоченной местности и на обнаженных скальных породах

### **Дополнительные требования к инженерно-геологическим изысканиям при определении параметров моделей для численных расчетов**

#### **В.1 Разведка основания земляного полотна**

##### **В.1.1 Участки индивидуального проектирования**

В.1.1.1 Участки проектирования на «слабых и недостаточно прочных» грунтах обследуются разведочными поперечниками из трех скважин в соответствии с таблицами В.1 и В.2. Глубина скважин определяется инженерно-геологическими условиями, но не менее глубины активной зоны с заглублением в более прочные породы не менее 5 м.

В.1.1.2 Из органических и органоминеральных грунтов отбираются пробы на прокаливание, определение степени разложения и зольности торфа. Дополнительно выполняются испытания вращательным срезом в скважинах на участках распространения органических и органоминеральных грунтов в объеме не менее трех точек на каждый километр протяженности участка.

В.1.1.3 Участки подходных насыпей мостам и эстакадам обследуются поперечными профилями из 3 скважин. Глубина скважин определяется инженерно-геологическими условиями (строением и состоянием грунтовой толщи) конкретного участка и предполагаемым проектным решением.

В.1.1.4 Участки выемок глубиной более 12 м обследуются разведочными профилями из трех скважин через 100 м глубиной 15 – 35 м (на 2-3 м ниже нижней границы выемки).

В.1.1.5 Рекомендуемое расстояние между горными выработками и их глубина для первого и второго этапа изысканий представлены в таблицах В.1 и В.2.

Таблица В.1 – Объемы инженерно-геологических изысканий для разведки  
земляного полотна – первый этап

Тип основания	Прочное			Недостаточно прочное			Слабое		
Насыпи/ выемки высотой (глубиной)	Расстояние по оси, м/глубина	Расстояние на поперечниках, м	Расстояние между поперечниками, м	Расстояние по оси, м/глубина	Расстояние на поперечниках, м	Расстояние между поперечниками, м	Расстояние по оси, м/глубина	Расстояние на поперечниках, м	Расстояние между поперечниками, м
Насыпи до 10 м	200/25	----- -----	----- ----	200/25	----- -----	----- ----	200/25	25	----- -----
Выемки до 12 м	200/25	25	200	200/25	25	200	200/25	25	200
Насыпи более 10 м	200/25	----- -----	----- ----	200/25	----- -----	----- ----	200/25	25	200
Выемки более 12 м	200/25	25	200	100/25	25	200	100/25	25	200
Косогорный участок	200/25	25	200	200/25	25	200	200/25	25	200
Примечание – также горные выработки необходимо размещать на поперечниках, намечаемых через 100 м, на участках с развитием опасных геологических и инженерно-геологических процессов и явлений									

Таблица В.2 – Объемы инженерно-геологических изысканий для разведки  
земляного полотна – второй этап

Тип основания	Прочное			Недостаточно прочное			Слабое		
Насыпи/ выемки высотой (глубиной)	Расстояние по оси, м/глубина	Расстояние на поперечниках, м	Расстояние между поперечниками, м	Расстояние по оси, м/глубина	Расстояние на поперечниках, м	Расстояние между поперечниками, м	Расстояние по оси, м/глубина	Расстояние на поперечниках, м	Расстояние между поперечниками, м
Насыпи до 10 м	150/15	----- --	-----	100/25	25	200	50/25	25	50
Выемки до 12 м	100/15	25	100	100/25	25	100	50/25	25	50
Насыпи более 10 м	150/35	25	150	100/25	25	100	50/25	25	50
Выемки более 12 м	100/25	25	100	100/25	25	100	50/25	25	50
Косогорный участок	50/20	25	50	50/25	25	50	50/25	25	50

Тип основания	Прочное			Недостаточно прочное			Слабое		
Насыпи/ выемки высотой (глубиной)	Расстояние по оси, м/глубина	Расстояние на поперечниках, м	между поперечниками, м	Расстояние по оси, м/глубина	Расстояние на поперечниках, м	между поперечниками, м	Расстояние по оси, м/глубина	Расстояние на поперечниках, м	Расстояние между поперечниками, м
Примечание – Глубина скважин на участках насыпей и выемок должна быть не менее глубины сжимаемой толщи и обеспечивать достаточность для выполнения расчетов по деформациям и несущей способности									

## В.2 Разведка оснований искусственных сооружений

В.2.1 Основания путепроводов, мостов, эстакад обследуются проходкой одной или двух горных выработок в соответствии с табл. 6.5 СП 47.13330.2012 под каждую опору.

В.2.2 При отсутствии материалов и данных для принятия проектных решений по окончательному выбору местоположения искусственных сооружений (переходов трассы через естественные и искусственные препятствия), выбору типов фундаментов на первом этапе изысканий основания путепроводов, мостов, эстакад обследуются через каждые 100 м, в случае протяженности ИССО менее 100 м количество инженерно-геологических выработок определяется в соответствии с требованиями п.7.1.7 СП 446.1325800.2019, но не менее 2.

Глубина проходки инженерно-геологических выработок при инженерно-геологической съемке должна обеспечивать изучение инженерно-геологического разреза и оценку гидрогеологических условий в пределах предполагаемой сферы взаимодействия проектируемых объектов с геологической средой, должна быть не менее чем на 5 м больше суммы предполагаемой глубины фундамента и минимальной глубины сжимаемой толщи. На слабо изученной территории для выявления общих закономерностей геологического строения и гидрогеологических условий исследуемой территории при отсутствии данных для определения минимальной глубины сжимаемой толщи следует предусматривать проходку инженерно-геологических скважин, на первом этапе изысканий в соответствии с требованиями п.7.1.9, п.7.1.10, п.7.1.12, п.7.2.6 СП 446.1325800.2019 и глубиной до 60 м (для ИССО). Если на первом этапе изысканий обнаружены участки, требующие увеличения глубины инженерно-геологических выработок, то их глубина уточняется на последующих этапах изысканий. Глубина скважин указывается в программе.

### В.3 Требования к проведению испытаний

Б.3.1 Для каждого образца определить набор физико-механических характеристик в зависимости от типа грунта и назначенной цифровой модели поведения грунта (табл. В.3). Для песчаных, а так же несвязных крупнообломочных грунтов до начала испытаний в лабораторию следует предоставить результаты определения плотности полевыми методами. Образцы песчаных грунтов заданной плотности и влажности изготавливать в соответствии с Приложением В ГОСТ 30416-2012.

Таблица В.3 – Перечень физико-механических характеристик грунтов, подлежащих определению в процессе ИГИ для различных типов грунта

Тип грунта	Физико-механические характеристики	Методы определения
Прочный не скальный	$E_0$ ( $E_{def}$ ) – модуль общей деформации $\nu$ – коэффициент относительной поперечной деформации $c'$ – эффективное значение удельного сцепления $\phi'$ – эффективное значение угла внутреннего трения $\psi$ – угол дилатансии	<p>Осесимметричное трехосное сжатие в консолидированно-дренированном режиме по ГОСТ 12248.3-2020.</p> <p>Одноплоскостной срез в консолидированно-дренированном режиме по ГОСТ 12248.1-2020.</p> <p>Угол дилатансии определяется по результатам трехосного сжатия согласно Прил. К ГОСТ 12248.3, либо по Прил. А СТО 8.3-003-2019/Ред. 01</p> <p>Для несвязных крупнообломочных грунтов параметры определять для песчаного заполнителя с фракцией &lt; 2 мм. Плотность сложения принимать по п. 2.1.</p>
Прочный скальный, полускальный и крупнообломочный	<p><i>Для скальных и полускальных грунтов:</i></p> $R_c$ – прочность на одноосное сжатие $R_{QD}$ – показатель качества породы	<p>Прочность на одноосное сжатие для скальных и полускальных грунтов - по ГОСТ 21153.2-84</p>
	<p><i>Для крупнообломочных грунтов:</i></p> $E_0$ ( $E_{def}$ ) – модуль общей деформации $c'$ – эффективное значение удельного сцепления $\phi'$ – эффективное значение угла	<p>Для крупнообломочных грунтов механические параметры определяются расчетом на основании физических характеристик по методике ДальНИИС (в предположении бесконечно прочных обломков) с учетом физических характеристик заполнителя</p>



Тип грунта	Физико-механические характеристики	Методы определения
	внутреннего трения	
Недостаточно прочный	$E_{50}^{ref}$ – модуль деформации при 50% прочности $E_{ur}^{ref}$ – модуль упругости по ветви повторного нагружения $\nu_{ur}$ – коэффициент Пуассона $E_{oed}^{ref}$ – одометрический модуль $c'$ – эффективное значение удельного сцепления $\phi'$ – эффективное значение угла внутреннего трения $\psi$ – угол дилатансии $m$ – показатель степени для зависимости жесткости от нагружения	<p>Осесимметричное трехосное сжатие в консолидированно-дренированном режиме по ГОСТ 12248.3-2020.</p> <p>Компрессионное сжатие по ГОСТ 12248.4-2020.</p> <p>Интерпретация результатов выполняется согласно СТО 8.3-003-2019/Ред. 01.</p>
Слабый не органоминеральный и не органический	$\lambda^*$ – модифицированный коэффициент сжимаемости $\kappa^*$ – модифицированный коэффициент разбухания $\mu^*$ – модифицированный коэффициент ползучести $c'$ – эффективное значение удельного сцепления $\phi'$ – эффективное значение угла внутреннего трения $\psi$ – угол дилатансии $c_u'$ – сопротивление недренированному сдвигу	<p>Компрессионное сжатие с разгрузкой по ГОСТ 12248.4-2020. Интерпретация результатов выполняется согласно СТО</p> <p>Трехосное сжатие в консолидированно-недренированном и неконсолидированно-недренированном режимах по ГОСТ 12248.3-2020.</p>
При наличии выемки глубиной более 5 м от дневной поверхности	См. п. 3	См. п. 3

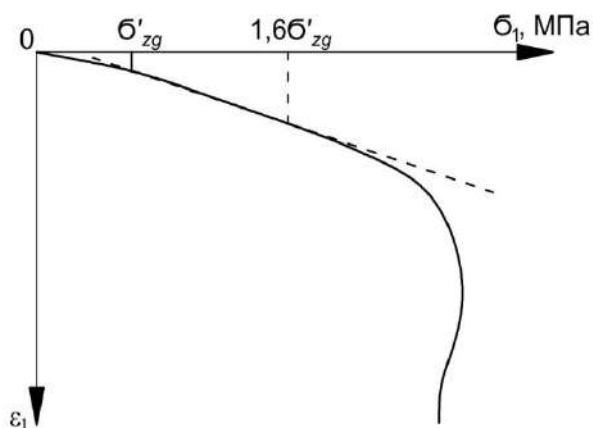
В.3.2 При определении параметров деформируемости в приборах компрессионного сжатия диапазон вертикальных нагрузок должен превосходить сумму бытового давления на глубине отбора и дополнительного давления от сооружения:

$$\sigma_{max} \geq \gamma h + 300, \text{ кПа} \quad (\text{В.1})$$

где  $\sigma_{max}$  – максимальная ступень вертикальной нагрузки,  $\gamma$  – средний удельный вес грунтов выше точки отбора,  $h$  – глубина отбора образца, отсчитываемая от дневной поверхности.

В.3.3 Для определения модуля общей деформации  $E_0$  по результатам испытаний трехосного сжатия использовать рекомендации рис. В.1. За

начальную точку диапазона следует принимать начало девиаторного нагружения, за конечную точку - точку с вертикальным напряжением, равным  $1,6\gamma h$ .



$\sigma'_{zg}$  - вертикальное давление, соответствующее бытовому вертикальному давлению на глубине отбора

$1,6 \sigma'_{zg}$  - точка, превышающая бытовое вертикальное давление на глубине отбора на 60%

Рисунок В.1 – Выбор участка для определения модуля общей деформации  $E_0$  по результатам испытаний трехосного сжатия

В.3.4 При определении параметров сопротивления сдвигу в приборах трехосного сжатия или одноплоскостного среза максимальное давление консолидации  $\sigma_{max}$  определяется в соответствии с п. В.3.2, а остальные назначаются как часть от него ( $0,25 \sigma_{max}$  и  $0,5 \sigma_{max}$ ).

В.3.5 Испытания трехосного сжатия и одноплоскостного среза для прочных и недостаточно прочных грунтов выполнять в консолидированно-дренированном режиме. Для слабых (табл. В.4) грунтов в местах выемок испытания трехосного сжатия выполнять в консолидированно-недренированном режиме, а для пылевато-глинистых так же в неконсолидированно-недренированном режиме.

Таблица В.4 – Типизация грунтов основания земляного полотна для определения перечня физико-механических характеристик грунтов

Тип грунта (ИГЭ, РГЭ)	Характеристика грунтов основания
Прочный не скальный	Пески (за исключением пылеватых песков), плотного сложения; Глинистые грунты с показателем текучести $I_L \leq 0,25$ ; Крупнообломочные грунты с песчаным заполнителем (при массе заполнителя более 40 % от общей массы воздушно-

Тип грунта (ИГЭ, РГЭ)	Характеристика грунтов основания
	сухого грунта);
Прочный скальный, полускальный и крупнообломочный	Скальные и полускальные грунты; Крупнообломочные грунты с песчаным заполнителем (при массе заполнителя менее 40% от общей массы воздушно-сухого грунта); Крупнообломочные грунты с глинистым заполнителем.
Недостаточно прочный	Глинистые грунты с показателем текучести $0,25 < I_L \leq 0,5$ ; Пески (за исключением пылеватых песков) средней плотности.
Слабый	Глинистые грунты с показателем текучести $0,5 < I_L \leq 0,75$ . Пески пылеватые и пески рыхлого сложения ИГЭ, в которых имеются прослои слабых грунтов мощностью более 0,5 м
Слабый органический	Торфы, заторфованные грунты, илы, сапропели; Глинистые грунты с $I_L > 0,75$ .
<p><b>Примечания</b></p> <p>1. Рассматриваемые грунты располагаются в границах от основания земляного полотна до глубины активной зоны.</p> <p>2. При расчете осадок земляного полотна активная зона принимается равной глубине от поверхности основания, на которой напряжения от веса земляного полотна, верхнего строения пути и временной нагрузки не превышают 10% от бытового давления. При этом глубина активной зоны не должна быть меньше половины ширины насыпи понизу</p>	

В.3.6 При определении физико-механических характеристик недостаточно прочного грунта и грунта, слагающего выемку глубиной более 5 м в качестве опорного напряжения (давления в камере) для отдельного образца принимать:

$$p_{ref} = \gamma h \cdot K_0 \approx 0,5\gamma h. \quad (B.2)$$

В.3.7 Испытания трехосного сжатия при определении физико-механических характеристик недостаточно прочного грунта и грунта, слагающего выемку глубиной более 5 метров выполнять с разгрузкой. Разгрузку проводить при достижении вертикальным напряжением  $\sigma_z$  значения  $1,6\gamma h$ .

В.3.8 На участках, где проектом предусмотрена выемка глубиной  $> 5$  м, для всех грунтов на данном участке определить физико-механические параметры в соответствии с таблицей Б.3.

В.3.9 Для недостаточно прочного и слабого типов грунтов определить коэффициент фильтрационной консолидации (см. ГОСТ 12248-2010, п. 5.4.5). Режим испытания назначить в зависимости от глубины отбора образца грунта и проектных решений (см. значение  $\sigma_{max}$  в п. 3.2).

В.3.10 Для слабого типа грунта определить коэффициент вторичной консолидации (ползучести). Испытание следует продолжать до выхода графика вторичной консолидации на прямую линию (см. ГОСТ 12248-2010, п. 5.4.5.1), не менее 7 суток и не более 14 суток при величине параметра стабилизации 0,001% за 12 часов.

В.3.11 Для недостаточно прочных и слабых грунтов (табл. В.4) определить коэффициент фильтрации  $K_f$ , либо прямым испытанием по ГОСТ 25584-2016 (песчаные грунты), либо расчетом на основании коэффициента фильтрационной консолидации по п. 3.9 (глинистые грунты).

В.3.12 Для крупнообломочных грунтов определить параметры, необходимые для оценки их механических свойств по Методике ДальНИИС: гранулометрический состав и физические характеристики заполнителя. Коэффициент истираемости обломков принять равным единице.

В.3.13 Для скальных и полускальных грунтов при отборе выполнить определение показателя качества породы  $RQD$  как отношение общей длины сохранных кусков керна длиной более 10 см (или два диаметра керна) к длине пробуренного интервала в скважине. Предоставить классификацию скального грунта на основании  $RQD$  по ГОСТ 25100-2020, табл. Г.4.

#### **В.4 Требования к статистической обработке**

В.4.1 Все расчетные характеристики должны быть приведены при доверительной вероятности 0,85 для расчетов по второй группе предельных состояний и 0,95 для расчетов по первой группе предельных состояний. Статистическую обработку (отбраковку результатов, вычисление коэффициента вариации и коэффициента надежности по грунту) выполнять по ГОСТ 20522-2012.

В.4.2 Проверить возможность объединения инженерно-геологических элементов (ИГЭ) в расчетные геологические элементы (РГЭ) на основании их механических параметров в соответствии с п. 5.7. ГОСТ 20522-2020. В отчете представить статистическое обоснование объединения в РГЭ или сохранения отдельных ИГЭ.

В.4.3 Определение параметров сопротивления сдвигу в пределах ИГЭ (РГЭ) выполнять путем обработки всех пар опытных значений как единой совокупности в соответствии с п. 7.6 ГОСТ 20522-2020.

## **В.5 Порядок предоставления результатов**

В.5.1 Состав и содержание отчета об инженерно-геологических изысканиях должны отвечать требованиям СП 47.13330.2016, пп. 6.3.1.5, 6.3.2., а так же дополнительным требованиям СП 446.1325800.2019.

В.5.2 Для прочных скальных грунтов по классификации, приведенной в табл. В.3, табл. В.4, допускается предоставление исходных данных в виде объединенной сводной таблицы с нормативными и расчетными значениями физико-механических свойств ИГЭ, определенными в соответствии с действующими нормативами.

В.5.3 Для каждого грунта, определенного по таблице В.4, как недостаточно прочный или слабый тип, предоставить паспорта (протоколы) испытаний, содержащие физические характеристики образца, результаты испытания в форме графиков и таблиц измеренных величин, а также значения определенных в результате опыта механических параметров. Каждый паспорт (протокол) лабораторного испытания должен иметь привязку к скважине, глубине отбора и наименования грунта. Паспорта (протоколы) испытаний должны быть сгруппированы по результатам камеральной обработки по ИГЭ (РГЭ).

В.5.4 Протоколы трехосного сжатия должны содержать зависимость между девиатором напряжений ( $\sigma_1 - \sigma_3$ ) и относительной осевой деформацией  $\varepsilon_1$ , а так же между относительной объемной деформацией  $\varepsilon_v$  и относительной осевой деформацией  $\varepsilon_1$ .

