

**ОРГАНИЗАЦИЯ СОТРУДНИЧЕСТВА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ
(ОСЖД)**

III издание

Разработано экспертами Комиссии ОСЖД
по инфраструктуре и подвижному составу
4-6 октября 2023 года, Комитет ОСЖД, г. Варшава

Утверждено совещанием Комиссии ОСЖД
по инфраструктуре и подвижному составу
7-9 ноября 2023 года, Комитет ОСЖД, г. Варшава

Дата вступления в силу: 9 ноября 2023 года

Примечание: Теряет силу II издание Памятки Р 720 от 23.10.2009 года

Р 720

**УСТРОЙСТВО
БЕЗБАЛЛАСТНОГО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ**

1. Основные положения	3
1.1. Нормативные документы по безбалластному железнодорожному пути.....	3
1.2. Определение безбалластного верхнего строения	3
1.3. Укладка безбалластного верхнего строения	3
2. Конструкции безбалластного верхнего строения.....	4
3. Безбалластные системы для строительства верхнего строения пути	6
3.1. Подсистемы и компоненты в системах безбалластного верхнего строения	6
3.2. Основные требования подсистем и компонентов в системах безбалластного верхнего строения	7
Рельсы	7
Системы крепления и встраивания рельсов.....	7
Шпалы	7
Сборные плиты и модули	7
Монолитное покрытие	8
Бетонные покрытия.....	8
Асфальтовые покрытия.....	10
Несущие слои	10
Слой между отдельными подсистемами.....	11
3.3. Типы спроектированных безбалластных систем	12
Способы построения безбалластных систем	15
3.4. Контроль вибрации безбалластного железнодорожного пути	15
Эластичность от дорожных компонентов	15
Эластичность от несущей конструкции (путь на «плавающей» плите)	15
3.5. Контроль шума безбалластного железнодорожного пути	17
Системы шумоподавления	17
4. Нижнее строение	18
4.1. Земляное полотно.....	18
Земляное основание	18
Защитный слой от промерзания	18
Дренажные сооружения.....	18
4.2. Искусственные сооружения нижнего строения.....	18
Железнодорожные мосты	18
Железнодорожные туннели	19
5. Переходные участки.....	19

1. Основные положения

1.1. Нормативные документы по безбалластному железнодорожному пути

В данной памятке обсуждаются технические требования к верхнему строению безбалластного железнодорожного пути, а нижнее строение рассматривается в общем виде. Технические требования к нижнему строению и его инженерным искусственным сооружениям более подробно рассмотрены в следующих памятках ОСЖД:

- Р 720/1 «Основные технические требования к проектированию и строительству земляного полотна для безбалластного пути»;
- Р 773 «Рекомендации по применению безбалластных систем верхнего строения пути при проектировании, строительстве и капитальном ремонте инженерных сооружений»;
- Р 773/7 «Защитный состав (ГС-1). Герметизация швов между плитами безбалластного мостового полотна»;
- Р 773/11 «Полимеркомпозиционный подстилающий слой под плитами безбалластного мостового полотна»;
- Р 773/12 «Применение плит безбалластного мостового полотна из композитных материалов»;
- Р 774/6 «Рекомендации по основным положениям назначения профиля рельсового пути на металлических мостах на брусьях»;
- Р 795 «Основные технические решения и комплексная диагностика зон перехода от безбалластного пути к стандартной конструкции и приемка работ».

1.2. Определение безбалластного верхнего строения

Наличие или отсутствие несвязанного балласта как несущей конструкции рельсов, подрельсового основания и сооружений верхнего строения (стрелочных переводов) по восприятию вертикальной нагрузки от рельсовых опор и передаче ее на нижнее строение является признаком, определяющим тип верхнего строения пути.

Безбалластным считается такое верхнее строение железнодорожного пути, которое:

- вообще не содержит балласта;
- содержит щебеночный балласт, который не выполняет функцию восприятия вертикальной нагрузки от рельсовых опор, а предназначен для снижения уровня шума, для защиты мостовых конструкций в случае возможного схода с рельсов, для увеличения бокового сопротивления бесстыкового рельсового пути (БРП) или для ультрафиолетовой защиты асфальтового слоя;
- содержит щебеночный балласт, который выполняет функцию восприятия вертикальной нагрузки от рельсовых опор, но он является связанным материалом и не «рыхлый».

1.3. Укладка безбалластного верхнего строения

Решение об укладке безбалластного железнодорожного пути принимают после углубленного изучения эксплуатационных условий – грузонапряженность, интенсивность движения, скорость и технические параметры на данном участке. Необходимо осуществить тщательный технико-экономический анализ, как расходов на строительство и затрат в результате перерыва движения, так и последующего резкого уменьшения средств на содержание. Характеристики нижнего строения и наличие искусственных сооружений (мосты и туннели) должны быть рассмотрены в деталях.