В.5.5 Протоколы испытаний на консолидацию для недостаточно прочных и слабых грунтов должны содержать графики первичной и вторичной консолидации (зависимости деформации от времени).

## **В.6 Перечень материалов необходимых для проектирования защитных мероприятий на оползневых склонах**

В.6.1 В отчете необходимо представить описание физики оползневого процесса в привязке к конкретному оползневому участку; указать наличие или отсутствие выявленного зеркала скольжения оползня.

В.6.2 При выявлении предопределенной поверхности скольжения следует определить характеристики остаточного сопротивления сдвигу грунта  $\varphi_r$  и  $c_r$  методом «плашка по плашке».

В.6.3 Испытания одноплоскостного среза проводить по следующим схемам:

- в природном состоянии, неконсолидированный (быстрый срез);
- срез по подготовленной поверхности (метод «плашка по плашке» при природной влажности), неконсолидированный;
- срез по подготовленной увлажненной поверхности (метод «плашка по плашке» по увлажненной поверхности), неконсолидированный.

## Требования к проведению штамповых испытаний при контроле качества сооружения конструктивных слоев земляного полотна ВСЖМ-1

### Г.1 Общие положения

Г.1.1 Штамповые испытания проводят в полевых условиях для определения показателей деформируемости конструктивных слоев земляного полотна, отсыпаемых из галечниковых, гравийных, песчаных и глинистых грунтов согласно ГОСТ 25100, а также естественных оснований при проведении инженерных изысканий.

Г.1.2 Целью штамповых испытаний является определение модуля деформации конструктивных слоев земляного полотна,  $E_v$ .

Г.1.3 Штамповые испытания производят в четыре этапа:

- первый этап: первичное нагружение штампа;
- второй этап: разгрузка штампа;
- третий этап: вторичное нагружение штампа;
- четвертый этап: разгрузка штампа.

Г.1.4 Модуль деформации,  $E_v$ , определяемый по первой ветви нагружения, обозначается,  $E_{v1}$ , а определяемый по второй ветви нагружения -  $E_{v2}$ .

Г.1.5 Для определения модуля деформации  $E_v$  в ходе испытаний устанавливают зависимость осадки штампа,  $S$  от среднего нормального напряжения под его подошвой,  $\sigma_0$ :  $\sigma_0 = f(S)$ .

Г.1.6 Результаты испытаний обрабатывают методом наименьших квадратов для установления зависимости

$$S = \alpha_0 + \alpha_1 \cdot \sigma_0 + \alpha_2 \cdot \sigma_0^2, \quad (\text{Г.1})$$

где  $S$  - осадка штампа, мм;

$\sigma_0$  - среднее нормальное напряжение под штампом, МПа;

$\alpha_0$  - постоянная полинома 2-й степени, мм;

$\alpha_1$  - постоянная полинома 2-й степени, мм/МПа;

$\alpha_2$  - постоянная полинома 2-й степени, мм/МПа<sup>2</sup>.

Г.1.7 Для построения зависимости  $\sigma_0 = f(S)$  нагружение штампа осуществляется не менее чем шестью ступенями с одинаковыми интервалами до достижения предварительно заданного максимального напряжения,  $\sigma_{0max}$  или максимальной осадки штампа.

Г.1.8 За максимальное принимается давление под подошвой штампа равное 0,5 МПа. В случае если в ходе испытания до достижения максимального напряжения под штампом достигнута осадка последнего 5 мм, то за максимальное принимается напряжение, измеренное при этой осадке.

Г.1.9 Модуль деформации  $E_v$  рассчитывают по формуле

$$E_V = 1,5 \cdot r \cdot \frac{1}{a_1 + a_2 \cdot \sigma_{0max}} \quad (\Gamma.2)$$

где  $r$  - радиус штампа, мм;

$\sigma_{0max}$  - максимальное среднее нормальное напряжение под штампом при первичном нагружении, МПа;

$a_1$  - постоянная полинома 2-й степени, мм /МПа;

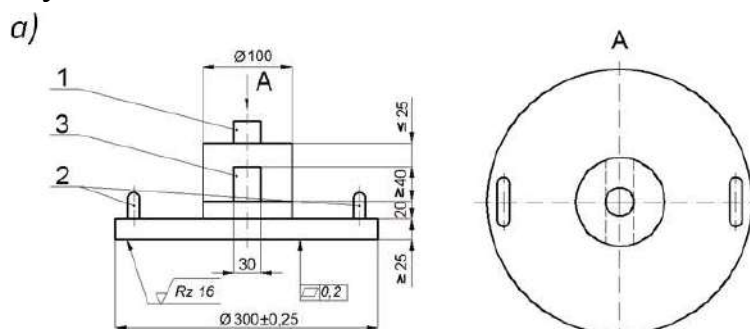
$a_2$  - постоянная полинома 2-й степени, мм /МПа<sup>2</sup>.

## Г.2 Оборудование и приборы

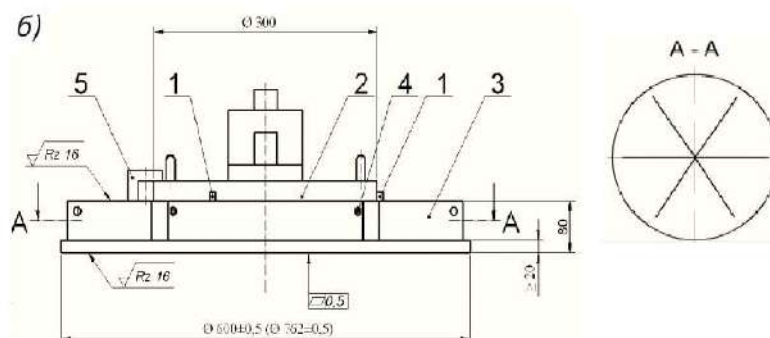
Г.2.1 В состав установки для штамповых испытаний должны входить: штамп; устройство для создания нагрузки на штамп (нагрузочное устройство); динамометр; устройство для измерения осадки штампа.

Г.2.2 Штамп должен иметь диаметр 300, 600 или 762 мм. Штамп диаметром 300 мм должен иметь толщину не менее 25 мм. Штамп диаметром 600 и 762 мм должен иметь толщину не менее 20 мм.

Г.2.3 В качестве материала штампа должна использоваться сталь сорта 17Г1С по ГОСТ 5520. Допуски по ровности и шероховатости штампа должны соответствовать ГОСТ 30893.1, ГОСТ 30893.2 и параметрам, приведенным на рисунке Г.1.



1 – устройство для центрированной передачи нагрузки на штамп; 2 - ручки для транспортировки; 3 – отверстие для расположения измерителя перемещения



1 – центрирующие упоры для штампа диаметром 300 мм; 2 – штамп диаметром 300 мм; 3 – ребра жесткости; 4 – отверстия для транспортировочного устройства; 5 – три фиксирующие скобы

Рисунок Г.1 – Штамп для определения модуля деформации  $E_V$ :

$a$  – штамп диаметром 300 мм;  $b$  – штамп диаметром 600 и 762 мм

Г.2.4 Нагрузочное устройство должно обеспечивать нагружение штампа как минимум шестью равными ступенями с созданием максимального напряжения под штампом не менее 0,5 МПа, а также ступенчатую разгрузку.

Г.2.5 Конструкция штампа и нагрузочного устройства должны исключить опрокидывание последнего и обеспечить центрированную передачу нагрузки.

Г.2.6 Ход штока нагрузочного устройства должен составлять не менее 150 мм.

Г.2.7 Монтажная высота нагрузочного устройства в готовом к работе состоянии не должна превышать 600 мм.

Г.2.8 При проведении штамповых испытаний нагрузочное устройство следует упирать в опорное устройство, вес которого должен быть не менее 46 кН. В качестве опорного устройства для создания нагрузки на штамп можно использовать груженный автомобиль, каток или соответствующую неподвижную опору.

Г.2.9 Для компенсации зазора между нагрузочным устройством и опорной конструкцией необходимо предусмотреть возможность установки дополнительных элементов, позволяющих компенсировать расстояние до 1000 мм.

Г.2.10 Конструкция удлиненного нагрузочного устройства должна исключать возможность ее излома.

Г.2.11 Конструкция установки для проведения испытаний должна предусматривать монтаж между штампом и нагрузочным устройством динамометра для измерения величины нагрузки.

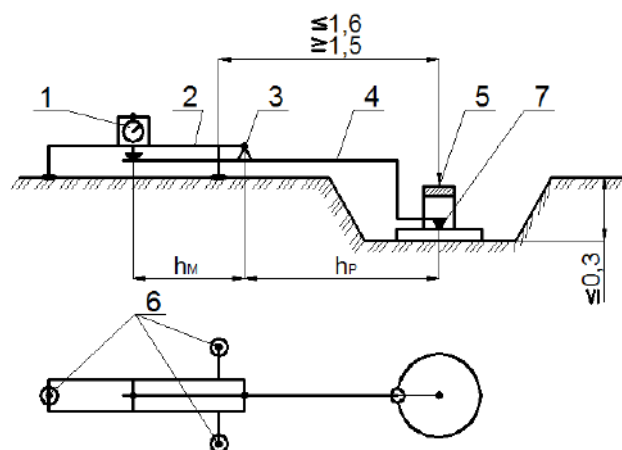
Г.2.12 Применяемый динамометр должен соответствовать требованиям ГОСТ Р 55223, иметь предел измерения нагрузки не менее 36 кН и обеспечивать точность определения не менее 0,1 кН в температурном диапазоне от 0 до 40°C.

Г.2.13 Устройство для измерения осадки штампа (рисунки Г.2 и Г.3) состоит из: кронштейна на трех точечных регулируемых опорах; выдвижного контактного элемента, вращающегося по принципу рычага, либо контактного элемента, перемещающегося по вертикали; датчика перемещения или индикатора часового типа по ГОСТ 577.

Г.2.14 При проведении штамповых испытаний в траншеях глубиной до 0,3 м (включительно) применяют устройство для измерения осадки штампа с выдвижным контактным элементом, вращающимся по принципу рычага (рисунок Г.2).

Г.2.15 При проведении штамповых испытаний в траншеях глубиной более 0,3 м применяют устройство для измерения осадки штампа с контактным элементом, перемещающимся вертикально по оси линейного подшипника (рисунок Г.3).

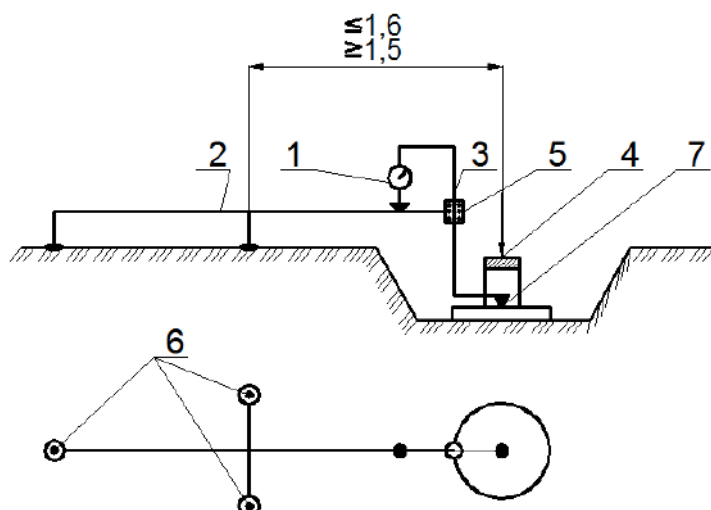




1 – датчик перемещения (индикатор часового типа); 2 – кронштейн; 3 – шарнир; 4 – выдвижной контактный элемент, вращающийся по принципу рычага; 5 – нагрузка; 6 – точечные регулируемые опоры; 7 – измеритель перемещения;  $h_M$ ,  $h_P$  – плечи рычага

Примечание – Размеры даны в метрах

Рисунок Г.2 – Устройство для измерения осадки с выдвижным поворотным контактным элементом, вращающимся по принципу рычага



1 – датчик перемещения (индикатор часового типа); 2 – кронштейн; 3 – контактный элемент, перемещающийся по вертикали; 4 – нагрузка; 5 – подшипник скольжения, работающий по принципу линейного подшипника (ГОСТ ИСО 4378-1); 6 – точечные регулируемые опоры; 7 – измеритель перемещения

Примечание – Размеры даны в метрах

Рисунок Г.3 – Устройство для измерения осадки с контактным элементом, перемещающимся по оси линейного подшипника

Г.2.16 Устройство для измерения осадки должно быть неподвижным в процессе испытаний.

Г.2.17 Расстояние от центра штампа до оси опоры (рисунки Г.2 и Г.3) должно составлять от 1,5 м до 1,6 м включительно.

Г.2.18 Отношение плеч рычага  $h_P/h_M$  (рисунок Г.2) в процессе испытаний должно быть фиксированным и не превышать 2,0.

Г.2.19 Устройство для измерения осадки штампа должно обеспечивать погрешность не более 0,005 мм.

Г.2.20 Допускается измерение осадки с использованием альтернативных средств измерений, если они обеспечивают погрешность не более 0,005 мм.

### **Г.3 Подготовка к испытанию**

Г.3.1 Перед проведением испытаний необходимо проверить следующие требования к установке для штамповых испытаний:

- а) диаметр штампа (рисунок 1);
- б) показания и цену деления динамометра;
- в) показания и цену деления устройства для измерения осадки;
- г) расстояние от центра штампа до оси опоры (рисунки Г.2 - Г.3 и п. Г.2.17);
- д) отношение плеч рычага устройства для измерения осадки с выдвижным поворотным контактным элементом, вращающимся по принципу рычага (рисунок Г.2 и п. Г.2.18);
- е) отсутствие механических повреждений.

Г.3.2 До начала проведения испытания динамометр должен быть поверен в соответствии с требованиями ГОСТ Р 55223.

Г.3.3 До начала проведения испытания индикатор часового типа должен быть поверен в соответствии с требованиями ГОСТ 577.

Г.3.4 Штамп устанавливают на поверхность грунта, подготовленную в соответствии с пп. Г.3.5-Г.3.8, и добиваются плотного контакта штампа с грунтом.

Г.3.5 Поверхность грунта в пределах установки штампа должна быть выровнена вспомогательными устройствами (стальной линейкой, кельмой) или путем сдвигания и поворотом плиты.

Г.3.6 Для выравнивания неровностей поверхности под штампом при необходимости наносится слой маловлажного песка средней крупности по ГОСТ 25100 или гипсового раствора толщиной в несколько миллиметров. При использовании гипсового раствора нижнюю поверхность штампа необходимо смазать маслом. Выдавленный по сторонам гипс необходимо удалить до его затвердевания. До начала проведения испытаний необходимо дождаться схватывания гипсовой подложки.

Г.3.7 На поверхности грунта под штампом не должно быть частиц грунта размером более  $\frac{1}{4}$  диаметра штампа.

Г.3.8 Комки грунта должны быть удалены.

Г.3.9 Нагрузочное устройство устанавливают по центру штампа, под прямым углом к нему, упирая в опорное устройство. Расстояние между штампом и опорным устройством по вертикали должно составлять не менее 0,75 м для штампа диаметром 300 мм, не менее 1,10 м для штампа диаметром 600 мм и не менее 1,30 м для штампа диаметром 762 мм.

Г.3.10 Необходимо исключить сдвиг опорного устройства в плоскости,

перпендикулярной направлению приложения нагрузки, а также обеспечить устойчивость опорного устройства против опрокидывания. Требования, указанные в п.п. Г.3.1-Г.3.7 должны выполняться, в том числе и для наклонных поверхностей.

Г.3.11 В процессе установки нагрузочного устройства монтируют динамометр в соответствии с требованиями п. Г.2.10 и устройство для измерения осадки в соответствии с рисунками Г.2 – Г.3.

Г.3.12 Для измерения осадки грунта необходимо установить измеритель перемещения (рисунки Г.2, Г.3) в центре штампа. При выравнивании штампа необходимо проследить за тем, чтобы острие измерителя перемещения беспрепятственно входило в отверстие штампа и могло быть установлено в его центре.

Г.3.13 Расстояние между опорой кронштейна и поверхностью опорного устройства должно составлять не менее 1,25 м.

Г.3.14 Кронштейн устанавливают горизонтально.

Г.3.15 Датчик перемещения (индикатор часового типа) необходимо установить перпендикулярно поверхности контактного элемента (рисунки Г.2, Г.3).

Г.3.16 Устройство для измерения осадки грунта необходимо защитить от воздействия солнца и ветра устройством навеса.

Г.3.17 Установка для штамповых испытаний не должна испытывать вибрацию во время проведения испытания.

Г.3.18 Перед началом проведения штамповых испытаний необходимо выставить ноль на динамометре и датчике перемещения (индикаторе часового типа) и приложить предварительную нагрузку с созданием напряжения под штампом 0,01 МПа при использовании штампа диаметром 300 и 600 мм и 0,005 МПа при использовании штампа диаметром 762 мм не менее чем на 30 секунд.

Г.3.19 После приложения предварительной нагрузки необходимо обнулить показания датчика перемещения (индикатора часового типа).

## **Г.4 Проведение испытания**

Г.4.1 Нагрузку на штамп следует прилагать в шесть ступеней равными интервалами до достижения предварительно заданного максимального напряжения:

- 0,5 МПа или максимальной осадки штампа 5 мм при использовании штампа диаметром 300 мм;
- 0,25 МПа или максимальной осадки штампа 8 мм при использовании штампа диаметром 600 мм;
- 0,2 МПа или максимальной осадки штампа 13 мм при использовании штампа диаметром 762 мм.

Г.4.2 Продолжительность изменения нагрузки на штамп от одной ступени до другой не должна превышать 1 минуты.

Г.4.3 На каждой ступени необходимо обеспечить постоянную

величину нагрузки. Изменение нагрузки на каждой ступени не должно превышать 2 кПа.

Г.4.4 Нагрузка следующей ступени должна быть приложена в каждом случае через 1 минуту после достижения предыдущей ступени нагрузки.

Г.4.5 В ходе испытания все измеренные значения заносят в протокол испытаний.

Г.4.6 В случае нарушения хода испытания, например, сильного перекоса или значительного погружения штампа, необходимо повторить испытания с установкой штампа в другой точке контролируемого слоя.

Г.4.7 При обнаружении локальных неоднородных участков, например, наличие грунтов различной консистенции или камней, результаты заносят в протокол испытаний. Испытание грунта штампом следует прервать, если при повышении нагрузки сильное увеличение осадки показывает состояние, близкое к разрушению.

Г.4.8 Если при нагружении ошибочно приложена нагрузка больше предусмотренной, то ее нельзя снижать, а следует оставить и отметить в протоколе испытаний. Данные измерений осадки штампа заносят в протокол испытаний.

Г.4.9 Разгрузка штампа осуществляется в 3 ступени - 50%, 25% и 2% от максимальной нагрузки.