Укладка безбалластного верхнего строения оправдана в следующих случаях:

- в новом строительстве высокоскоростных и скоростных железнодорожных участков;
- при модернизации существующего железнодорожного пути с целью сокращения частоты и видов работ по содержанию пути;

- затраты на строительство не превышают таковых на балластное верхнее строение более чем в 1,5-2 раза;
- на земляном основании – при большой интенсивности движения в сочетании с необходимостью более высокой устойчивости пути;
- в тоннелях – при недостатке габарита; при серьезных затруднениях в работе по текущему содержанию; при новом строительстве в целях ограничения размеров тоннеля; для обеспечения свободного передвижения автомобилей экстренных служб в туннелях длиной более 400-500 м;
- на мостах и виадуках – при габаритных ограничениях; при новом строительстве в целях уменьшения доли постоянной нагрузки; при структурных ограничениях и отсутствии путевой плиты для балласта;
- на станционных путях – при высокой интенсивности движения; при необходимости точного соблюдения постоянной высоты между уровнем рельса и уровнем погрузо-разгрузочных платформ и перронов;
- на железнодорожных переездах для беспрепятственного пересечения автомобильного и железнодорожного транспорта;
- в случае затруднений с обеспечением подходящего материала балластной призмы;
- в населенных пунктах, вблизи архитектурных памятников или общественных зданий с требованиями по снижению уровня шума и вибрации.

2. Конструкции безбалластного верхнего строения

Балластное верхнее строение характеризуется одним основным типом конструкции, где его можно рассматривать как рельсы, закрепленные скреплениями на шпалах, уложенных в балласт – путь в балласте. Безбалластные конструкции можно обобщить следующим образом:

- путь на железнодорожном мосту без путевой плиты проезжей части;
- путь на плитном или сплошном монолитном основании (под таким «основанием» следует понимать сборные плиты, сборные модули или монолитное дорожное покрытие);
- встроенный путь (с рельсами в продольных рельсовых каналах).

Обязательным компонентом во всех типах конструкций железнодорожного пути являются только рельсы. На следующем рисунке показаны способы поддержки рельсов рельсовыми опорами в разных типах безбалластного верхнего строения пути.

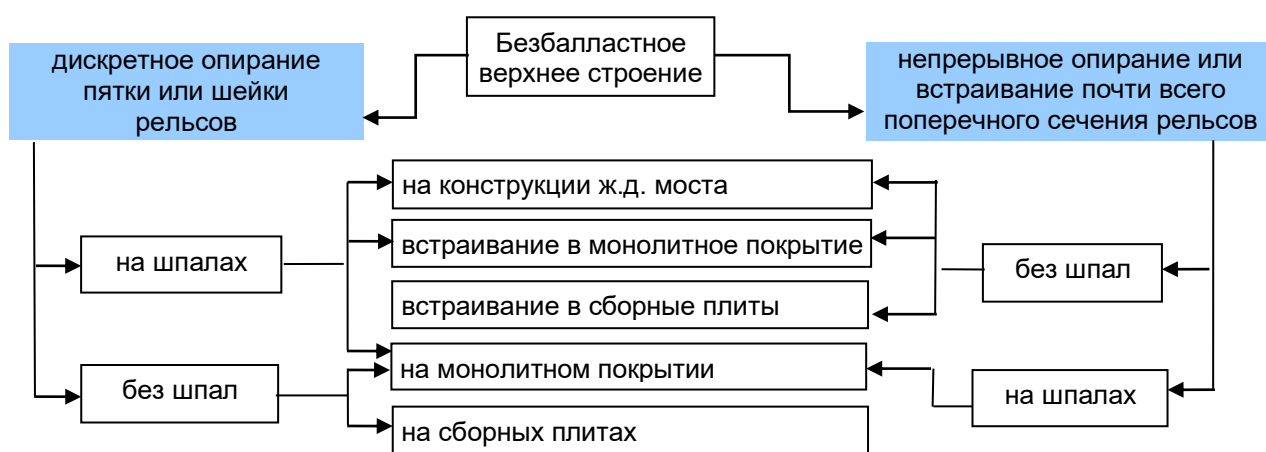


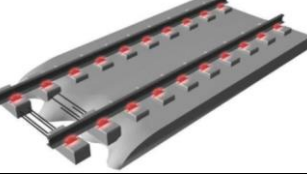
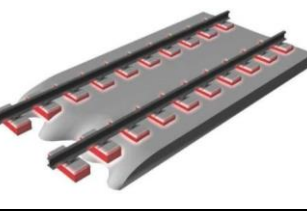
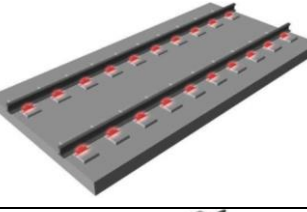




Рисунок 1. Способы поддержки рельсов рельсовыми опорами в разных типах безбалластного верхнего строения пути

Конструкции безбалластного верхнего строения можно классифицировать по разным признакам. Основные типы безбалластных конструкций верхнего строения пути в зависимости от типа, материала и поддержки рельсовых опор показаны в следующей таблице.