Г.4.10 После разгрузки штампа выполняют вторичное нагружение штампа. Вторичное нагружение штампа необходимо осуществлять теми же ступенями, что и при первичном нагружении. За последнюю ступень нагружения следует принимать предпоследнюю ступень первичного нагружения.

Г.4.11 Для контроля вторичного нагружения после ступенчатой разгрузки штампа можно выполнить третий цикл нагружения. После второй ступени нагружения необходимо приложить конечную нагрузку вторичного нагружения без промежуточных ступеней.

## **Г.5 Обработка результатов**

Г.5.1 На каждой ступени нагрузки определяется среднее нормальное напряжение,  $\sigma_0$ :

$$\sigma_0 = \frac{F}{\omega}, \quad (\text{Г.3})$$

где  $F$  – нагрузка на штамп, определяемая показанием динамометра, кН;

$\omega$  – площадь штампа, м<sup>2</sup>.

Г.5.2 Среднее нормальное напряжение,  $\sigma_0$  и соответствующее показание,  $S_M$  на датчике перемещения (индикаторе часового типа) заносятся в протокол испытаний.

Г.5.3 Результаты испытаний оформляют в виде графиков зависимости осадки штампа,  $S$  от среднего нормального напряжения,  $\sigma_0$  (в соответствии с разделом Г.7).

Г.5.4 На графиках для различения процессов нагружения и разгрузки

на линиях осадки указывают соответствующие стрелки (раздел Г.7).

Г.5.5 При использовании устройства для измерения осадки с выдвигным поворотным контактным элементом, вращающимся по принципу рычага (рисунок Г.2) осадку штампа  $S$  рассчитывают по формуле

$$S = S_M \cdot \frac{h_p}{h_M}, \quad (\text{Г.4})$$

где  $S_M$  – показание на датчике перемещений (индикаторе часового типа), мм;

$h_p$  – плечо рычага, м;

$h_M$  – плечо рычага, м.

Г.5.6 Показание  $S_M$  устройства для измерения осадки с контактным элементом, перемещающимся вертикально по оси линейного подшипника (рисунок Г.3), соответствует осадке  $S$  штампа.

Г.5.7 При определении постоянных  $\alpha_0$ ,  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  зависимости (Г.1), описывающей кривую первичного нагружения, первая ступень не учитывается.

Г.5.8 Для определения параметров вторичного нагружения используют максимальное среднее нормальное напряжение под штампом при первичном нагружении,  $\sigma_{0max}$ .

Г.5.9 При определении постоянных  $\alpha_0$ ,  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  зависимости (Г.1), описывающей кривую вторичного нагружения, первая ступень учитывается. Для определения модуля деформации  $E_{V1}$  и  $E_{V2}$  можно использовать вычислительное устройство, запрограммированное на формирование и решение подобных уравнений.

Г.5.10 По вычисленным значениям коэффициентов  $\alpha_0$ ,  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  по первичной и вторичной ветви нагружения по формуле (Г.2) определяют модули деформации  $E_{V1}$  и  $E_{V2}$ . Результаты вычислений заносятся в протокол испытаний в соответствии с разделом Г.7.

## Г.6 Уравнения для расчета постоянных полинома 2-й степени для определения линий осадки

Для определения параметров  $\alpha_0$ ,  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  уравнения

$$s = \alpha_0 + \alpha_1 \cdot \sigma_0 + \alpha_2 \cdot \sigma_0^2$$

по результатам испытания  $(\sigma_{01}; s_1)$ ,  $(\sigma_{02}; s_2) \dots (\sigma_{0n}; s_n)$  составляют систему линейных алгебраических уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} \alpha_0 \cdot n + \alpha_1 \sum_{i=1}^n \sigma_{0i} + \alpha_2 \sum_{i=1}^n \sigma_{0i}^2 = \sum_{i=1}^n s_i, \\ \alpha_0 \sum_{i=1}^n \sigma_{0i} + \alpha_1 \sum_{i=1}^n \sigma_{0i}^2 + \alpha_2 \sum_{i=1}^n \sigma_{0i}^3 = \sum_{i=1}^n s_i \cdot \sigma_{0i}, \\ \alpha_0 \sum_{i=1}^n \sigma_{0i}^2 + \alpha_1 \sum_{i=1}^n \sigma_{0i}^3 + \alpha_2 \sum_{i=1}^n \sigma_{0i}^4 = \sum_{i=1}^n s_i \cdot \sigma_{0i}^2. \end{array} \right. \quad (\text{Г.5})$$

где  $\alpha_0$  – постоянная полинома 2-ой степени, мм;

$n$  – количество испытаний;

$a_1$  – постоянная полинома 2-ой степени, мм/МПа;  
 $\sigma_{0i}$  – среднее нормальное напряжение под штампом, МПа;  
 $a_2$  – постоянная полинома 2-ой степени, мм/МПа<sup>2</sup>  
 $s_i$  – осадка штампа, мм.

По результатам решения системы уравнений (Г.5) определяют параметры  $\alpha_0$ ,  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$ .

Модуль деформации  $E_V$  рассчитывается на основании теории упругого полупространства как секущий модуль. Секущая определяется следующими точками квадратичной параболы (раздел Г.7, рисунок Г.4):

$$P_1 (0,3 \sigma_{0max}; s_1) : P_2 (0,7 \sigma_{0max}; s_2)$$

Таким образом, модуль деформации  $E_{V1}$  рассчитывается следующим образом:

$$\begin{aligned}
 E_{V1} &= 1,5 \cdot r \cdot \frac{\Delta \sigma}{\Delta s} = 1,5 \cdot r \cdot \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{s_2 - s_1} = \\
 &= 1,5r \frac{0,7 \cdot \sigma_{0max} - 0,3 \cdot \sigma_{0max}}{[a_0 + a_1 \cdot 0,7 \cdot \sigma_{0max} + a_2 \cdot (0,7 \cdot \sigma_{0max})^2] - [a_0 + a_1 \cdot 0,3 \cdot \sigma_{0max} + a_2 \cdot (0,3 \cdot \sigma_{0max})^2]} \\
 &= 1,5 \cdot r \cdot \frac{0,4 \cdot \sigma_{0max}}{0,4 \cdot a_1 \cdot \sigma_{0max} + (0,7^2 \cdot a_2 - 0,3^2 \cdot a_2) \sigma_{0max}^2} = 1,5 \cdot r \cdot \frac{1}{a_1 + a_2 \cdot \sigma_{0max}}
 \end{aligned}$$

### Г.7 Пример расчета модулей деформации $E_{V1}$ и $E_{V2}$

Расположение устройства для измерения осадки с выдвижным поворотным контактным элементом, вращающимся по принципу рычага по рисунку 2 ( $h_p = 1,260$  м;  $h_M = 0,945$  м)

Отношение плеч рычага определяют по формуле

$$\frac{h_p}{h_M} = \frac{1,260}{0,945} = 1,333, \quad (Г.6)$$

где  $h_p$  – плечо рычага, м;

$h_M$  – плечо рычага, м.

Модуль деформации  $E_{V1}$  и модуль деформации  $E_{V2}$  рассчитываются на основании данных, полученных в ходе испытаний (таблицы Г.1 и Г.2).

Линии осадки штампа представлены на рисунке Г.4. Результаты расчетов модулей деформации  $E_{V1}$  и  $E_{V2}$  сведены в таблицу Г.3.

Таблица Г.1 – Результаты испытаний при первичном нагружении и разгрузке

Номер ступени	Нагрузка $F$ , кН	Нормальное напряжение $\sigma_0$ , МПа	Показания датчика перемещения (индикатора часового типа) $S_M$ , мм	Осадка штампа $S$ , мм
0	0,71	0,01	0	0
1	5,65	0,080	0,86	1,15
2	11,31	0,160	1,57	2,09

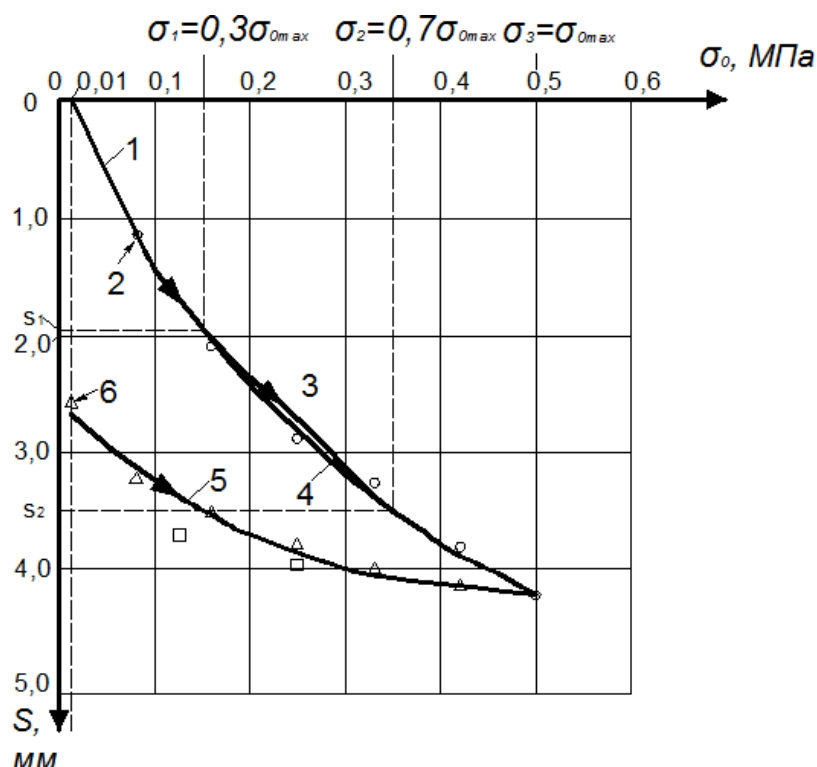
Номер ступени	Нагрузка $F$ , кН	Нормальное напряжение $\sigma_0$ , МПа	Показания датчика перемещения (индикатора часового типа) $S_M$ , мм	Осадка штампа $S$ , мм
3	17,67	0,250	2,15	2,87
4	23,33	0,330	2,44	3,25
5	29,69	0,420	2,85	3,80
6	35,34	0,500	3,16	4,21
7	17,67	0,250	2,97	3,96
8	8,84	0,125	2,78	3,71
9	0,71	0,01	1,94	2,59

Таблица Г.2 — Результаты испытаний при вторичном нагружении

Номер ступени	Нагрузка $F$ , кН	Нормальное напряжение $\sigma_0$ , МПа	Показания датчика перемещения (индикатора часового типа) $S_M$ , мм	Осадка штампа $S$ , мм
9	0,71	0,01	1,94	2,59
10	5,65	0,080	2,42	3,23
11	11,31	0,160	2,65	3,53
12	17,67	0,250	2,84	3,79
13	23,33	0,330	2,99	3,99
14	29,69	0,420	3,10	4,13

Таблица Г.3 — Итоговые результаты определения модулей деформации  $E_{V1}$  и  $E_{V2}$

Показания и параметры	Первичное нагружение	Вторичное нагружение
$\sigma_{0\max}$ , МПа	0,500	0,500
$\alpha_0$ , мм	0,285	2,595
$\alpha_1$ , мм/МПа	12,270	7,120
$\alpha_2$ , мм/Мпа <sup>2</sup>	-9,034	-8,451
$E_V$ МПа	29,0	77,7
$\frac{E_{V2}}{E_{V1}}$	2,68	



○ - точки графика первичного нагружения; □ - точки графика разгрузки; Δ - точки графика вторичного нагружения; 1 - соединительная линия между точкой (0,01 МПа; 0 мм) и первой нагрузочной точкой; 2 - первая нагрузочная точка при первичном нагружении; 3 - секущая между  $0,3 \times \sigma_{0max}$  и  $0,7 \times \sigma_{0max}$ ; 4 - квадратичная парабола между первой и последней нагрузочной точкой при первичном нагружении; 5 - квадратичная парабола между первой и последней нагрузочной точкой при вторичном нагружении; 6 - первая нагрузочная точка при вторичном нагружении;  $S$  – осадка, мм;  $\sigma_0$  - нормальное напряжение, МПа

Рисунок Г.4 — Линии осадки, сглаживающие кривые, согласно таблицам Г.1 и Г.2 для первичного и вторичного нагружения



### Способы определения аэродинамического воздействия от высокоскоростных поездов на конструкции объектов инфраструктуры

#### Аэродинамические нагрузки от высокоскоростных поездов

При расчете конструкций, расположенных вблизи железнодорожных путей (шумозащитных экранов вдоль путей, путепроводов над ВСМ, элементов пролетных строений с ездой понизу и т.д.), должны учитываться аэродинамические воздействия при движении высокоскоростных поездов.

Нагрузки от аэродинамических воздействий на конструкции, расположенные в непосредственной близости от пути, возникающие при проходе высокоскоростных поездов, следует заменять эквивалентными нагрузками, которые могут быть использованы при расчетах указанных конструкций по первой и второй группам предельных состояний. Нормативные значения эквивалентных нагрузок приведены в п. Д.1 – Д.4.

Влияние ветра может быть дополнительно учтено при оценке аэродинамического давления во время прохождения поезда, при этом составляющая скорости ветра, параллельная оси пути, должна быть добавлена к скорости поезда в уравнениях для эквивалентных давлений (Д.2, Д.4, Д.11).

Интенсивность аэродинамического воздействия зависит от:

- квадрата скорости поезда;
- аэродинамической формы поезда;
- формы конструкции;
- расстояния между поездом и конструкцией и ее расположения относительно поезда.

Динамический характер аэродинамических нагрузок от высокоскоростных поездов следует учитывать путем умножения нормативных значений на величину динамического коэффициента, получаемого путем решения прямой задачи воздействия «бегущей волны» с переменным положительным и отрицательным давлением (вблизи головы и хвоста поезда, а также в зоне сочленения спаренных составов), приложенной к конструкции.

Расчетная скорость  $V$  (км/ч) должна приниматься равной максимальной скорости движения высокоскоростных поездов на данном участке.

Аэродинамическая нагрузка от проходящего поезда действует в совокупности с постоянными и временными нагрузками, а в некоторых случаях является определяющей при проектировании. Таким образом, суммарную нагрузку при расчете объектов инфраструктуры следует определять для различных сочетаний аэродинамической нагрузки с постоянными и временными нагрузками с учетом коэффициента сочетания - 1,0.

## **Динамические расчеты при аэродинамическом воздействии высокоскоростных поездов**

При совпадении частоты возмущения аэродинамического давления от проходящих высокоскоростных поездов с собственной частотой колебаний конструкции возможно возникновение ее резонансных колебаний. Вследствие указанного явления резко увеличиваются значения усилий в элементах конструкции, что влечет за собой накопление и развитие усталостных повреждений.

Для исследования отклика конструкции на аэродинамическое воздействие от высокоскоростных поездов следует выполнять динамические расчеты с учетом рекомендаций настоящего раздела. При решении задачи аэродинамического воздействия высокоскоростного поезда на конструкции инфраструктуры следует определять зависимости изменения во времени и пиковые значения параметров напряженно-деформированного состояния (деформации, напряжения, перемещения в элементах сооружений и т.д.).

Должны быть учтены следующие динамические явления:

- высокая скорость изменения интенсивности прикладываемой нагрузки и соответствующий инерционный отклик конструкции;
- возможные резонансы, возникающие при кратности частот возбуждения собственным частотам колебаний конструкции.

При формировании расчетной модели сооружения для вычисления динамических характеристик конструкции, значений динамических нагрузок, деформаций и реакций в элементах должны быть учтены следующие основные характеристики:

- скорость движения поезда;
- масса элементов конструкции;
- собственные частоты колебаний конструкции по соответствующим формам колебаний;
- длина (схема) поезда;
- параметры демпфирования конструкции (элементов).

### **Скорости, подлежащие рассмотрению**

Следует рассматривать ряд значений скоростей подвижного состава от 150 км/ч до проектной максимальной скорости на соответствующем участке магистрали.

Шаг изменения скоростей назначается таким образом, чтобы исключить вероятность пропуска зон резонанса и занижения пиковых значений амплитуд колебаний конструкций. В области резонансных значений следует уменьшать шаг рассматриваемых скоростей.

### **Демпфирование конструкции**

Величина пикового отклика конструкции зависит от демпфирования. В расчетных моделях следует использовать нижние пределы демпфирования. В динамических расчетах конструкций на аэродинамическое воздействие

следует использовать нижние значения коэффициентов демпфирования из таблицы Д.1.

Таблица Д.1– Демпфирование конструкций

Тип конструкции		Логарифмический декремент, $\lambda$
Стальные	со сварными соединениями	0,02
	соединения на высокопрочных болтах	0,03
	соединения с обычными болтами	0,05
Железобетонные	предварительно напряженные	0,04
	без предварительного напряжения	0,10
Сталежелезобетонные		0,04
Деревянные <sup>1</sup>		0,06 - 0,12
Из алюминиевых сплавов		0,02
Стекланные или стеклопластиковые <sup>1</sup>		0,04 - 0,08
Вантовые элементы	с параллельными прядями	0,006
	из витых канатов	0,020
<sup>1</sup> - Значения демпфирующих характеристик для деревянных и пластиковых конструкций являются ориентировочными. В тех случаях, когда обнаруживаются аэродинамические эффекты, требующие обязательного учета, более точные значения необходимо определять по результатам дополнительных исследований.		
Примечание – Логарифмический декремент $\lambda$ может быть преобразован в коэффициент демпфирования $\zeta$ или коэффициент неупругого сопротивления $\gamma$ согласно следующим зависимостям: $\gamma = 2\zeta$ и $\lambda = 2\pi\zeta$ .		

### Инерционные параметры конструкции

При формировании динамической модели конструкций инфраструктуры следует уделять особое внимание инерционным характеристикам элементов. При выполнении динамических расчетов аэродинамического воздействия следует рассматривать расчетные модели с максимально возможной массой конструкций – для прогнозирования самых низких критических (резонансных) скоростей поездов.

Примечание – Для панелей шумозащитного экрана необходимо принимать их массу во влажном состоянии, но с учетом того, что она не превышает более чем на 10% массу самой панели, заявленную производителем.

### **Жесткость конструкции**

При выполнении динамических расчетов в расчетных моделях конструкций следует учитывать нижние оценки жесткости элементов. Жесткость следует определять в предположении упругой работы элементов.

### **Моделирование аэродинамического воздействия**

Аэродинамическое воздействие от высокоскоростного поезда на конструкции, расположенные в непосредственной близости от железнодорожного пути, представляет собой «бегущую волну» с переменным положительным и отрицательным давлением, сосредоточенную у головного и хвостового обтекателя поезда, а также в зоне сочленения, в случае спаренного состава. При этом воздействие характеризуется частотой, зависящей от:

- скорости поезда;
- длины знакопеременной волны возмущения (расстояние от начала воздействия до его окончания);
- длины поезда (параметр, определяющий вклад «хвостового эффекта» в динамическую реакцию конструкции (наложение воздействия хвостового импульса на возмущения, вызванные головным импульсом)).