В таблице представлены и спроектированные безбалластные системы конструкции верхнего строения пути, которые более подробно описаны в пункте 3.3.

Таблица 1. Классификация безбалластных конструкций верхнего строения пути

Безбалластная конструкция верхнего строения пути	Схема	Пояснения
Рельсы на брусьях, опирающихся на балки стального моста		мостовые брусья (деревянные, композитные), уложенные непосредственно на стальную конструкцию моста без путевой плиты
Рельсы на шпалах, опирающихся на монолитном покрытии <i>Безбалластные системы:</i> FF-ATS-SATO, ATD, BTD, GETRAC		шпалы (железобетонные моноблочные/двухблочные, стальные Y-образные), закрепленные к верхнему слою монолитной асфальтобетонной, композитной или железобетонной плиты
Рельсы на шпалах, встроенных в монолитное покрытие <i>Безбалластные системы:</i> Rheda, Heitkamp, SBV, Züblin		железобетонные шпалы (моноблочные, двухблочные), встроенные в монолитную железобетонную плиту
Рельсы на изолированных шпалах, встроенных в монолитное покрытие <i>Безбалластные системы:</i> Stedef (Sat S312), HAS, LVT, EBS		железобетонные шпалы (моноблочные, двухблочные, блочные) в резиновых/пластиковых «чехлах» или бетонных лотках, встроенных в монолитную железобетонную плиту
Рельсы на сборных плитах или модулях <i>Безбалластные системы:</i> J-Slab (Shinkansen), FFB, STA (FF ÖBB-PORR), IVES, RST, PCAT		сборные плиты/модули из железобетона (с ненапряженной, предварительно напряженной или постнапряженной арматурой) на гидравлически или битумно-связанном несущем слое, или на монолитную плиту
Рельсы на монолитном покрытии <i>Безбалластные системы:</i> PACT, FFC, BES, DFT		рельсы, непосредственно прикрепленные скреплениями к монолитной бетонной плите
Рельсы в продольных рельсовых каналах <i>Безбалластные системы:</i> ERS, BB ERS (BB EST), SFF, QTrack		рельсы, встроенные в продольные рельсовые каналы в монолитном покрытии, сборных плитах или на мосту, с помощью эластомерных смесей или эластичных профилей

3. Безбалластные системы для строительства верхнего строения пути

3.1. Подсистемы и компоненты в системах безбалластного верхнего строения

Безбалластное верхнее строение представляет собой законченную систему основных подсистем, состоящую из отдельных компонентов. Их примеры приведены на следующем рисунке и в таблице под ней.

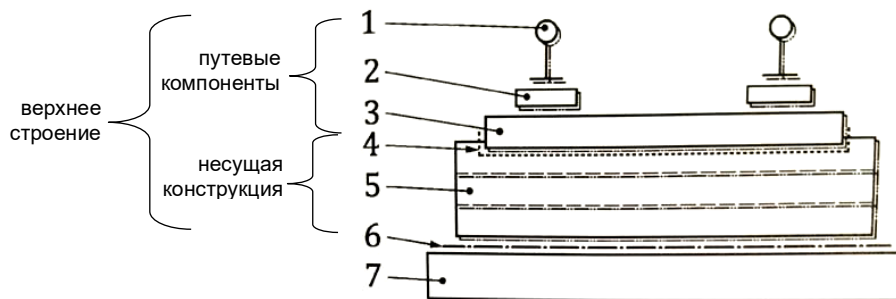


Рисунок 2. Примерные подсистемы в системах безбалластного верхнего строения

Таблица 2. Примерные подсистем и компонентов в безбалластном пути

Обозначение	Наименование	Часть системы
1	рельс пути, рельс стрелочного перевода	подсистема
-	рельс на прямом участке, внутренний рельс, наружный рельс	компонент
-	остряк, рамный рельс, усовик, сердечник, контррельс	компонент
2	система крепления, система встраивания	подсистема
-	упругая клемма, рельсовая прокладка, опорная подкладка,	компонент
-	эластичная прокладка, шуруп, анкер	компонент
-	заливочная полиуретановая масса, эластичный профиль	компонент
3	сборный элемент, шпала	подсистема
-	железобетонная шпала, железобетонный блок (полушпала)	компонент
-	железобетонная плита, железобетонный модуль	компонент
-	стальная шпала, мостовой брус (деревянный, композитный)	компонент
4	слой между рельсовой опорой и несущей конструкцией	подсистема
-	«чехол» (резиновый, пластиковый), эластичная прокладка,	компонент
-	бетонный лоток	компонент
-	подливочный слой, самоуплотняющийся слой	компонент
-	бетонный цилиндр (дюбель), анкер	компонент
5	монолитное покрытие	подсистема
-	покрытие (асфальтовое, бетонное, железобетонное, композитное)	компонент
-	основной несущий слой (гидравлически связанный, битумно-связанный, несвязанный)	компонент
6	слой ниже несущей конструкции	подсистема
-	демпфирующий слой (мат, эластомерный блок, пружина)	компонент
-	выравнивающий слой, самоуплотняющийся слой	компонент
7	нижнее строение	подсистема

Граница между дорожными (путевыми) компонентами и несущей конструкцией в верхнем строении железнодорожного пути определяется индивидуально в каждом проекте.

Сборные плиты, которые имеют прочную механическую связь между собой, можно считать частью несущей конструкции, а не путевыми компонентами.

Промежуточный слой (ниже или выше несущей конструкции), отличающийся по материалу от несущей конструкции или не выполненный вместе с ней, не считается частью несущей конструкции и, соответственно, не учитывается при определении размеров с ее характеристиками.

3.2. Основные требования подсистем и компонентов в системах безбалластного верхнего строения

Безбалластное верхнее строение рассматривается как единая система, рассчитанная на определенные условия эксплуатации на минимальный срок 50 лет. Для ее подсистем и компонентов, расчетный срок службы которых меньше из-за усталости или износа (например, рельсы), следует предусмотреть соответствующие запасные количества.

Уровень шума и вибрации необходимо контролировать при проектировании и эксплуатации железнодорожного пути.

Рельсы

В безбалластном верхнем строении используются стальные широкоподошвенные рельсы с перевернутым Т-образным профилем – рельсы Виньоль. Только в конструкциях со встроенными рельсами можно используются рельсы с другим типом поперечного сечения, например, скругленный прямоугольный профиль (ВВ14072 – 74 кг/м, высота 140 мм) или грибовидный профиль (SA42 – 42 кг/м, высота 80 мм), которые, однако, в своей верхней части имеют геометрические характеристики головки рельса Виньоль.

Системы крепления и встраивания рельсов

Системы представляют собой набор компонентов, которые крепят рельсы к или в их несущей конструкции и удерживают их в требуемом положении, при этом передавая нагрузки и обеспечивая электрическую изоляцию рельса от его опор.

В безбалластном верхнем строении, кроме специально разработанных систем снижения вибрации и шума, а также повышения комфортности движения, могут применяться традиционные системы крепления для верхнего строения пути с балластом при условии, что они создают надежное крепление рельсов к их опорам с необходимой жесткостью, по условиям эксплуатации железной дороги.

Некоторые безбалластные системы безбалластного верхнего строения позволяют выбирать систему крепления, а другие нет. Индивидуальные системы крепления предлагают различные возможности для регулировки геометрии пути и обеспечивают разную жесткость пути – это следует учитывать при выборе системы верхнего строения пути, позволяющей выбирать крепления.

В массовых случаях, когда рельсы не встроены, их периодически подпирают на расстоянии от 0,6 до 0,75 м. При необходимости размещения креплений за пределами этого диапазона требуется индивидуальное обоснование для каждого проекта с учетом условий движения, геометрии железной дороги и максимальной скорости движения.

Шпалы

В безбалластном верхнем строении устанавливаются шпалы следующих типов:

- деревянные мостовые моноблочные (допускаются только в безбалластном верхнем строении на железнодорожных мостах);
- композитные мостовые моноблочные (допускаются только в безбалластном верхнем строении на железнодорожных мостах);
- стальные Y-образные (допускаются только на асфальтовом покрытии);
- железобетонные моноблочные или двухблочные;
- железобетонные изолированные блочные, двухблочные и моноблочные.

Сборные плиты и модули

Сборные плиты и модули представляют собой предварительно изготовлены на заводе бетонные элементы с армированием.

В зависимости от вида армирования в них сборные плиты классифицируют следующим образом:

- плиты с ненапрягаемой арматурой;
- плиты с натянутой арматурой (продольной и поперечной или только поперечной);

- фибробетонные плиты, армированные стальными или полипропиленовыми волокнами;
- плиты с комбинированным армированием.

В зависимости от сплошности бетона в продольном направлении сборные плиты могут быть соединены между собой арматурой и бетоном в монолитную конструкцию или оставлены между ними чистые проемы (швы).

После укладки сборных плит зазоры между их нижней поверхностью и несущей их конструкцией заполняют растворами с целью получения прочного соединения и выравнивания плит. Для этого используется самоуплотняющийся бетон, строительный раствор или битумный материал, не требующие вибрации, чтобы не нарушать геометрию пути.

Модули представляют собой сборные блоки, которые выглядят как бетонные шпалы, но имеют поведение плиты, поскольку они намного тяжелее шпал и крепятся к монолитному покрытию на определенном расстоянии. Они могут быть продольными, поперечными или каркасными (каркасные плиты).