Примечание – В расчетах следует рассматривать два случая загрузки – с учетом только головного импульса и с учетом головного (лобового) и хвостового импульсов.

### **Результаты динамического расчета на аэродинамическое воздействие**

В процессе выполнения динамических расчетов следует изучать динамическое поведение конструкции под воздействием аэродинамических возбуждений, вызванных прохождением высокоскоростных поездов. Следует обращать внимание на следующие особенности:

- взаимодействие между формами колебаний конструкции;
- близость соседних частот и формы колебаний конструкции;
- скорости, на которых происходят резонансные явления и связанные с ними формы;
- поведение конструкции при расчетной максимальной скорости;
- зависимость характера динамического поведения от параметров высокоскоростного поезда.

Результатами динамического анализа являются пиковые значения факторов напряженно-деформированного состояния элементов конструкций в объеме необходимом для вычисления динамического коэффициента к аэродинамической нагрузке, вычисляемого по формуле:

$$(1 + \mu) = \frac{S_{din}}{S_{stat}} \quad (Д.1)$$

где  $S_{stat}$  – значение фактора по статическому расчету;

$S_{din}$  – динамическое значение искомого фактора.

В зависимости от типа проверки, динамические коэффициенты к

аэродинамическим нагрузкам от высокоскоростных поездов следует принимать согласно таблице Д.2.

Таблица Д.2 – Динамические коэффициенты к аэродинамическим нагрузкам от высокоскоростных поездов

Значение динамического коэффициента к аэродинамическим нагрузкам от высокоскоростных поездов		
I предельное состояние		II предельное состояние
Прочность и устойчивость	Выносливость	
$1+\mu$	$1+2/3\mu$	$1+\mu=1,0$

### **Основные положения и рекомендации по проектированию объектов инфраструктуры с учетом аэродинамического воздействия**

Шумозащитные экраны вдоль пути и расположенные на путепроводах над ВСЖМ-1 рекомендуется применять из перфорированного материала, который позволяет снизить экстремальные значения локальных давлений за счет их перераспределения по поверхности конструкции. Шумозащитные экраны на мостовых сооружениях ВСЖМ-1 следует располагать только в пределах городской застройки, где это необходимо исходя из соблюдения шумозащитных мероприятий. Во всех остальных случаях установка шумозащитных экранов на мостовых сооружениях не рекомендуется.

Не рекомендуется в конструкциях пролетных строений путепроводов над ВСЖМ-1 предусматривать гибкие элементы продольных и поперечных связей, вследствие их чувствительности к аэродинамическому воздействию.

Элементы конструкций объектов инфраструктуры должны иметь благоприятную аэродинамическую форму (без выступов, с плавным очертанием). Объекты инфраструктуры ВСМ рекомендуется располагать на максимально-возможном удалении от оси пути.

Аэродинамическое воздействие от высокоскоростных поездов следует учитывать при проектировании специальных вспомогательных сооружений и устройств, а также ограждений, навесов, строительно-монтажной техники и пр., расположенных в непосредственной близости от ВСЖМ-1.

## Д.1 Вертикальные поверхности, параллельные рельсовым путям

Нормативные значения воздействий  $\pm q_{1k}$  приведены на рисунке Д.1.

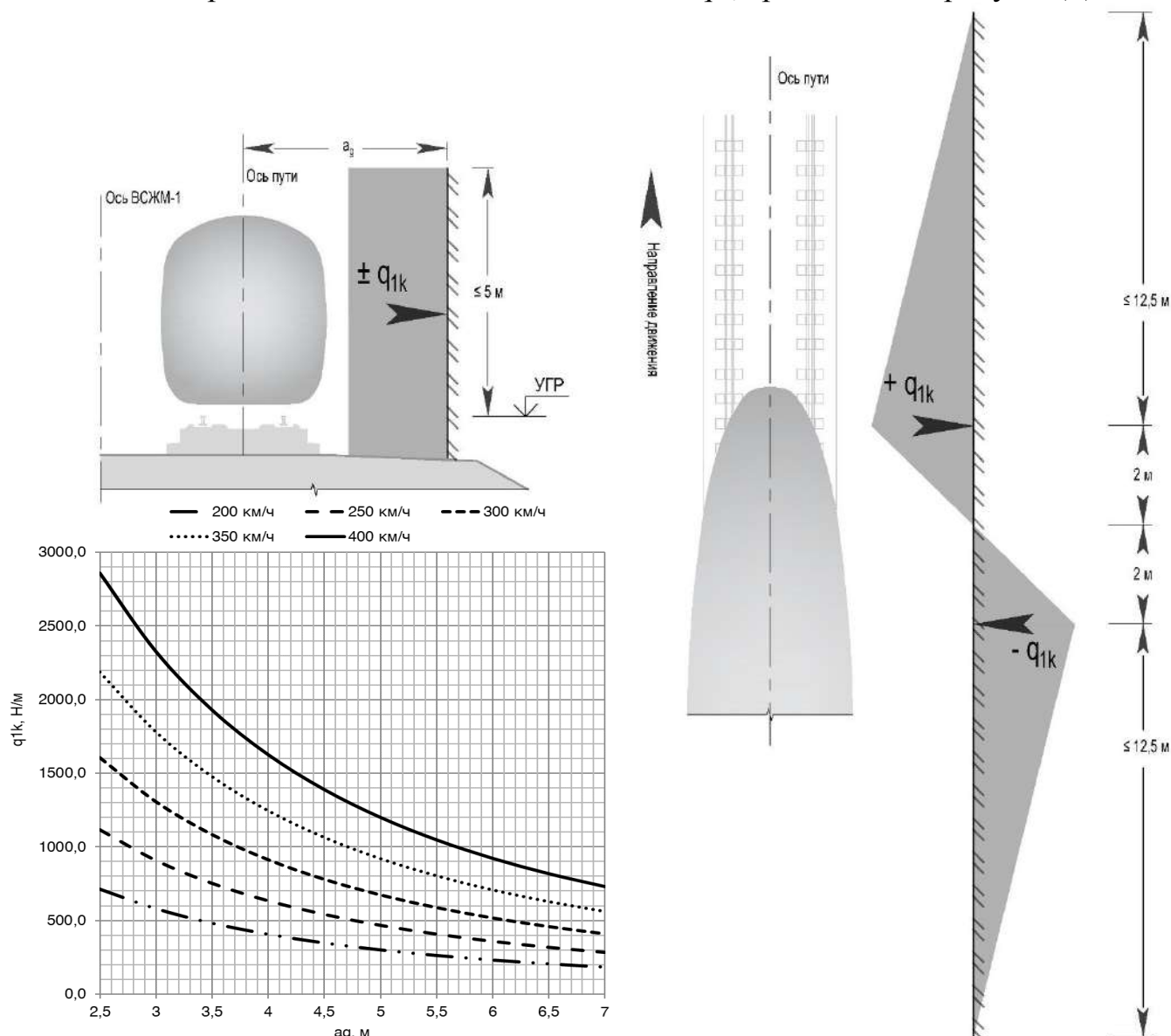


Рисунок Д.1 – Нормативные значения воздействий  $\pm q_{1k}$  для вертикальных поверхностей, параллельных рельсовому пути ( $k_1=1$ )

$$\pm q_{1k} = 0,5 \times \rho_g \times V^2 \times k_1 \times C_{pl}(a_g) \quad (\text{Д.2})$$

В зависимости от расстояния от оси пути до вертикальной поверхности конструкции распределение давления вычисляется по следующим зависимостям:

$$C_{pl}(a_g) = \pm \frac{8,0}{(a_g + 2,1)^2} \quad (\text{Д.3})$$

где  $\rho_g$  – удельный вес воздуха, 1,225 кг/м<sup>3</sup>;

$a_g$  – расстояние от оси пути до вертикальной поверхности конструкции (рис. Д.1), м;

$V$  – расчетная скорость поезда, м/с.

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, не имеющего обтекаемую аэродинамическую форму головного и хвостового вагонов;

0,6 – для обтекаемого подвижного состава.

Для конкретных поездов, при соответствующем обосновании, могут вводиться значения понижающего коэффициента  $k_1$ , отличные от приведенных выше.

Если рассматривается небольшая часть конструкции высотой  $\leq 1,0$  м и длиной  $\leq 2,5$  м (например, элемент шумозащитного экрана), воздействия  $q_{1k}$  должны быть умножены на повышающий коэффициент  $k_2 = 1,3$ .

## Д.2 Горизонтальные поверхности над рельсовыми путями

Нормативные значения воздействий  $\pm q_{2k}$  приведены на рисунке Д.2.

$$\pm q_{2k} = 0,5 \times \rho \times V^2 \times k_1 \times C_{p2}(h_g, W, a_g) \quad (\text{Д.4})$$

где  $\rho$  – удельный вес воздуха, 1,225 кг/м<sup>3</sup>;

$V$  – расчетная скорость поезда, м/с.

Распределение давления в зависимости от расстояния от уровня головки рельса до горизонтальной поверхности конструкции (высота над уровнем головки рельса) вычисляется по следующим зависимостям:

$$C_{p2}(h_g, 10, 0) = \pm \frac{5,5}{(h_g - 1,9)^2} \quad (\text{Д.5})$$

где  $h_g$  – расстояние от уровня головки рельса до горизонтальной поверхности конструкции (рис. Б.2), м.

Используя значение  $C_{p2}(h_g, 10, 0)$  можно определить распределение давления в зависимости от длины горизонтальной поверхности:

– для поездов с неблагоприятной аэродинамической формой:

$$C_{p2}(h_g, W, 0) = (0,025 \times W + 0,75) \times C_{p2}(h_g, 10, 0) \quad (\text{Д.6})$$

– для поездов с обтекаемой аэродинамической формой головного и хвостового вагонов:

$$C_{p2}(h_g, W, 0) = (0,04 \times W + 0,41) \times C_{p2}(h_g, 10, 0), \text{ если } 1,5 \text{ м} \leq W \leq 3,0 \text{ м} \quad (\text{Д.7})$$

$$C_{p2}(h_g, W, 0) = 0,53 \times C_{p2}(h_g, 10, 0), \text{ если } 3,0 \text{ м} \leq W \leq 20,0 \text{ м} \quad (\text{Д.8})$$

где  $W$  – длина горизонтальной поверхности вдоль оси пути (ширина конструкции, пересекающей ВСЖМ-1).

$$C_{p2}(\square_g, W, a_g) = C_{p2}(\square_g, W, 0) \times (1 - 0,01 a_g^2), \text{ если } a_g < 10,0 \text{ м} \quad (\text{Д.9})$$

$$C_{p2}(\square_g, W, a_g) = 0, \text{ если } a_g \geq 10,0 \text{ м}$$

(Д.10)

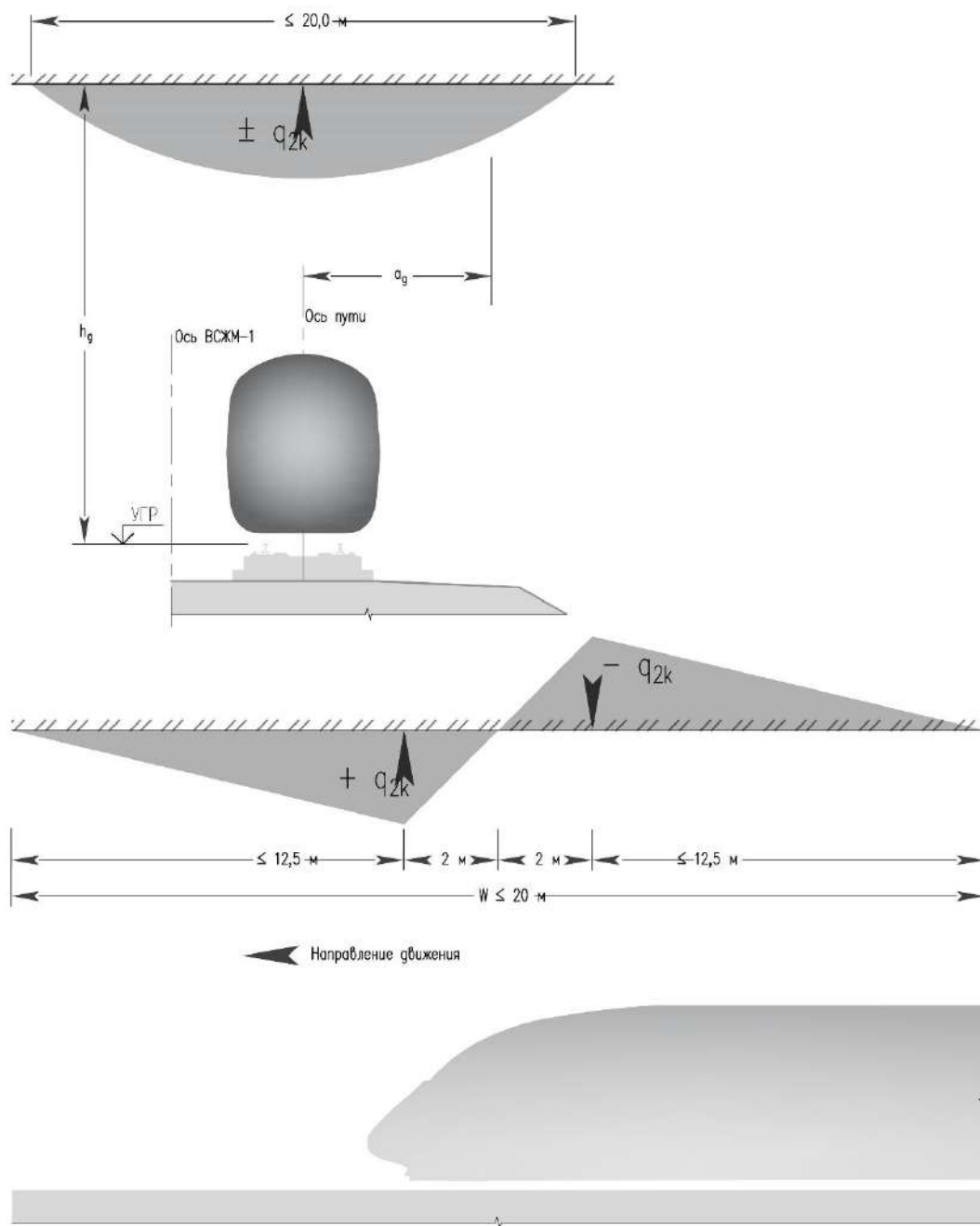


Рисунок Д.2 – Нормативные значения воздействия  $q_{2k}$  для горизонтальных поверхностей выше рельсовых путей ( $W=10\text{м}$ ,  $y=0$  по оси пути,  $k_1=1$ )

Воздействия на конструкцию от поездов, проходящих по соседним путям в противоположных направлениях, суммируются. Нагрузки следует учитывать не более чем с двух путей.

К воздействиям  $q_{2k}$  применяется понижающий коэффициент  $k_1$ , см. Д.1.

При расчете конструкций, пересекающих ВСМ, ширина ( $W$ ) которых более 20 м требуется рассматривать как тоннели. В этом случае, необходимо



учитывать волновой характер воздействия аэродинамического давления на конструкцию.

### Д.3 Горизонтальные поверхности, примыкающие к рельсовым путям

Приведенные нагрузки допускается использовать при расчете навесов на платформах с минимальной высотой 4 м над уровнем головки рельсов и расстоянием не менее 3,45 м от оси пути до вертикальной стенки на платформе (если такая имеется), а также при отсутствии таких стенок или другого поезда, расположенного на пути с обратной стороны платформы (см. рис. Д.3).

Для каждого положения вдоль подлежащей расчету конструкции величина  $q_{zk}$  зависит от расстояния  $a_g$  до ближайшего рельсового пути. В случае, если рельсовые пути расположены с обеих сторон рассматриваемого элемента конструкции, воздействия должны складываться.

$$\pm q_{zk} = 0,5 \times \rho \times V^2 \times k_1 \times C_{p3}(h_g, a_g) \quad (\text{Д.11})$$

В зависимости от расстояния от оси пути до вертикальной поверхности конструкции (стенки на платформе или другого поезда) распределение давления вычисляется по следующим зависимостям:

$$C_{p3}(h_g, a_g) = \pm \left( \frac{6,8}{(h_g - 0,1)^2} \right) \times (1 - 0,13 \times (a_g - 3,45)^2) \quad (\text{Д.12})$$

При отсутствии вертикальной стенки, распределение давления вычисляется следующим образом:

$$C_{p3}(h_g, a_g) = \pm \left( \frac{6,8}{(h_g - 0,1)^2} \right) \times 0,69 \quad (\text{Д.13})$$

где  $\rho$  – удельный вес воздуха, 1,225 кг/м<sup>3</sup>;

$a_g$  – расстояние от оси пути до вертикальной поверхности конструкции (рис. Д.1), м;

где  $h_g$  – расстояние от уровня головки рельса до горизонтальной поверхности конструкции (рис. Д.2), м;

$V$  – расчетная скорость поезда, м/с.

Если стенка на платформе находится на расстоянии более 5 м от оси пути, в расчете следует принимать  $a_g = 5$  м.

Если расстояние  $h_g$  от уровня головки рельса до низа конструкции превышает 7,8 м, то воздействие  $q_{zk} = 0$ .

Для навесов на платформах ниже 4 м над уровнем головки рельсов или навесов с вертикальной стенкой менее 3,45 м от оси пути следует проводить специальные дополнительные исследования.