Монолитное покрытие

Монолитные покрытия должны быть способны воспринимать горизонтальные и подъемные силы, что достигается за счет обеспечения непрерывной связи между отдельными слоями за счет трения, соединительных элементов и т. д.

Монолитные покрытия выполняются в один или несколько слоев. Жесткость отдельных слоев покрытия должна увеличиваться снизу вверх.

Для изготовления монолитных покрытий используются связанные материалы – бетон, железобетон, асфальтобетон или композит.

Бетонные покрытия

Бетонные покрытия представляют собой монолитные плиты, залитые на месте, и выполняют функцию поддержки рельсов или рельсовых опор. В конструкциях с непосредственно прикрепленные или встроенными рельсами должны использоваться системы крепления или встраивания, специально разработанные для безбалластного верхнего строения пути.

В самом общем случае, если иное не указано изготовителем соответствующей безбалластной системы верхнего строения пути, бетонные покрытия должны удовлетворять следующим требованиям:

Таблица 3. Материалы для бетонных покрытий

Показатели материалов для бетонных покрытий	Значения
Минимальный класс прочности бетона на сжатие	$\geq B 35 (C 30/37)$
Минимальный класс прочности бетона на растяжение при изгибе	$\geq B_{тб} 4,5 (\geq C_f 4,5)$
Максимальное водоцементное отношение в бетоне	$\leq 0,45$
Минимальное содержание цемента	$\geq 340 \text{ кг/м}^3$
Низкощелочные цементы	$\leq 0,8\% \text{ Na}_2\text{O}, \leq 3\% \text{ SO}_3$
Максимальное количество реактивной щелочи в бетоне	$\leq 3 \text{ кг/м}^3$
Цемент	портландцемент СЕМ I

В следующей таблице приведены требования к бетонным покрытиям в зависимости от наличия сборных элементов, а также связи между двумя подсистемами.

Таблица 4. Комбинация монолитного покрытия и сборных элементов

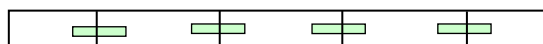
Комбинация монолитного покрытия и сборных элементов	Технические требования
Бетонные покрытия без наличия сборных элементов	При отсутствии сборных элементов дорожное покрытие должно быть спроектировано таким образом, чтобы оно выполняло и их функции – выдерживание колес в определенных пределах и передачу нагрузки от рельсов на основание. При периодическом опирании рельсов должно быть доказано, что элементы контакта подсистем крепления с дорожным полотном не

Комбинация монолитного покрытия и сборных элементов	Технические требования
	будут затронуты трещинами в нем. Если предвидятся трещины шире 0,5 мм, швы необходимо загерметизировать. При непрерывном опирании рельсов рекомендуется непрерывное армированное покрытие.
Бетонные покрытия в сочетании с установленными на них сборными элементами (шпалы)	Бетонные покрытия с установленными на них шпалами должны проектироваться с швами. Необходимость плавного восприятия нагрузки может привести к укладке промежуточного слоя (например, из геотекстиля). Геометрические допуски покрытия и шпал должны соответствовать предусмотренному такому слою.
Бетонные покрытия со встроенными сборными элементами без связи между ними	Покрытия должны быть в состоянии воспринимать нагрузку от сборных элементов, сохраняя при этом их требуемую геометрию. Сборные элементы необходимо обеспечить эластичность пути. В обязательном порядке они должны быть оснащены компонентами, отделяющими их встроенную часть от покрытия, чтобы их можно было отсоединить.
Бетонные покрытия с монолитно встроенными сборными элементами	Сборные элементы, встроенные в покрытие, функционируют вместе с ним. При условии, что сборные элементы не рассчитаны на полное поглощение нагрузки от рельсов, соединение между покрытием и ними имеет существенное значение, цель которого состоит в получении монолитной конструкции.

Для бетонных покрытий характерно то, что уже на этапе проектирования должны быть предусмотрены меры по контролю ширины произвольно образованных трещин в материале (Рис. 5а) или покрытия должны быть спроектированы с учетом швов (Рис. 5б, Рис. 5в) для контроля расположения трещин.



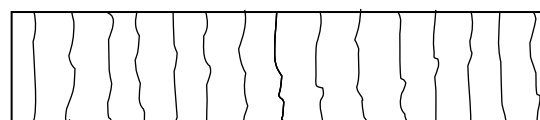
план поперечных трещин



профиль покрытия без армирования, с швами
(б)



профиль покрытия с армированием и с швами
(в)



план поперечных трещин



профиль непрерывно армированного покрытия
(а)

Рисунок 3. Бетонные покрытия с контролируемым или свободным формированием трещин

Покрытия без армирования (Рис. 5б) должны быть спроектированы с поперечными швами, чтобы контролировать образование трещин в бетоне. При таких покрытиях не допускается появление трещин вне швов. Как правило, швы выполняются путем вырезания желобов в только что затвердевшем бетоне (так называемая «нарезка швов») для создания ослабленной вертикальной плоскости, предназначенной для контроля расположения трещин покрытия, вызванных высыханием бетона.