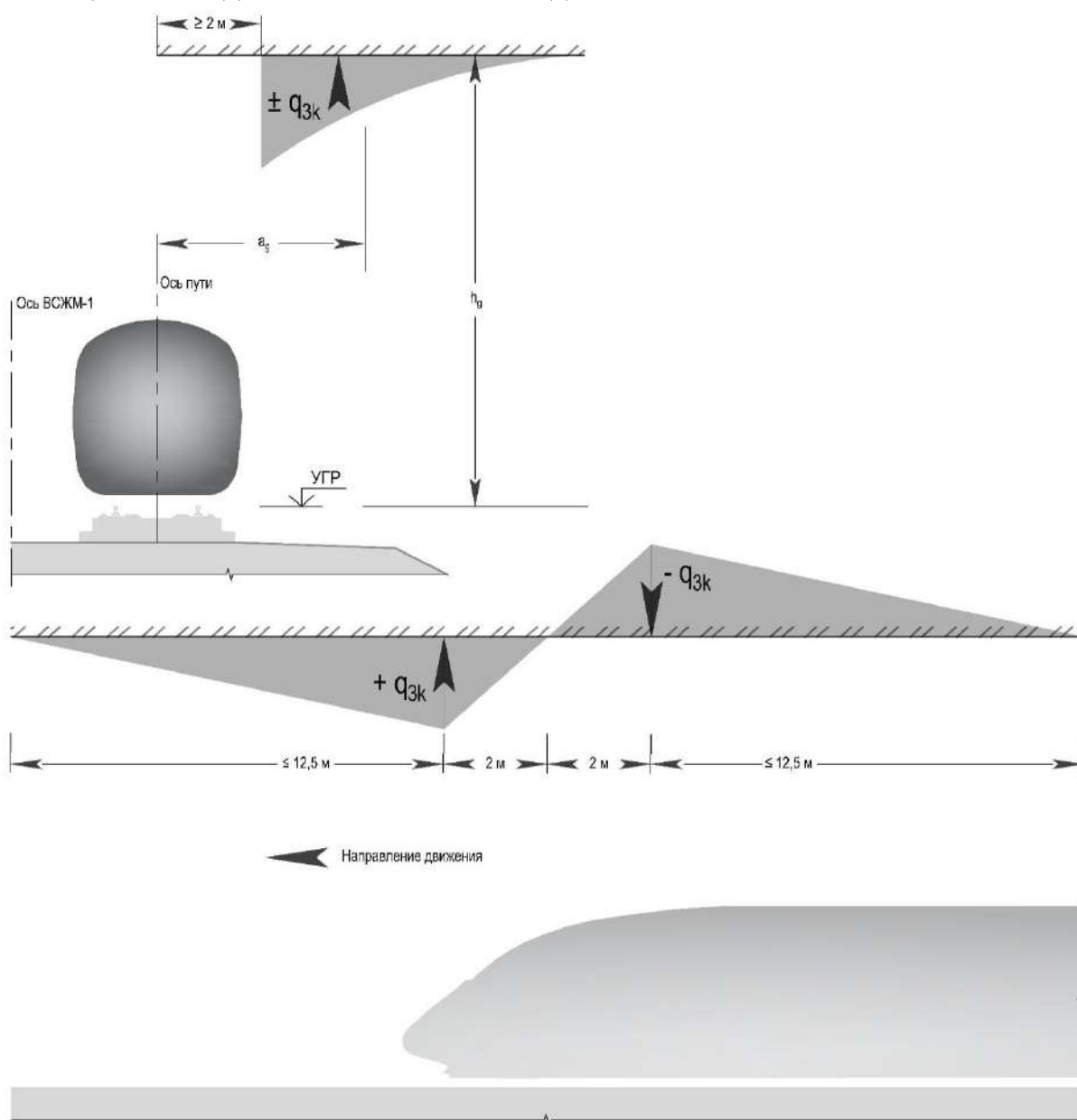


Рисунок Д.3 – Нормативные значения воздействий  $q_{3k}$  для горизонтальных поверхностей, примыкающих к рельсовым путям

#### Д.4. Конструкции из нескольких поверхностей (вертикальных, горизонтальных или наклонных), расположенные вдоль рельсовых путей

Нормативные значения воздействий  $\pm q_{4k}$ , приведенные на рисунке Д.4, должны быть приложены по нормали к рассматриваемым поверхностям. Эти воздействия должны быть получены из графиков на рисунке Д.1, причем расстояние от пути должно быть принято меньшим из значений:

$$a'_g = 0,6 \min a_g + 0,4 \max a_g \quad (\text{Д.14})$$

или

$$a'_g = 6 \text{ м}, \quad (\text{Д.15})$$

Где  $\min a_g$ ,  $\max a_g$  - расстояния, показанные на рисунке Д.4.

Если  $\max a_g > 6 \text{ м}$ , то принимается значение  $\max a_g = 6 \text{ м}$ .

К воздействиям  $\pm q_{4k}$  применяются коэффициенты  $k_1$  и  $k_2$ , определенные в п. Д.1.

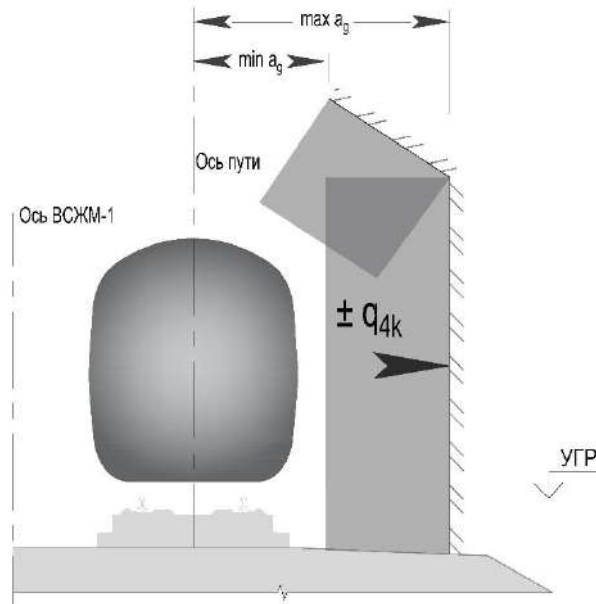


Рисунок Д.4 – Схема определения расстояний  $\min a_g$  и  $\max a_g$  от осевой линии рельсового пути

**Д.5 Поверхности ограниченной длины (до 20 м), ограждающие габарит приближения строений (горизонтальная поверхность над рельсовыми путями и, как минимум, одна вертикальная стенка)**

К воздействиям применяются коэффициенты  $k_1$  и  $k_2$ , определенные в п. Д.1.

– к вертикальным поверхностям (по всей высоте):

$$\pm k_4 q_{1k}, \quad (\text{Д.16})$$

где  $q_{1k}$  – определяется согласно Д.1;  
 $k_4 = 2$ ;

– к горизонтальным поверхностям:

$$\pm k_5 q_{2k}, \quad (\text{Д.17})$$

где  $q_{2k}$  – определяется согласно Д.2 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.

**Рекомендации по расчету осадок свайных фундаментов опор  
мостовых сооружений высокоскоростной железнодорожной линии с  
учетом прогноза их развития во времени**

**Основные буквенные обозначения**

$\sigma_1$ и $\sigma_3$	—	наибольшее и наименьшее главное эффективное напряжение
$p'$	—	среднее эффективное напряжение
$p$	—	среднее полное напряжение
$\varepsilon_V$	—	объемная деформация;
$\varepsilon_I$	—	осевая деформация;
$c_v$	—	коэффициент фильтрационной консолидации
$c_\alpha$	—	коэффициент вторичной консолидации
$\eta_\alpha$	—	относительный коэффициент ползучести
$\alpha_1$	—	показатель сдвиговой ползучести
$N$	—	нормативная нагрузка на одиночную сваю в составе свайного куста
$E$	—	модуль деформации грунта
$E_t$	—	модуль деформации грунта с учетом сдвиговой ползучести
$E_{tc}$	—	модуль деформации грунта с учетом объемной ползучести
$G$	—	модуль сдвига грунта
$G_t$	—	модуль сдвига грунта с учетом ползучести
$\nu$	—	коэффициент поперечной деформации (коэффициент Пуассона) грунта
$l$	—	длина свай
$d$	—	Наружный диаметр поперечного сечения ствола свай
$EA$	—	жесткость ствола свай на сжатие
$t_q$	—	условное время приложения нагрузки
$t_s$	—	нормативный срок эксплуатации объекта
$t_c$	—	ожидаемый срок строительства объекта
$a$	—	расстояние между осями свай
$s_0$	—	расчетная условно-мгновенная осадка одиночной свай (без учета ползучести)
$s_t$	—	расчетная осадка одиночной свай с учетом ползучести
$s_{ad}$	—	расчетная дополнительная осадка свай с учетом влияния соседних свай
$s_{ft}$	—	расчетная осадка большой группы свай (свайного поля) во времени
$s_{eft}$	—	осадка условного фундамента во времени с учетом фильтрационной консолидации и ползучести
$s_{ef}$	—	осадка условного фундамента методом послойного суммирования деформаций вязко-линейно-деформируемого основания с условным ограничением сжимаемой толщи
$\Delta s_{pt}$	—	дополнительная осадка за счет продавливания свай в уровне подошвы условного фундамента с учетом ползучести
$\Delta s_c$	—	дополнительная осадка за счет сжатия ствола свай
$p$	—	среднее давление по подошве условного фундамента
$E_{pt}$	—	модуль деформации свай с учетом ползучести (для железобетонных конструкций определяется в соответствии с СП 63.13330)
$A$	—	площадь поперечного сечения свай
$\sigma'_z$	—	вертикальное эффективное напряжение в массиве грунта
$\sigma'_h$	—	горизонтальное эффективное напряжение в массиве грунта
$\tau$	—	касательное напряжение
$\gamma_{cf}$	—	коэффициент условий работы грунта по боковой поверхности свай
$K_w$	—	модуль объемного сжатия поровой жидкости
$B$	—	коэффициент сжимаемости поровой жидкости (коэффициент Скемптона)
$f_1$	—	расчетное сопротивление на боковой поверхности грунта, окружающего свай

## **Е.1 Область применения**

Настоящая рекомендации распространяются на инженерно-геологические изыскания, проектирование и испытания свай при строительстве свайных фундаментов опор мостов ВСЖМ-1 (далее – опор мостов).

Рекомендации распространяются на свайные фундаменты опор мостов, воспринимающих вертикальную сжимающую нагрузку в дисперсных грунтах, и не распространяется на сооружения, возводимые на просадочных, набухающих, засоленных и многолетнемерзлых грунтах.

Настоящие рекомендации разработаны в развитие раздела 7.4 СП 24.13330.2011. Актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85 «Свайные фундаменты».

## **Е.2 Общие положения**

Рекомендации содержат алгоритмы выполнения расчетов осадок свай и свайных фундаментов опор мостов во времени и устанавливают требования к инженерно-геологическим изысканиям, проектированию и испытаниям свай.

Расчет осадок свайных фундаментов сооружений должен выполняться на основе и с учетом:

- результатов инженерно-геологических изысканий, включая фильтрационные и реологические свойства грунтов;
- конструктивных и технологических особенностей сооружения и условий его эксплуатации;
- действующих на фундаменты нагрузок;
- времени приложения нагрузок;
- наличия существующей застройки вблизи проектируемого сооружения;
- строительства нового здания вблизи существующего сооружения;
- планировки территории на период эксплуатации сооружения подсыпкой более 1 м;
- приложения площадной нагрузки величиной более  $100 \text{ кН/м}^2$  в зоне, оказывающей влияние на осадку опоры;
- увеличения эффективных напряжений в грунте за счет снятия взвешивающего действия воды при понижении уровня подземных вод;
- незавершенной консолидации грунтов современных и техногенных отложений.

Выполненные инженерные изыскания должны обеспечить получение данных, достаточных для выполнения расчетов осадок сооружения во времени.

В рамках испытаний грунтов натурными сваями (на этапе инженерно-геологических изысканий или контрольных испытаниях свай) следует

уточнять параметры ползучести, полученные при инженерно-геологических изысканиях в лабораторных условиях в соответствии с приложением Б.

При проектировании должна быть обеспечена несущая способность и устойчивость конструкций сооружения и его основания.

В проектах фундаментов следует предусматривать мониторинг в период строительства и эксплуатации объекта.

Предельные деформации основания на период эксплуатации сооружения устанавливаются в соответствии с СП 453.1325800.2019.

Проект свайного фундамента должен содержать специальные требования по проведению статических испытаний свай, оборудованных тензосистемой для определения параметров ползучести грунтов. Для буронабивных свай диаметром более 850 мм рекомендуется выполнять отдельные испытания пяты и боковой поверхности свай.

В проекте свайного фундамента сооружений рекомендуется предусматривать установку датчиков для измерения усилий в наиболее нагруженных сваях в процессе мониторинга.

### **Е.3 Требования к инженерно-геологическим изысканиям**

Инженерно-геологические изыскания следует выполнять в соответствии с требованиями СП 22.13330, СП 24.13330, СП 47.13330, СП 11-105 и настоящих рекомендаций.

При инженерно-геологических изысканиях в дополнение к параметрам, определяемым по СП 22.13330 и СП 24.13330, следует предусматривать определение фильтрационных и реологических параметров грунтов:

- коэффициент фильтрационной консолидации  $c_v$  (по ГОСТ 12248.4);
- коэффициент вторичной консолидации  $c_\alpha$  (по ГОСТ 12248.4);
- относительный коэффициент ползучести  $\eta_\alpha$  (п. Е.6);
- показатель сдвиговой ползучести  $\alpha$  (п. Е.6 настоящей Методики).

Указанные параметры определяются по результатам лабораторных испытаний и уточняются по данным длительных испытаний грунтов натурной свай.

Нормативные характеристики грунтов следует устанавливать на основе статистической обработки результатов испытаний по ГОСТ 20522. Нормативное значение параметров ползучести следует определять на основе: не менее 6 определений по данным лабораторных испытаний либо не менее 2 определений по данным испытаний натурной свай в заданных инженерно-геологических условиях. Определение параметров ползучести выполняется с учетом ожидаемой нагрузки, передаваемой на инженерно-геологический элемент от свай.

При выполнении расчетов численными методами в геотехнических программных комплексах с применением комплексных моделей грунтов с объемным упрочнением и учетом реологических свойств грунтов (например, модель Soft SoilCreep в ПК Plaxis), следует предусматривать специальный комплекс лабораторных работ по определению параметров моделей.

Определение параметров моделей должно выполняться в составе инженерно-геотехнических изысканий по специальному техническому заданию. В техническое задание на определение параметров нелинейных моделей должны быть указаны:

- наименование и местоположение объекта;
- сведения о заказчике и исполнителе;
- цели и задачи определения параметров нелинейного поведения грунтов;
- этап инженерных изысканий;
- идентификационные сведения об объекте: назначение; принадлежность к объектам транспортной инфраструктуры и к другим объектам, функционально-технологические особенности которых влияют на их безопасность; уровень ответственности;
- краткая техническая характеристика объекта, включая размеры проектируемых сооружений;
- сведения об объектах окружающей застройки, попадающих в предварительно назначенную зону влияния;
- ожидаемые нагрузки на основание от сооружения;
- сведения о предполагаемых к использованию нелинейных моделях, необходимых параметрах и решаемых задачах;
- требования по обеспечению контроля качества при выполнении работ;
- требования к составу, форме и формату предоставления результатов инженерных изысканий, порядку их передачи заказчику.

#### **Е.4 Расчет осадки свай и свайных фундаментов опор мостов высокоскоростных железнодорожных магистралей по деформациям во времени**

Расчет осадок свайных фундаментов (расчет по второй группе предельных состояний) допускается выполнять при условии, что расчетная нагрузка, передаваемая на сваю, не превышает допускаемую нагрузку в соответствии с разделом 7 СП 24.13330.2011.

Расчет осадок свайных фундаментов опор мостов во времени выполняется на нормативные постоянные нагрузки, без учета временных нагрузок. Нагрузки и воздействия определяются в соответствии с СП 453.1325800.2019.

При расчете продольное усилие, возникающее в свае от нормативной нагрузки  $N$ , следует определять с учетом собственного веса сваи. Для буронабивных свай собственный вес определяется за вычетом веса вынутого грунта с учетом взвешивающего действия воды.

Расчет осадки одиночных свай, прорезающих слой грунта с модулем сдвига  $G_{1\tau}$ , коэффициентом Пуассона  $\nu_1$ , показателем сдвиговой ползучести  $\alpha_1$  и опирающихся на грунт, рассматриваемый как линейно-деформируемое

полупространство, характеризуемое модулем сдвига  $G_{2t}$ , коэффициентом Пуассона  $\nu_2$  и показателем сдвиговой ползучести  $\alpha_2$  во времени, допускается производить при выполнении требований п. 6.1 и  $l/d > 5$ ,  $G_{1t}l > G_{2t}d > 1$  (где  $l$  – длина сваи;  $d$  – наружный диаметр поперечного сечения ствола сваи) по формуле:

$$s_t = \beta_t \frac{N}{G_{1t}l} \quad (\text{E.1})$$

где  $N$  – вертикальная нагрузка, передаваемая на сваю;

$\beta_t$  – коэффициент, определяемый по формуле:

$$\beta_t = \frac{\beta_t'}{\lambda_1} + \frac{1 - \beta_t'/\alpha'}{\chi_t} \quad (\text{E.2})$$

здесь  $\beta_t' = 0,17 \ln(k_v G_{1t}l / G_{2t}d)$  – коэффициент, соответствующий абсолютно жесткой свае ( $EA = \infty$ );

$\alpha' = 0,17 \ln(k_{v1}l/d)$  – тот же коэффициент для случая однородного основания с характеристиками  $G_{1t}$  и  $\nu_1$ ;

$\chi_t = EA / G_{1t}l^2$  – относительная жесткость сваи;

$EA$  – жесткость ствола сваи на сжатие, МН;

$\lambda_1$  – параметр, характеризующий увеличение осадки за счет сжатия ствола и определяемый по формуле:

$$\lambda_1 = \frac{2,12\chi_t^{3/4}}{1 + 2,12\chi_t^{3/4}}$$

$k_v$  и  $k_{v1}$  – коэффициенты, определяемые по формуле:

$$k_v = 2,82 - 3,78\nu + 2,18\nu^2$$

соответственно при  $\nu = (\nu_1 + \nu_2)/2$  и при  $\nu = \nu_1$ .

Модуль сдвига грунта  $G_t$ , учитывающий сдвиговую ползучесть отдельного слоя грунта с учетом изменения во времени определяется по формуле:

$$G_t = \frac{E}{2(1 + \nu) \left(\frac{t_q}{t_0}\right)^\alpha} \quad (\text{E.3})$$

где  $t_q$  – условное время приложения нагрузки, определяемое как  $t_q = t_s + t_c/2$ ,

$t_s$  – срок эксплуатации объекта на текущий момент времени, сут.;

$t_c$  – ожидаемый срок строительства объекта, сут.;  $t_0 = 1$  сут.;

$\alpha$  – показатель сдвиговой ползучести, для глинистых грунтов определяемый по приложению Б, для песчаных грунтов равен 0.

Характеристики  $G_{1t}$ ,  $\nu_1$  и  $\alpha_1$  принимаются средневзвешенными с учетом толщины для всех слоев грунта в пределах глубины погружения сваи, а  $G_{2t}$ ,  $\nu_2$  и  $\alpha_2$  – в пределах 0,5  $l$ , т.е. на глубинах от  $l$  до 1,5  $l$  от верха свай, при



условии, что под нижними концами свай отсутствуют глинистые грунты текучей консистенции, органо-минеральные и органические грунты.

Модуль сдвига грунта  $G = E/2/(1+\nu)$  допускается принимать равным  $0,4E$ , а коэффициенты  $k_v$  и  $k_{vl}$  равными 2.

Расчет осадки свайного куста, состоящего из малой группы свай (менее 25) выполняется с учетом их взаимного влияния.

Дополнительная осадка свай, находящейся на расстоянии  $a$  (расстояние измеряется между осями свай) от свай, к которой приложена нагрузка  $N$ , равна:

$$s_{ad} = \delta_t \frac{N}{G_{1t}l} \quad (\text{E.4})$$

где

$$\delta_t = \begin{cases} 0,17 \ln \left( \frac{k_v G_{1t} l}{2 G_{2t} a} \right) & \text{если } \frac{k_v G_{1t} l}{2 G_{2t} a} > 1 \\ 0 & \text{если } \frac{k_v G_{1t} l}{2 G_{2t} a} \leq 1 \end{cases} \quad (\text{E.5})$$

Расчет осадки  $i$ -ой свай в группе из  $n$  свай при известном распределении нагрузок между сваями производится по формуле:

$$s_i = s_t(N_i) + \sum_{j \neq i} \delta_{ij} \frac{N_j}{G_{1t}l} \quad (\text{E.6})$$

где  $s_t(N)$  – осадка одиночной свай, подсчитываемой по формуле (E.1);

$\delta_{ij}$  – коэффициенты, рассчитываемые по формуле (E.5) в зависимости от расстояния между  $i$ -ой и  $j$ -ой сваями;

$N_j$  – нагрузка на  $j$ -ую сваю.

В случае, когда распределение нагрузки между сваями неизвестно, формула (E.6) может использоваться для расчета взаимодействия свайного фундамента с надфундаментной конструкцией.

Осадку большой группы свай (свайного поля) во времени следует определять численными методами, в соответствии с разделом 7.

Для предварительных расчетов осадка большой группы свай во времени может быть определена по формуле:

$$s_{ft} = s_{eft} + \Delta s_{pt} + \Delta s_c \quad (\text{E.7})$$

где  $s_{eft}$  – осадка условного фундамента во времени с учетом фильтрационной консолидации и ползучести;

$\Delta s_{pt}$  – дополнительная осадка за счет продавливания свай в уровне подошвы условного фундамента с учетом ползучести;

$\Delta s_c$  – дополнительная осадка за счет сжатия ствола свай.

Осадку условного фундамента во времени с учетом фильтрационной консолидации и ползучести следует определять численными методами с применением комплексных моделей в соответствии с разделом 7.

Расчет осадки условного фундамента во времени с учетом ползучести допускается производить методом послойного суммирования с использованием длительного модуля деформации грунта, определяемого по формуле:

$$E_{tc} = \frac{E}{\left[1 + \eta_{\alpha} \lg \left(\frac{t_q}{t_0}\right)\right]} \quad (\text{E.8})$$

где  $\eta_{\alpha}$  – относительный коэффициент ползучести, определяемый в соответствии с приложением Б.

Осадка за счет продавливания сваи в уровне подошвы условного фундамента с учетом ползучести  $\Delta s_{pt}$  определяется методом ячейки в вязко-упругой постановке (рисунок 6.1) или по формулам:

$$\Delta s_{pt} = \frac{\Delta s_{pt1}}{\frac{\Delta s_{pt1}}{\Delta s_{pt0}} \left(1 - \frac{E_{t1}}{E_{t2}}\right) + \frac{E_{t1}}{E_{t2}}} \quad (\text{E.9})$$

$$\Delta s_{pt1} = \frac{\pi(1 - \nu_2^2)p}{4E_{t2}}(a - 1,5d) \quad (\text{E.10})$$

$$\Delta s_{pt0} = \frac{(1 - \nu_2^2)(1 - k)P}{dE_{t2}} \quad (\text{E.11})$$

$$E_t = \frac{E}{\left(\frac{t_q}{t_0}\right)^{\alpha_1}} \quad (\text{E.12})$$

где  $E_{t1}$ ,  $\nu_1$  – осредненные значения модуля общей деформации с учетом сдвиговой ползучести и коэффициента Пуассона в пределах длины сваи;

$E_{t2}$ ,  $\nu_2$  – осредненные значения модуля общей деформации с учетом сдвиговой ползучести и коэффициента Пуассона в пределах активной зоны сжатия массива под подошвой условного фундамента;

$p$  – среднее давление по подошве условного фундамента, кПа;

$a$  – осевое расстояние между сваями фундамента при одинаковом шаге их расстановки и осевое расстояние между сваями в окрестности данной сваи при неодинаковом шаге их расстановки;

$d$  – диаметр сваи;

$P = pa^2$  для свай квадратного сечения и  $P \approx 0,79pa^2$  для свай круглого сечения;

$k=b/a$  для свай квадратного сечения, где  $b$ – сторона сечения сваи и  $k=d/a$  для свай круглого сечения.

Осадку за счет сжатия ствола допускается определять по формуле

$$\Delta s_c = \frac{P(l - a)}{E_{pt}A} \quad (E.13)$$

где  $l$  – длина сваи;

$E_{pt}$  – модуль деформации сваи с учетом ползучести (для железобетонных конструкций определяется в соответствии с СП 63.13330);

$A$  – площадь поперечного сечения сваи.

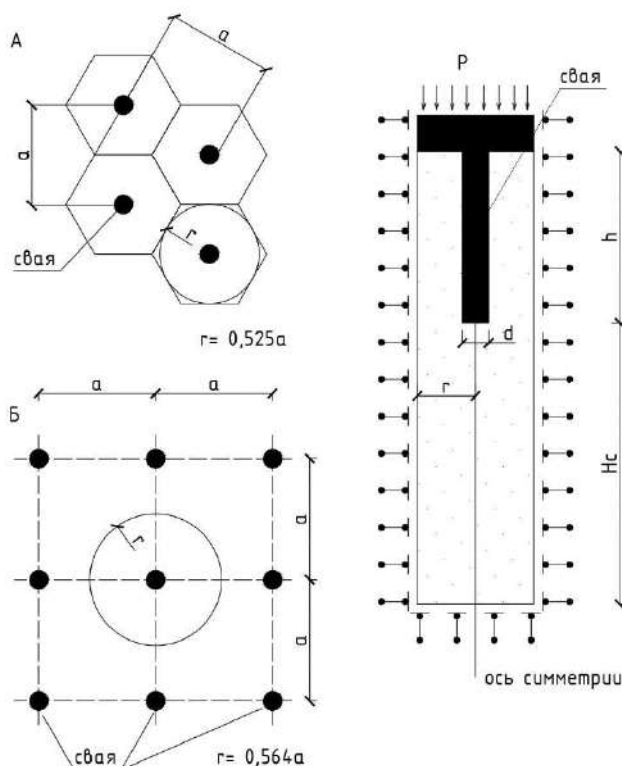


Рисунок Е.1 – Расчетная схема метода ячейки

## Е.5 Особенности расчетов деформаций свай и свайных фундаментов опор мостов высокоскоростных железнодорожных магистралей во времени численными методами

Численные методы для расчетов деформаций свайного основания во времени следует применять при расчетах:

- осадки большой группы висячих свай (свайного поля) и комбинированных плитно-свайных фундаментов;
- осадки условного фундамента во времени с учетом фильтрационной консолидации и ползучести;

- существенного влияния фильтрационной консолидации на осадки основания (заделка свай в нормально уплотненные грунты с коэффициентом переуплотнения  $OCR=1$ );
- наличия существующей застройки вблизи проектируемого сооружения, существенно влияющего на начальное напряженное состояние;
- строительства нового здания вблизи существующего сооружения;
- планировки территории на период эксплуатации сооружения подсыпкой более 1 м;
- приложение площадной нагрузки величиной более  $100 \text{ кН/м}^2$  в зоне, оказывающей влияние на осадку опоры;
- увеличение эффективных напряжений в грунте за счет снятия взвешивающего действия воды при понижении уровня подземных вод;
- незавершенной консолидации грунтов современных и техногенных отложений.

Расчет конструктивной системы "грунтовой массив - сваи - ростверк – надфундаментные конструкции" в общем случае следует производить в пространственной постановке с учетом совместной работы надземных и подземных конструкций мостовых сооружений, свайных фундаментов и их основания. Определение внутренних усилий в сваях и ростверке следует выполнять численными методами с использованием апробированных программных комплексов, описывающих такое взаимодействие.

Механическое, фильтрационное и реологическое поведение грунта должно преимущественно описываться комплексными нелинейными моделями, учитывающими фильтрационную консолидацию и ползучесть.

При применении моделей, не учитывающих реологическое поведение грунта, учет ползучести допустимо выполнять путем снижения деформационных характеристик грунтов: для расчетов осадок одиночных свай и малой группы свай по зависимостям (Е.3) и (Е.12); для расчетов большой группы свай – для грунтов ниже подошвы условного фундамента по (Е.8), для массива условного фундамента по (Е.3) и (Е.12).

Нелинейная модель, учитывающая фильтрационную консолидацию и ползучесть, должна выбираться в зависимости от решаемой задачи, с учетом повышенного уровня ответственности сооружения по ГОСТ 27751, применимости модели в данных грунтовых условиях, нагрузок и ожидаемых деформаций. Параметры моделей определяют и уточняют в рамках инженерно-геотехнических изысканий.

Численные расчеты с учетом фильтрационной консолидации и ползучести для массива грунта ниже подошвы условного фундамента допустимо выполнять с применением моделей грунтов с объемным упрочнением и учетом реологических свойств грунтов (например, модель SoftSoilCreep в ПК Plaxis). Указанные модели применимы для расчета сжимаемости основания в условиях, когда возникновение сдвиговых деформаций не влияет на результаты расчетов и при соблюдении условий п. 5.6.7 СП 22.13330.2016.

Для получения надежных и достоверных результатов при проведении геотехнических расчетов с применением нелинейных геомеханических моделей грунтов должна быть доказана адекватность их применения и выполнена валидация их параметров.

Валидацию геомеханических моделей для конкретных грунтовых условий выполняют на основе сравнения результатов расчетов с лабораторными и полевыми испытаниями грунтов и, при необходимости, по данными геотехнического мониторинга.

Оценка адекватности моделей и валидация их параметров выполняется на основе сравнения расчетных и экспериментальных кривых деформирования для ожидаемого диапазона деформаций. Валидация по данным лабораторных испытаний выполняется преимущественно на основе компрессионных и трехосных испытаний в консолидационном и компрессионном режимах. При оценке достоверности допустимо выполнение уточнений (корректировок) механических, фильтрационных и реологических параметров.

При валидации геомеханических моделей по данным испытаний грунтов выполняют обратные расчеты результатов испытаний и сравнение с результатами лабораторных и полевых испытаний грунтов.

Валидация геомеханических моделей по данным геотехнического мониторинга выполняется путем сопоставления данных мониторинга вертикальных перемещений конструкций (свай) с результатами обратных расчетов с учетом фактических конструкций и нагрузок.

Применение откорректированных по результатам валидации параметров моделей допустимо только для расчетов по второму предельному состоянию. Применение откорректированных прочностных параметров для расчетов по первому предельному состоянию не допускается.

При использовании нелинейных моделей следует учитывать, что в различных программных комплексах уравнения, описывающие поведение элементарного объема грунта при нагружении и/или во времени, а также алгоритмы решения задач могут отличаться. В связи с этим, оценка достоверности должна выполняться под конкретно применяемую модель и программный комплекс.

При выполнении расчетов необходимо использовать расчетные характеристики грунтов в соответствии с разделом 5.3 СП 22.13330.2016.

Расчетная модель должна строиться таким образом, чтобы содержать погрешность в сторону запаса надежности проектируемых фундаментных и надземных конструкций. Если заранее такая погрешность не может быть определена, необходимо проведение уточняющих расчетов и определение наиболее неблагоприятных воздействий на конструкции. Следует учитывать возможные неопределенности, связанные с назначением расчетной модели и выбором деформационных и прочностных показателей грунтов основания. Для этого при проведении численных расчетов групп свай рекомендуется проводить сопоставление отдельных результатов расчета

элементов расчетной схемы с аналитическими решениями раздела 6, а также выполнять сопоставительные или альтернативные расчеты по различным геотехническим программным комплексам.

Размеры расчетной области и граничные условия должны приниматься таким образом, чтобы не влияли на результаты численных расчетов.

При выполнении расчетов с использованием модулей деформации грунта  $E_t$ , учитывающих ползучесть путем снижения деформационных характеристик грунтов (по зависимостям (Е.3), (Е.8), (Е.12)), нижнюю границу расчетной области допускается ограничивать по схеме условного фундамента.

Численные расчеты должны выполняться с учетом расположения свай в свайном основании (т.е. группового и краевого эффектов). Следует учитывать податливость свай в составе свайной группы по сравнению с работой одиночных свай, а также переменность сопротивления свай и грунта в зависимости от их расположения (краевого: углового, торцевого и пр.; внутреннего: центрального, промежуточного и пр.; в разреженной или сгущенной части и пр.) в группе.

При расчете надземных и фундаментных конструкций мостовых сооружений свай в составе фундаментов допускается описывать с помощью линейных и нелинейных контактных элементов податливости. Характеризующие эти элементы зависимости "нагрузка-осадка" рекомендуется определять путем пространственного расчета свайного основания по деформациям в диапазоне нагрузок. Допускается описывать работу нелинейных контактных элементов податливости путем нескольких итераций с изменением (пересчетом) жесткостей линейных контактных элементов.

## **Е.6 Определение параметров ползучести грунта**

### **Определение параметров деформируемости и сдвиговой ползучести грунта методом осесимметричного трехосного сжатия**

Параметры деформируемости и сдвиговой ползучести грунта для расчетов осадок свайных фундаментов во времени определяются для дисперсных грунтов в лабораторных условиях методом осесимметричного трехосного сжатия.

Общие требования к выполнению испытаний, оборудованию и приборам, образцам и их подготовке к испытанию, частоте снятия показаний приведены в ГОСТ 12248.3.

Испытания выполняются для определения характеристик деформируемости и параметров сдвиговой ползучести дисперсных грунтов, включая:

- модуль деформации  $E$ ;
- модуль сдвига  $G$ ;
- коэффициент поперечной деформации (коэффициент Пуассона)  $\nu$ ;

– показатель сдвиговой ползучести  $\alpha_1$ .

Указанные характеристики определяют по результатам испытаний образцов в камерах установки трехосного сжатия (стабилометра) типа А или типа Б, обеспечивающих возможность бокового расширения образца грунта в условиях трехосного осесимметричного статического нагружения при

$$\sigma_1 \geq \sigma_2 = \sigma_3,$$

где  $\sigma_1$  – наибольшее главное напряжение (вертикальное);

$\sigma_2, \sigma_3$  – наименьшее и промежуточные главные напряжения (горизонтальные).

Принципиальная схема камеры стабилометра приведена в ГОСТ 12248.3.

### **Проведение испытания**

Испытание проводят по консолидировано-дренированной схеме (КД) при открытом дренаже под давлением в системе противодействия, достигнутое на этапе реконсолидации и водонасыщения по ГОСТ 12248.3.

Примечание – Для неводонасыщенных грунтов допустимо проведение КД испытаний без предварительной реконсолидации и водонасыщения в соответствии с ГОСТ 12248.3.

Предварительное всестороннее обжатие образца (предварительную консолидацию) производят давлением, равным среднему эффективному напряжению в массиве грунта

Значение средних эффективных напряжений определяют по формуле:

$$p' = (\sigma'_z + 2\sigma'_h)/3, \quad (\text{E.14})$$

Предварительное всестороннее обжатие образца следует выполнять до завершения времени 100%-й фильтрационной консолидации и фиксации участка объемной ползучести. После завершения процесса консолидации фиксируется изменение объема  $\Delta V_c$  образца и его вертикальное сжатие  $\Delta h_c$ .

Примечание – По специальному заданию допустимо выполнять анизотропную консолидацию образца.

Приложение рабочей вертикальной нагрузки на образец выполняют в соответствии с 8.3.5 ГОСТ 12248.3-2020. Вертикальное нагружение выполняется до достижения в образце ожидаемого напряжения сдвига  $\tau = (\sigma_1 - \sigma_3)/2$ . После достижения указанного давления вертикальную нагрузку фиксируют. В процессе нагружения и выдержки нагрузки измеряют деформации образца во времени.

Рабочее напряжение сдвига  $\tau$  при статическом режиме нагружения прикладывается за одну ступень.

Нагрузка при испытаниях грунтов на сдвиговую ползучесть определяется на основе ожидаемых напряжений сдвига в результате нагружения свай. Для предварительных расчетов напряжение сдвига может быть определено по формуле:

$$\tau = \frac{N - \gamma_{cf} f_1 \pi d h_1}{\pi d h_2} \quad (\text{E.15})$$

где  $N$  – нормативная нагрузка на одиночную сваю в составе свайного куста;  $f_1$  – расчетное сопротивление на боковой поверхности грунта, окружающего сваю, не подверженного ползучести, принимается в соответствии с СП 24.13330.2011 или по данным натурных испытаний свай;  $d$  – диаметр сваи;  $h_1$  – суммарная заделки сваи в грунты не подверженные ползучести (песчаные);  $h_2$  суммарная заделка сваи в грунты подверженные (глинистые) ползучести (длина сваи  $l = h_1 + h_2$ );  $\gamma_{cf}$  – коэффициент условий работы грунта по боковой поверхности сваи, принимается в соответствии с СП 24.13330.2011.

**Примечание** – Работа буронабивной сваи по пяте не учитывается.

Показания всех измерительных устройств регистрируют в автоматическом режиме не реже, чем через 0,025 % деформации образца с периодичностью не реже чем через 1 минуту.

Выдержку нагрузки и измерения выполняют на протяжении не менее 5 суток.

Испытание прекращают при:

- достижении 15 % осевой деформации образца;
- условной стабилизации сдвиговой ползучести образца.

За критерий условной стабилизации сдвиговой ползучести принимают приращение вертикальной деформации образца грунта, не превышающее 0,025 % за время, указанное в таблице Е.1.

Таблица Е.1 – Время условной стабилизации деформаций образца

Глинистые грунты (непросадочные и ненабухающие):	Время условной стабилизации деформаций сжатия на ступени, не менее
Супеси	3 ч
Суглинки с $I_p < 12$ %	6 ч
Суглинки с $I_p \geq 12$ %	12 ч
Глины с $I_p < 22$ %	12 ч
Глины с $I_p \geq 22$ %	18 ч
Органо-минеральные	24 ч

В случае необходимости определения прочностных параметров после стабилизации деформации образца возможно разрушение в соответствии с ГОСТ 12248-2010.

Результаты испытаний заносят в журнал.



### Обработка результатов

По результатам испытания образца в условиях трехосного сжатия строят диаграммы:  $(t-\varepsilon_1)$  и  $(\lg(\frac{t}{t_0})-\lg(\varepsilon_1))$  – см. рис. Е.2. Обработка результатов испытания выполняется на основе ГОСТ 12248-2010 с учетом настоящих рекомендаций.

Обработка результатов испытаний выполняется путем аппроксимации участка сдвиговой ползучести от  $t_0$  до не менее чем  $4t_0$ , степенной функцией:

$$\varepsilon_{1t} = \varepsilon_{10} \left( \frac{t_q}{t_0} \right)^{\alpha_1} \quad (\text{Е.16})$$

где  $\alpha_1$  – степенной показатель сдвиговой ползучести при обработке на основе деформаций  $\varepsilon_1$ ;  $\varepsilon_{10}$  – условно-мгновенная деформация образца для времени  $t_0$ .  $t_q$  – время действия сдвиговой нагрузки;  $t_0$  – начальное время участка сдвиговой ползучести, принимаемое не менее 24 часов.