Армирование продольных и поперечных стержней располагают по возможности посередине покрытия (нейтральная ось слоя) или близко к нему для ограничения трещин при высыхании бетона и обеспечения передачи через них вертикальной нагрузки. Для обеспечения мелких трещин (шириной менее 0,5 мм, на расстоянии друг от друга более 5 м), которые не могут сливаться при отсутствии швов (Рис. 5а), рекомендуется армирование $0,6 \div 0,9\%$ сечения, с диаметром продольных стержней $\varnothing 18 \div 20$ мм. При наличии швов (Рис. 5в) требуется меньшее количество армирования – порядка $0,4 \div 0,5\%$ от поперечного сечения.

Асфальтовые покрытия

Асфальтовые покрытия могут выполняться только в сочетании со сборными элементами (шпалами, блоками и плитами), обеспечивающими геометрию пути. Крепление рельсов непосредственно на них, не допускается из-за вязкого поведения битумного материала. Контактные напряжения между асфальтовым покрытием и сборным элементом не должны превышать $0,5 \text{ Н/мм}^2$, что может привести к необходимости использования промежуточного слоя из геотекстиля, нетканого полотна и т.п.

Пластическая деформация слоев асфальта должна контролироваться покрытием их поверхности. Таким образом, также улучшается шумопоглощение.

Для предотвращения проникновения кислорода и воды, необходимых для процесса старения, верхний слой асфальта должен быть плотнее остальных и хорошо утрамбовываться при укладке.

Для достижения необходимой несущей способности и геометрии поверхности асфальтобетонное покрытие необходимо укладывать в определенной последовательности слоев, различающихся по своим функциям, материалу и свойствам. Толщина всего асфальтобетонного покрытия зависит от модуля деформации основания и его значение составляет $150 \div 300 \text{ мм}$. В самом общем случае, если иное не указано изготовителем соответствующей безбалластной системы верхнего строения пути, асфальтовые покрытия должны удовлетворять следующим требованиям:

Таблица 5. Материалы для асфальтовых покрытий

Показатели материалов для асфальтобетонных слоев	Базовый слой (асфальтобетон, битумированный асфальтобетон)	Верхний слой (слой из не плотного асфальтобетона)	Поверхностный слой (слой из плотного асфальтобетона – каменно-мастичный асфальт, горячекатаный асфальтобетон)
Стабильность (по Маршаллу)	$\geq 14 \text{ кН}$		
Остаточная пористость (образцов для испытаний на прочность по Маршаллу)	$5,0 \div 10,0\%$	$3,5 \div 6,5\%$	$2,5 \div 3,0\%$
Условная пластичность	$1,5 \div 4,0 \text{ мм}$		
Объемное содержание воздушных пустот (в готовом слое)	$\leq 10\%$	$\leq 5\%$	$\leq 4\%$
Состав	щебень, битум (вяжущее вещество)	щебень, битум, дробленый песок	щебень, битум, дробленый песок, минеральный наполнитель
Отличительные особенности	свойства дренажа, несущая способность	водопроницаемость, несущая способность	водонепроницаемость, эластичность, сложность обработки при укладке

Несущие слои

Основные несущие слои выполняются в составе многослойного бетонного покрытия, асфальтового покрытия или в качестве несущего слоя сборной плиты. Они должны иметь достаточную грузоподъемность и морозостойкость. Несущие слои укладываются поверх основания и состоят из гидравлически связанных, битумно-связанных, несвязанных слоев или их комбинации.

Взаимодействие слоев с разными связующими может привести к отрицательному эффекту и растрескиванию обоих слоев.

Гидравлически связанные слои должны иметь швы для предотвращения образования трещин в них и в подсистеме над ними. Если этого не сделать сразу после их укладки, необходимо принять другие меры, например, уложить промежуточный слой геотекстиля.

В случае бетонного покрытия со швами, швы в гидравлическом слое должны соответствовать местам их расположения или должен быть уложен промежуточный слой геотекстиля.

В случае асфальтового покрытия расстояние между швами в гидравлическом слое не должно превышать 5 м, а толщина покрытия должна быть не менее 14 см.

В следующей таблице показаны требования к материалам для гидравлически связанных несущих слоев.

Таблица 6. Материалы для гидравлически связанных несущих слоев

Гидравлический связанный слой	Требования к материалам	
Цементный несущий слой	плотность по методу Проктора	≥ 98%
	прочность на сжатие под асфальтовым покрытием образца высотой и диаметром 125 мм/150 мм из теста Проктора	≥ 7 Н/мм ²
	прочность на сжатие под бетонным покрытием образца высотой и диаметром 125 мм/150 мм из теста Проктора	≥ 15 Н/мм ²
	содержание цемента	≥ 3%
Бетонный несущий слой	класс прочности бетона на сжатие	с С12/15 до С20/25

Битумно-связанные несущие слои можно использовать в качестве опоры для сборных плит, бетонного или асфальтового покрытия. В последнем случае они являются частью покрытия и представляют собой нижний базовый слой.

Несвязанные несущие слои выполнены в виде смеси естественно измельченных материалов. В этот слой или под него можно укладывать геосинтетические материалы (геотекстиль, геосетку). При таких слоях отсутствует риск появления и развития трещин. При них опасность разрушения выражается в неравномерной пластической деформации несущей конструкции. Более низкая несущая способность несвязанного слоя по сравнению с гидравлически связанным слоем может быть компенсирована несколько большей толщиной покрытия. Важна водопроницаемость материала.

Слои между отдельными подсистемами

Промежуточные слои используются в безбалластных системах по нескольким причинам:

- для гашения вибраций (вибрацию можно уменьшить путем прокладки эластичного промежуточного слоя между верхним и нижним строением или за счет внедрения его в самом верхнем строении железнодорожного пути);
- распределить/уменьшить нагрузку на железнодорожный путь (более равномерное распределение нагрузки от промежуточного упругого слоя приводит к уменьшению динамических сосредоточенных сил);
- для достаточной электрической изоляции;
- для отделения подсистем друг от друга верхнего строения пути (когда должны быть обеспечены поперечные/боковые перемещения между отдельными подсистемами от механических или термических деформаций, или между верхним строением и основанием);
- для компенсации допусков при наличии сборных элементов в верхнем строении (т.н. «выравнивающие слои»).

Применение промежуточные слои (особенно когда они упругие) оказывает существенное влияние на всю систему верхнего строения, соответственно, их необходимо учитывать, в частности:

- дренаж, прокладка кабелей;
- учет жесткости всей системы верхнего строения.

Промежуточные слои должны быть рассчитаны на соответствующую нагрузку. В случае, если они сами по себе не могут обеспечить необходимую устойчивость, следует предусмотреть дополнительные компоненты, помогающие им (например, анкеры или бетонные цилиндры). Например, когда прочность промежуточных слоев между компонентами и их несущей конструкцией недостаточна для восприятия напряжения от температурной деформации, на границе слоев зарождаются трещины, которые под действием динамических нагрузок развиваются до образования зазора под сборная или монолитная плита.

3.3. Типы спроектированных безбалластных систем

Безбалластный железнодорожный путь может быть построенный с использованием уже разработанной системы в зависимости от типа основания и скорости движения, которая характеризуется определенным типом конструкции с просчитанными подсистемами и компонентами, и технологией строительства. Типы систем отличаются друг от друга временем их создания и протяженностью железной дороги, на которой они реализованы. Одни из них проходят разработку и имеют несколько модификаций, другие не оказываются пригодными и не применяются на практике. Чем больше опыта работы с данной системой, тем она технически совершеннее и, следовательно, более управляема. Не существует универсальной системы, удовлетворяющей в одинаковой мере всем условиям строительства и содержания железной дороги. К каждому конкретному случаю необходимо подходить индивидуально при выборе системы, в соответствии с требованиями проектирования, возможностями самой системы, характеристиками основания, сложностью и стоимостью строительства, мероприятиями и затратами обслуживания.

В следующей таблице приведена расшифровка названий проектируемых безбалластных систем устройства верхнего строения пути.

Таблица 7. Расшифровка названий безбалластных систем для строительства верхнего строения пути

Наименование	Расшифровка аббревиатуры	Происхождение
ATD	A sphalt T ragschicht mit D irekta u flagerung (Немецкий) – асфальтобетонный опорный слой для непосредственной поддержки пути (моно- или двухблочные бетонные шпалы на асфальтобетонном покрытии специфического профиля с выпуклой полосой посередине пути)	Германия
BB ERS (BB EST)	B alfour B eatty E mb e dded R ail S ystem (B alfour B eatty E mb e dded S lab T rack) (Английский) – система производителя Balfour Beatty со встроенными рельсами (рельсы со скругленным прямоугольным профилем на U-образных полиуретановых прокладках, залитые цементным раствором в бетонных каналах с U-образной непрерывной композитной обшивкой, армированной волокнами)	Объединенное Королевство
BES	B eton T ragschicht mit E inzel S tütz p unkte (Немецкий) – бетонный опорный слой с выделенными отдельными основаниями для опорных точек рельсов (бетонное покрытие с профилированными подрельсовыми площадками для крепления упругими клеммами типа SKL)	Германия
BTD	B eton T ragschicht mit D irekta u flagerung (Немецкий) – бетонный опорный слой для непосредственной поддержки пути (моноблочные бетонные шпалы, закрепленные в бетонном покрытии анкерами)	Германия
CRTS	C hinese R ailway T rack S ystem (Английский) – Китайская железнодорожная система (CRTS I основана на J-Slab и Rheda 2000; CRTS II основана на FFB и Züblin, CRTS III полностью китайская разработка)	Китай
DFT (DFF Track)	D irect F ixed T rack (D irect F ixation F astener T rack) (Английский) – путь с непосредственным креплением рельсов к бетонному покрытию (с помощью креплений, обеспечивающих вертикальную и горизонтальную упругость пути, снижение шума, вибрации и ударов, например: DFF 200, DFF 300, Hilti DFF, edilon)(sedra DFS, Fastclip FCB, Fastclip SFC, Fastclip VIPA SP, Vanguard, Delta-Lager, Delkor egg, Delkor ALT.1, ADH)	
EBS	E mb e dded B lock S ystem (Английский) – система встроенных блоков (встроенные в бетонное покрытие с помощью заливочной полиуретановой массы, содержащей пробку, бетонные полушпалы, изолированные в сборных железобетонных лотках с геотекстилем и эластомером на дне)	Нидерланды
ERS	E mb e dded R ail S ystem (Английский) – система со	Нидерланды