Показатель сдвиговой ползучести  $\alpha$  определяется по формуле:

$$\alpha_1 = \frac{N \sum \left[ \left( \lg \frac{t_q}{t_0} \right)_i (\lg \varepsilon_{1t})_i \right] - \sum \left( \lg \frac{t_q}{t_0} \right)_i \sum (\lg \varepsilon_{1t})_i}{N \sum \left[ \left( \lg \frac{t_q}{t_0} \right)_i \right]^2 - \left[ \sum \left( \lg \frac{t_q}{t_0} \right)_i \right]^2} \quad (\text{Е.17})$$

где  $N$  – количество точек на диаграмме  $(\lg(\frac{t}{t_0})-\lg(\varepsilon_1))$  в диапазоне от  $t_0$  до не менее чем  $4t_0$ .

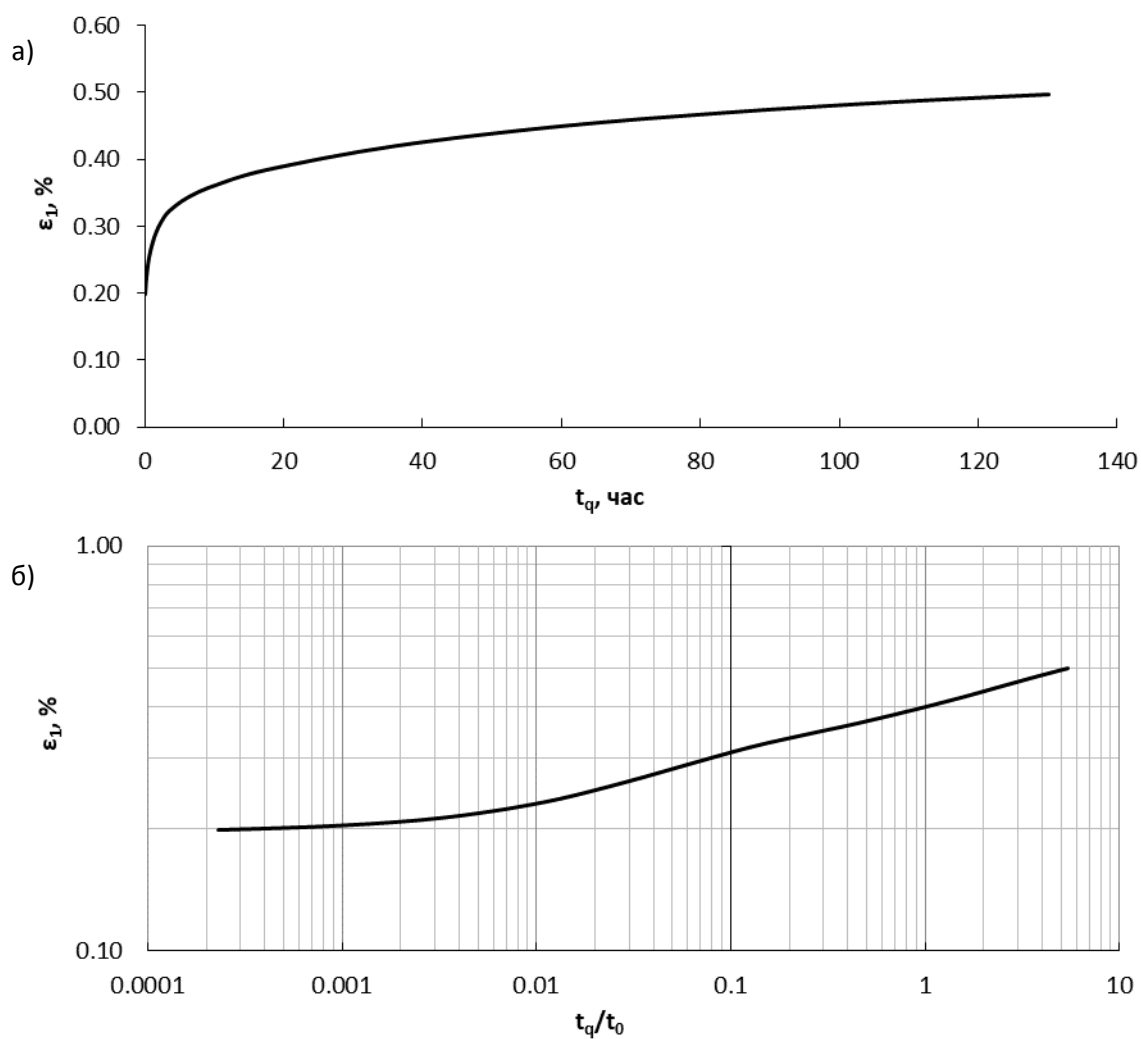


Рисунок Е.2 – Примеры оформления диаграмм  $(t-\varepsilon_1)$  (а) и  $(\lg(\frac{t}{t_0})-\lg(\varepsilon_1))$  (б)

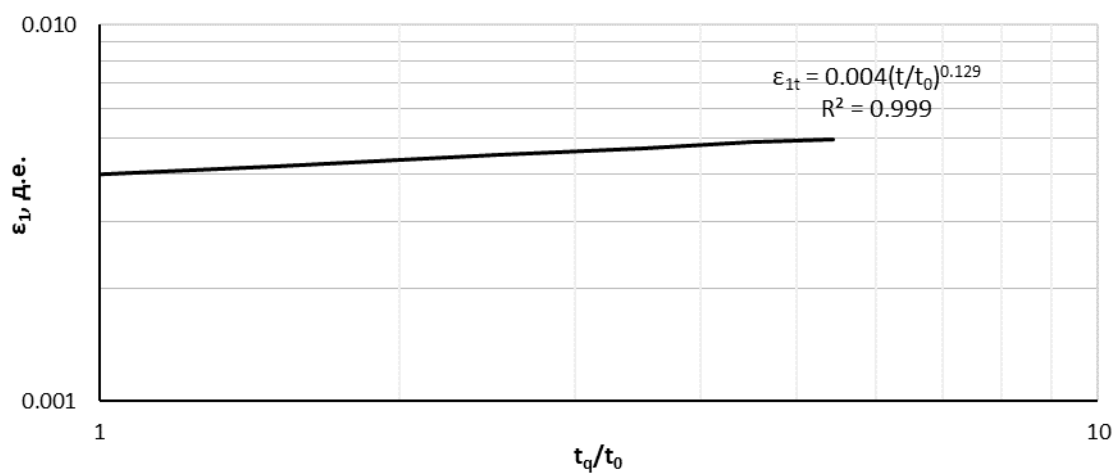


Рисунок Е.3 – Примеры аппроксимации функцией (Е.16)

### **Определение параметров сдвиговой ползучести грунта по результатам испытаний грунтов натурной сваей**

Параметры сдвиговой ползучести грунта по результатам испытаний грунтов натурной сваей определяются на основе испытаний свай по ГОСТ 5686 с учетом требований настоящих рекомендаций.

Опытные сваи следует оборудовать тензосистемой для определения усилий в сваях в различных уровнях. Тензосистема должна устанавливаться на различных уровнях по длине сваи, в том числе на границах и в середине слоев, в которых определяются параметры сдвиговой ползучести. Количество тензодатчиков в одном уровне – не менее 4.

Для определения параметров сдвиговой ползучести выполняют выдержку ступени, соответствующей нормативной нагрузке на сваю от постоянных нагрузок и воздействий. Ступень выдерживают до достижения критерия условной стабилизации ползучести не менее 0,1 мм за 120 мин. При этом, продолжительность выдержки сваи под нормативной нагрузкой должна составить не менее  $4t_0$ , где  $t_0$  – условное время завершения фильтрационной консолидации, принимаемое равным времени условной стабилизации сваи 0,1 мм за 60 мин, но не менее 24 ч и максимального времени выдержки предшествующих ступеней.

По результатам испытаний сваи на ступени нормативной нагрузки строятся диаграммы:  $(t - S)$  в линейном масштабе и  $\left(\frac{t}{t_0}\right) - S$  в логарифмическом масштабе (см. рис. Е.4).

Обработка результатов испытаний сваи выполняется путем аппроксимации участка сдвиговой ползучести от  $t_0$  до не менее чем  $4t_0$ , степенной функцией:

$$s_t = s_0 \left( \frac{t_q}{t_0} \right)^\alpha \quad (\text{Е.18})$$

где  $\alpha$  – степенной показатель сдвиговой ползучести;  $t_q$  – время приложения нагрузки.

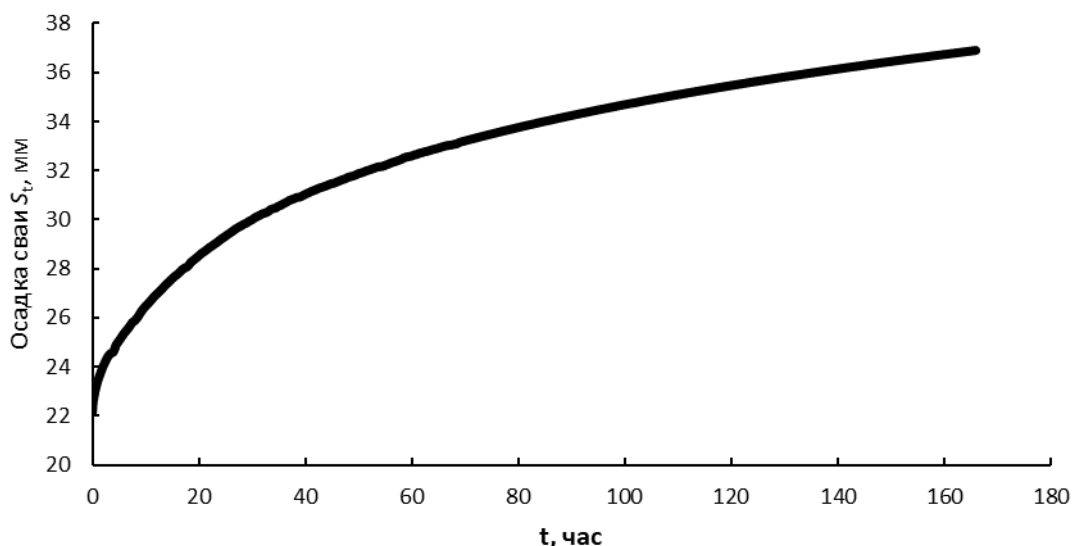


Рисунок Е.4 – Примеры оформления диаграмм ( $t$  -  $S$ )

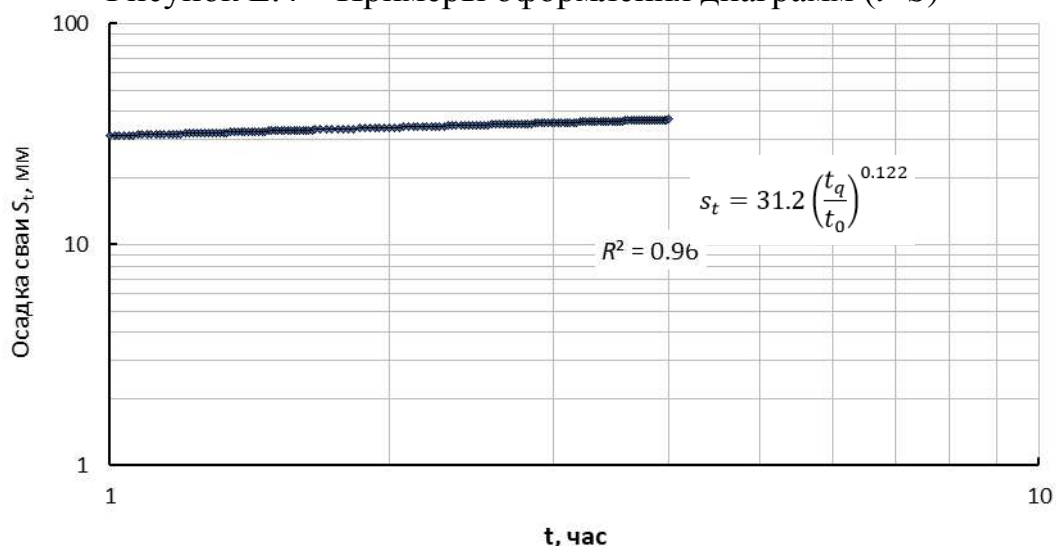


Рисунок Е.5 – Примеры аппроксимации функцией (Е.18)

### Определение параметров объемной ползучести грунта по результатам компрессионных испытаний в консолидационном режиме

Параметры объемной ползучести грунта определяются в лабораторных условиях, методом компрессионного сжатия в консолидационном режиме в соответствии с ГОСТ 12248-2010.

В результате компрессионных испытаний в консолидационном режиме должны быть определены:

- коэффициенты фильтрационной  $c_v$  и вторичной  $c_\alpha$  консолидации по ГОСТ 12248;
- относительный коэффициент ползучести  $\eta_\alpha$  по настоящему приложению.

Консолидационные испытания выполняют с выдержкой нагрузки и получения участка вторичной консолидации.

По результатам испытания образца в условиях компрессионного сжатия строят диаграммы:  $(t - \epsilon_v)$  и  $(\lg(\frac{t}{t_0}) - \epsilon_v)$ . Обработка результатов

испытания выполняется на основе ГОСТ 12248 с учетом настоящих рекомендаций.

Для участка вторичной консолидации выполняется аппроксимация участка вторичной консолидации от  $t_0$  до не менее чем  $4t_0$ , функцией:

$$\varepsilon_{vt} = \varepsilon_{v0} + c_\alpha \lg \left( \frac{t_q}{t_0} \right) = \varepsilon_{v0} \left[ \eta_\alpha \lg \left( \frac{t_q}{t_0} \right) + 1 \right], \quad (\text{E.19})$$

где  $\eta_\alpha$  – относительный коэффициент ползучести, определяемый как  $\eta_\alpha = c_\alpha / \varepsilon_{v0}$ ,  $c_\alpha$  – коэффициент вторичной консолидации,  $\varepsilon_{v0}$  – деформация образца на участке ползучести, соответствующее времени  $t_0$ ,  $t_q$  – время действия эффективных напряжений;  $t_0$  – начальное время, принимаемое на линейном участке ползучести (в полулогарифмических координатах), равное не менее двукратного времени завершения 100 % фильтрационной консолидации.

## Е.7 Определение параметров сжимаемости поровой жидкости

### Определение коэффициента порового давления $B$

Параметр  $B$  определяют в приборе трехосного сжатия путем реконсолидации образца методом восстановления двухфазового состояния (метод ВФС) в соответствии с ГОСТ 12248.

На этапе завершения ВФС (достижения полного всестороннего напряжения, равного среднему полному природного напряжению) для последней ступени приложения нагрузки фиксируют достигнутый коэффициент  $B$ , определяемый по формуле:

$$B = \frac{\Delta u}{\Delta p} \quad (\text{E.20})$$

где  $\Delta u$  – приращение порового давления;  $\Delta p$  – приращение среднего полного напряжения.

### Определение модуля объемного сжатия поровой жидкости $K_w$

Метод предназначен для определения  $K_w$  в лабораторных условиях с применением установки водонасыщения грунта (рис. Е.7).

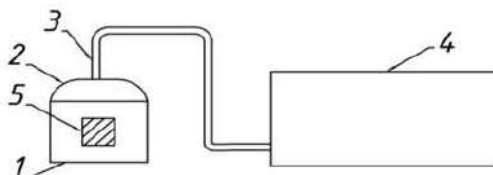


Рисунок Е.7– Схема установки для водонасыщения грунта (1 – камера водонасыщения; 2 – крышка камеры; 3 – магистраль; 4 – контроллер давления/расхода жидкости; 5 – образец грунта)

Процедура определения  $K_w$  включает следующие операции:

– установку исследуемого образца грунта в камеру водонасыщения;

– заполнение камеры и магистралей дистиллированной деаэрированной водой с полным вытеснением пузырьков воздуха;

– испытание образца путем поднятия давления в камере с применением контроллера давления/расхода жидкости до достижения давления, равного среднему полному напряжению на глубине отбора образца. Поднятие полного всестороннего давления выполняется ступенями:

– для грунтов мягкопластичной и текучей консистенции не более 25 кПа,

– для грунтов тугопластичной и пластичной консистенции не более 50 кПа,

– для грунтов полутвердой и твердой консистенции не более 200 кПа.

– для последней ступени приложения нагрузки вычисляют модуль объемного сжатия поровой жидкости по формуле:

$$K_w = \frac{\Delta V}{nV\Delta p} \quad (\text{E.21})$$

где  $\Delta V$  – приращение объема образца;  $n$  – пористость образца;  $V$  – начальный объем образца.

#### Примечания

1. При выполнении испытания защемление пузырьков воздуха в камере, магистралах и поверхности образца не допускается.

2. Контроллер давления/расхода должен обеспечивать:

– передачу воздействия на образец с точностью не менее 5 % от требуемой величины воздействия;

– измерение давления в системе с дискретностью не менее 2 % от заданного;

– измерение объема (расхода) с дискретностью не менее 0,05 % от заданного.

Допустимо использование комплексной системы с отдельным измерением указанных параметров, если это не влияет на качество снятия показаний.

3. Камеру водонасыщения и магистраль тарируют. Для этого камеру и магистраль заполняют рабочей жидкостью и создают в ней всестороннее давление ступенями 0,01; 0,025; 0,05; 0,10 МПа и далее по 0,10 МПа, выдерживая их по 30 мин. На каждой ступени давления по изменению объема жидкости фиксируют значения объемных деформаций системы. Затем в обратном порядке давление сбрасывают. По среднеарифметическим значениям из трех опытов составляют таблицу объемных деформаций камеры при различных всесторонних давлениях.

### Е.8 Пример расчета осадки одиночной сваи

Требуется определить осадку одиночной буронабивной железобетонной (класс бетона на сжатие – В30) сваи круглого сечения диаметром  $d = 1,5$  м и длиной  $l = 30$  м (рис. Е.8). Вертикальная нагрузка, передаваемая на сваю, составляет  $N = 7,0$  МН. Срок эксплуатации сооружения составляет  $t = 100$  лет (36500 сут).

Инженерно-геологические условия площадки следующие.

1. Песок четвертичный, средней крупности, средней плотности,  $e = 0,65$  модуль деформации  $E = 30$  МПа, коэффициент Пуассона  $\nu = 0,3$ . Мощность слоя грунта составляет 10 м.

2. Глины каменноугольные, полутвердые, модуль деформации  $E = 50$  МПа, коэффициент Пуассона  $\nu = 0,3$ , показатель текучести  $I_L = 0,05$  д.е. Показатель ползучести  $\alpha_1$ , определенный по трехосным испытаниям (см. п.Е.6) равен 0,131. Мощность слоя грунта составляет 40 м.

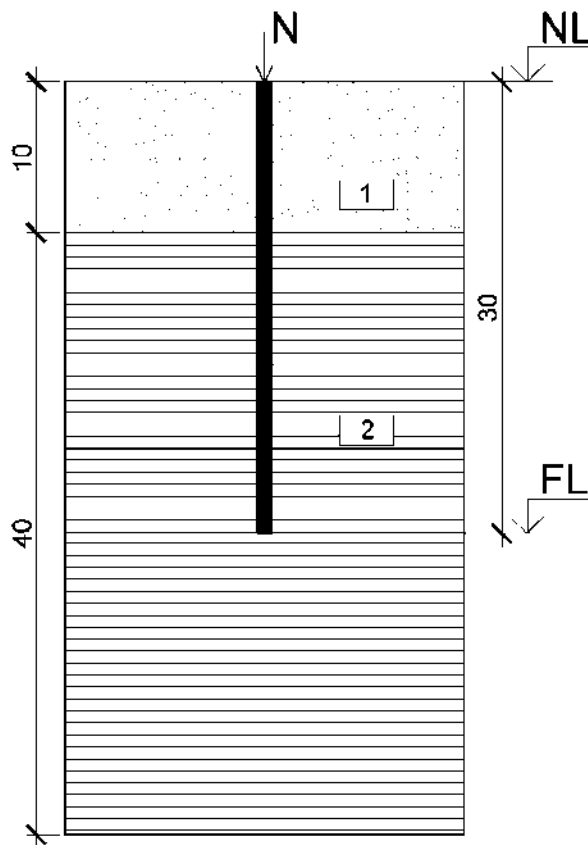


Рисунок Е.8 – К примеру расчета осадки одиночной сваи

1. В соответствии с указаниями п. Е.4 расчет осадок свайных фундаментов (расчет по второй группе предельных состояний) допускается выполнять при выполнении условия, что расчетная нагрузка, передаваемая на сваю, не превышает допускаемую нагрузку в соответствии с разделом 7 СП 24.13330.2011. В соответствии с п. 7.1.11 СП 24.13330.2011:

$$\gamma_n N \leq \frac{F_d}{\gamma_{c,g}};$$

Несущая способность сваи  $F_d$  была определена по расчету СП 24.13330.2011 и составляет 12,6 МН; коэффициент надежности по грунту  $\gamma_{c,g}$ , равен 1,4; коэффициент надежности по ответственности сооружения принят равным 1,2.

$$\frac{F_d}{\gamma_n \gamma_{c,g}} = \frac{12,6}{1,4 * 1,2} = 7,5 \text{ МН} > N = 7,0 \text{ МН}.$$

Условие выполнено.

2. Модуль сдвига грунта определяется по п. Е.4:

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)};$$

Для песка

$$G = \frac{30}{2(1 + 0,3)} = 11,54 \text{ МПа.}$$

Для суглинка

$$G = \frac{50}{2(1 + 0,3)} = 19,23 \text{ МПа.}$$

Мощность слоя грунта окружающего сваю равна:

- для песка – 10 м;

- для глины – 20 м.

В соответствии с п. Е.4 определяются средневзвешенные значения параметров  $G_1$ ,  $\nu_1$  и  $\alpha_1$  для слоев грунта в пределах глубины погружения свай:

$$G_1 = \frac{11,54 \cdot 10 + 19,23 \cdot 20}{30} = 16,67 \text{ МПа;}$$

$$\nu_1 = \frac{0,3 \cdot 10 + 0,3 \cdot 20}{30} = 0,3.$$

$$\alpha_1 = \frac{0 \cdot 10 + 0,131 \cdot 20}{30} = 0,087.$$

В соответствии с п. 6.5 определяются средневзвешенные значения параметров  $G_2$ ,  $\nu_2$  и  $\alpha_{12}$  в пределах  $0,5 l$ , т.е. на глубинах от  $l$  до  $1,5 l$  от верха свай:

$$G_2 = \frac{19,23 \cdot 0,5 \cdot 30}{0,5 \cdot 30} = 19,23 \text{ МПа;}$$

$$\nu_2 = \frac{0,3 \cdot 0,5 \cdot 30}{0,5 \cdot 30} = 0,3.$$

$$\alpha_{12} = \frac{0,131 \cdot 0,5 \cdot 30}{0,5 \cdot 30} = 0,131.$$

Модуль сдвига  $G_t$ , учитывающий сдвиговую ползучесть отдельного слоя грунта определяется в соответствии с п. Е.4:

$$G_t = \frac{E}{2(1 + \nu) \left(\frac{t_q}{t_0}\right)^\alpha} = \frac{G}{\left(\frac{t_q}{t_0}\right)^\alpha}.$$

В примере срок строительства объекта  $t_c$  примем равным 6 месяцам (182 сут). Срок эксплуатации объекта  $t_s$  100 лет (36500 сут).

Соответственно

$$t_q = t_s + \frac{t_c}{2} = 36500 + \frac{182}{2} = 36591 \text{ с у т.}$$

$t_0 = 1$  сут. Найдем модуль сдвига  $G_{1t}$  и  $G_{2t}$ :

$$G_{1t} = \frac{G_1}{\left(\frac{t_q}{t_0}\right)^{\alpha_1}} = \frac{16,67}{\left(\frac{36591}{1}\right)^{0,087}} = 6,68 \text{ МПа;}$$



$$G_{2t} = \frac{G_2}{\left(\frac{t_q}{t_0}\right)^{\alpha_1}} = \frac{19,23}{\left(\frac{36591}{1}\right)^{0,131}} = 4,86 \text{ МПа}.$$

2. Проверим условие  $l/d > 5$  в соответствии с п. Е.4.

$l/d = 30/1,5 = 20 > 5$ . Условие выполнено.

Проверим условие  $G_{1t}l > G_{2t}d > 1$  в соответствии с п. Е.4.

$4,21 \cdot 30 > 4,86 \cdot 1,5 > 1$ ;

$126,3 > 7,29 > 1$ . Условие выполнено.

3. Вычисляем площадь сечения сваи:

$$A = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 1,5^2}{4} = 1,767 \text{ м}^2.$$

4. Класс бетона сваи на сжатие – В30, модуль упругости  $E = 32500$  МПа.

В соответствии с п. Е.4 находим относительную жесткость сваи:

$$\chi_t = EA/G_{1t}l^2 = \frac{32500 \cdot 1,767}{6,68 \cdot 30^2} = 9,552.$$

5. Далее определим параметр, характеризующий увеличение осадки за счет сжатия ствола:

$$\lambda_1 = \frac{2,12 \cdot 9,552^{3/4}}{1 + 2,12 \cdot 9,552^{3/4}} = 0,920.$$

6. Определим коэффициенты  $k_v$  и  $k_{v1}$ :

$$k_v = 2,82 - 3,78 \frac{v_1 + v_2}{2} + 2,18 \left( \frac{v_1 + v_2}{2} \right)^2;$$

$$k_v = 2,82 - 3,78 \frac{0,3 + 0,3}{2} + 2,18 \left( \frac{0,3 + 0,3}{2} \right)^2 = 1,882;$$

$$k_{v1} = 2,82 - 3,78v_1 + 2,18v_1^2 = 2,82 - 3,78 \cdot 0,3 + 2,18 \cdot 0,3^2 = 1,882.$$

7. Найдем коэффициент для случая однородного основания с характеристиками  $G_{1t}$  и  $v_1$ :

$$\alpha' = 0,17 \ln(k_{v1}l/d) = 0,17 \ln\left(\frac{1,882 \cdot 30}{1,5}\right) = 0,617.$$

8. Вычислим коэффициент, соответствующий абсолютно жесткой свае ( $EA = \infty$ ):

$$\beta'_t = 0,17 \ln(k_v G_{1t}l/G_{2t}d) = 0,17 \ln\left(\frac{1,882 \cdot 6,68 \cdot 30}{4,86 \cdot 1,5}\right) = 0,671.$$

9. Найдем коэффициент  $\beta$ :

$$\beta = \frac{\beta'_t}{\lambda_1} + \frac{1 - (\beta'_t/\alpha')}{\chi_t} = \frac{0,671}{0,920} + \frac{1 - \left(\frac{0,671}{0,617}\right)}{9,552} = 0,720.$$

10. По формуле (Е.1) вычислим осадку одиночной сваи:

$$s_t = \beta \frac{N}{G_{1t}l} = 0,720 \frac{7,0}{6,68 \cdot 30} = 0,0252 \text{ м} = 25,2 \text{ мм}.$$

11. Далее выполним аналогичные расчеты для промежуточных лет эксплуатации и построим график осадки одиночной сваи во времени (рис. Е.9).

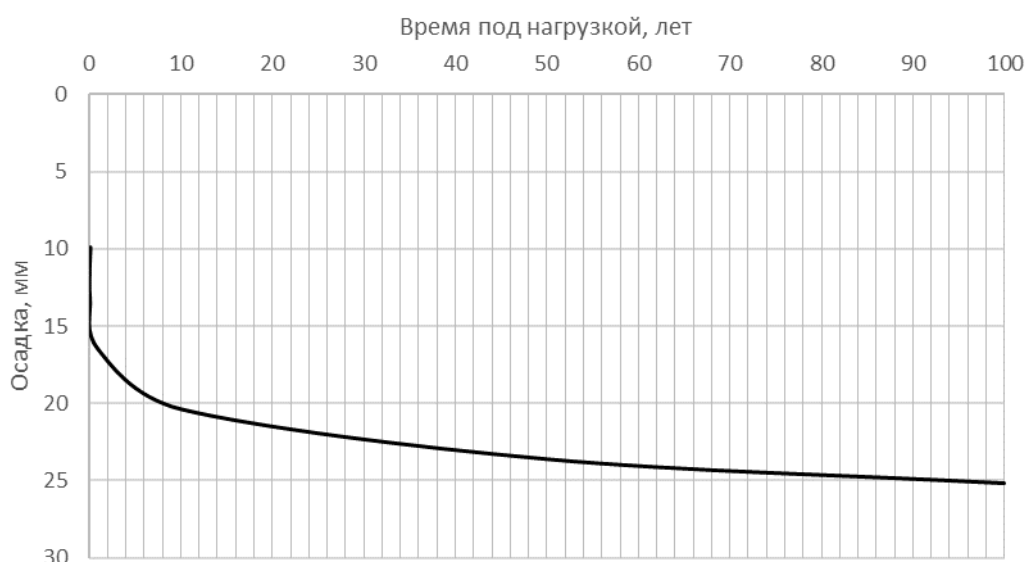


Рисунок Е.9 – График осадки одиночной сваи во времени

### Пример расчета осадки свайного куста (менее 25 шт.)

Инженерно-геологические условия площадки, конструкции свай, нагрузки и срок эксплуатации аналогичны примеру расчета осадки одиночной сваи. Схема расположения свай в кусте с учетом распределения нагрузок приведена на рис. Е.10.



Рисунок Е.10 – Схема расположения свай в кусте с нагрузкой

1. В соответствии с указаниями п. Е.4, расчет осадки свайного куста, состоящего из малой группы висячих свай (менее 25 шт.) выполняется с учетом их взаимного влияния. Осадка одиночной сваи выполнена в примере расчета осадки одиночной сваи. Найдем дополнительную осадку сваи №2 (периметральная свая) от осадки сваи №1 (рис. Е.10). Расстояние от сваи №2 до сваи №1  $a_{2-1} = 2,5$  м.

2. По формуле (Е.5) вычислим коэффициент  $\delta$ :

$$\frac{k_v G_{1t} l}{2 G_{2t} a} = \frac{1,882 \cdot 6,68 \cdot 30}{2 \cdot 4,86 \cdot 2,5} = 15,5 > 1;$$

$$\delta = 0,17 \ln \frac{k_v G_{1t} l}{2 G_{2t} a} = 0,17 \left( \ln \frac{1,882 \cdot 6,68 \cdot 30}{2 \cdot 4,86 \cdot 2,5} \right) = 0,466.$$

3. Вычислим дополнительную осадку сваи №2 по формуле (Е.5):

$$s_{ad} = \delta \frac{N}{G_{1t} l} = 0,466 \frac{7,8}{6,68 \cdot 30} = 0,0181 \text{ м} = 18,1 \text{ мм}$$

4. Аналогичным образом найдем дополнительные осадки сваи №2 от свай №№ 3-8. Результаты расчета приведены в таблице Е.2.

Таблица Е.2 –Результаты расчета дополнительной осадки сваи №2 от осадки свай в кусте

№ сваи	Вертикальная нагрузка на сваю, МН	Расстояние до сваи №2а, м	$\delta$	Дополнительная осадка $S_{ad}$ , мм
1	7,8	2,5	0,466	18,06
3	5,1	2,5	0,466	11,87
4	7,8	5,0	0,349	13,49
5	7,8	4,2	0,378	14,61
6	5,1	3,4	0,414	10,54
7	5,1	4,2	0,378	9,60
8	7,8	6,1	0,315	12,24

Суммарная дополнительная осадка сваи №2 от влияния соседних свай составляет 90,8 мм. Осадка сваи в кусте равняется сумме осадки одиночной сваи №2 с учетом влияния соседних свай:

$$s = 18,3 + 90,4 = 108,7 \text{ мм.}$$

5. Результаты расчета дополнительной осадки сваи №1 (угловая свая) от осадки свай в кусте приведены в таблице Е.3.

Таблица Е.3. Результаты расчета дополнительной осадки сваи №1 от осадки свай в кусте

№ сваи	Вертикальная нагрузка на сваю, МН	Расстояние до сваи №1 $a$ , м	$\delta$	Дополнительная осадка $S_{ad}$ , мм
2	5,1	2,5	0,466	11,87
3	5,1	5,0	0,349	8,87
4	7,8	7,5	0,280	10,83
5	7,8	3,4	0,414	16,03
6	5,1	4,2	0,378	9,60
7	5,1	6,1	0,315	9,78
8	7,8	8,2	0,264	10,21

Суммарная дополнительная осадка сваи №1 от влияния соседних свай составляет 78,0 мм. Осадка сваи в кусте равняется сумме осадки одиночной сваи №1 с учетом влияния соседних свай:

$$s = 27,9 + 78,0 = 105,9 \text{ мм.}$$

6. Средняя осадка куста свай в кусте:

$$s = \frac{4 \cdot 108,7 + 4 \cdot 105,9}{8} = 107,3 \text{ мм.}$$

7. Далее выполним аналогичные расчеты для промежуточных лет эксплуатации куста свай и построим график осадки свайного куста во времени (рис. Е.11).

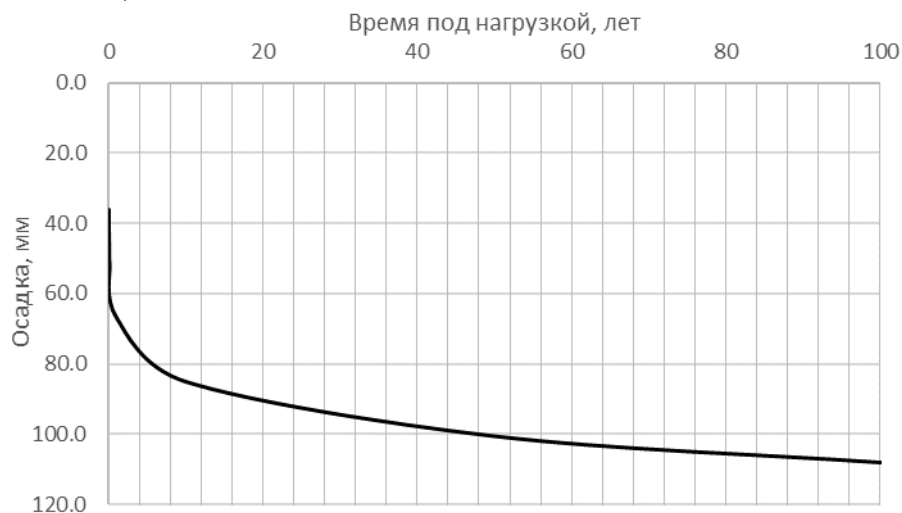


Рисунок Е.11 – График осадки свайного куста во времени

## Библиография

- [1] **Аникеев, А. В.** Провалы и воронки оседания в карстовых районах: механизмы образования, прогноз и оценка риска / А. В. Аникеев. – Москва : РУДН, 2017. – 328 с.
- [2] **Юрик, Я. В.** Основные характеристики физико-механических свойств грунтов: таблицы для расчета / Я. В. Юрик. – Киев : Будівельник, 1976. – 216 с.
- [3] **Лысенко, М. П.** Состав и физико-механические свойства грунтов / М. П. Лысенко. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Недра, 1980. – 272 с.
- [4] **Рубинштейн, А. Я.** Инженерно-геологические изыскания для строительства на слабых грунтах / А. Я. Рубинштейн, Ф. С. Канаев. – Москва : Стройиздат, 1984. – 108 с.
- [5] Утвержден  
ПНИИИС Госстроя  
СССР      **Рекомендации по методике прогноза изменения строительных свойств структурно-неустойчивых грунтов при подтоплении.** – Москва : Стройиздат, 1984. – 156 с.
- [6] **Федоров, В. И.** Прогноз прочности и сжимаемости оснований из обломочно-глинистых грунтов / В.И. Федоров. – Москва : Стройиздат, 1988. – 136 с.
- [7] **Кутепов, В. М.** Оценка устойчивости закарстованных территорий методом анализа напряженного состояния массивов пород. Обзор и рекомендации / В. М. Кутепов. – Москва : ЦП НТГО, 1986. – 69 с.
- [8] **Толмачев, В. В.** Инженерное карстоведение / В. В. Толмачев, Ф. Ройтер. – Москва : Недра, 1990. – 151 с.

- [9] **Толмачев, В. В.** Инженерно-строительное освоение закарстованных территорий / В. В. Толмачев, Г. М. Троицкий, В. П. Хоменко. – Москва : Стройиздат, 1986. – 176 с.
- [10] Рекомендации по проектированию фундаментов на закарстованных территориях. – Москва : ПНИИИС, 1985. – 78 с.
- [11] **Хоменко, В. П.** Карстовые и суффозионные провалы в г. Москве: особенности инженерно-геологических изысканий и прогнозирования / В. П. Хоменко, М. А. Калашников, И. А. Потапов // Вестник МГСУ. – 2010. № 4–2. – С. 158–162.
- [12] **Хоменко, В. П.** Закономерности и прогноз суффозионных процессов / В. П. Хоменко. – Москва : ГЕОС, 2003. – 216 с.
- [13] **Хоменко, В. П.** Карстовое провалообразование: механизм и оценка опасности / В. П. Хоменко // Экологическая безопасность и строительство в карстовых районах : материалы Международного симпозиума / под ред. В. Н. Катаева, Д. Р. Золотарева, С. В. Щербакова, А. В. Шиловой. – Пермский государственный национальный исследовательский университет. – Пермь, 2015. – С. 50–60.
- [14] **Щербаков, С. В.** К оценке морфометрических параметров карстовых форм / С. В. Щербаков, В. Н. Катаев // Инженерная геология. – Москва : ПНИИИС, 2013. – № 1. – С. 56–64.