Наименование	Расшифровка аббревиатуры	Происхождение
	<i>встроенными рельсами (рельсы на непрерывных модифицированных пробкой прокладках, встроенные в продольных бетонных/стальных каналах с помощью заливочной двухкомпонентной полиуретановой массы, содержащей пробку)</i>	
FFB	F este F ahrbahn B ögl (Немецкий) – путь на плите производителя Maх Bögl Group (соединенные между собой продольной арматурой, сборные железобетонные плиты с запроектированными поперечными швами, со встроенными винтовыми домкратами по периферии, с тремя небольшими отверстиями по продольной оси для битумно-цементного раствора, на гидравлически или битумно-связанном несущем слое)	Германия
FFBS-ATS-SATO	F este F ahrbahn S pann B eton S chwelle A sphalt T rag S chicht S tudiengesellschaft A sphalt O berbau (Немецкий) – путь на плите с предварительно напряженными железобетонными шпалами на асфальтовом несущем слое, разработка SATO – Исследовательской группы по верхнему строению железнодорожного пути с асфальтовым покрытием (моноблочные железобетонные шпалы, закрепленные в асфальтовом покрытии стальными ребрами)	Германия
FFC	F este F ahrbahn C railsheim (Немецкий) – путь на плите Crailsheim (бетонное покрытие с профилированными подрельсовыми площадками для крепления упругими клеммами типа SKL)	Германия
FFYS-ATS-SATO	F este F ahrbahn Y - S tahlschwelle A sphalt T rag S chicht S tudiengesellschaft A sphalt O berbau (Немецкий) – путь на плите со стальными Y-образными шпалами на асфальтовом несущем слое, разработка SATO (стальные Y-образные шпалы, закрепленные в асфальтовом покрытии стальными ребрами)	Германия
FST	F loating S lab T rack (Английский) – путь на «плавающей» плите (при реализации системы «масса-пружина»)	
GETRAC	G ERMAN T RACK C ORPORATION (Английский) – Немецкая железнодорожная корпорация (моноблочные бетонные шпалы, закрепленные в асфальтовом покрытии анкерными блоками)	Германия
HAS	H igh A ttenuation S ystem (Английский) – система высокого затухания уровней шума и вибраций (встроенные в бетонном покрытии, тяжелые моноблочные железобетонные шпалы, изолированные в пластиковых «чехлах» с уплотнением, с нижней и боковыми эластомерными прокладками в них)	Франция
Heitkamp	Heitkamp Construction Swiss GmbH – производитель системы (моноблочные железобетонные шпалы, встроенные в призму из цементированного балласта в корытообразную бетонную плиту)	Германия Швейцария
IVES	I ntelligent, V ersatile, E fficient and S olid (Английский) – умный, универсальный, эффективный и сплошной (сборные железобетонные модули, поперек или вдоль рельсов с небольшим зазором между ними, с креплением для безбалластного верхнего строения пути DFF 300 (DFF 304), на битумно-связанном несущем слое)	Австрия, Швейцария
J-Slab (Shinkansen)	J apanese Shinkansen S lab track system (Английский) – японская система «путь на плите», впервые установленная на 2-й железной дороге Синкансэн (сборные железобетонные плиты с/без большого отверстия по продольной оси, с большими бетонными дюбелями между ними, с битумно-цементным раствором в мешках из синтетического волокна ниже ними, на гидравлически связанном несущем слое)	Япония

Наименование	Расшифровка аббревиатуры	Происхождение
LVT (Sonneville)	L ow V ibration T rack (Английский) – путь с низким уровнем вибрации производителя Sonneville AG (встроенные в бетонном покрытии, железобетонные блочные полушпалы, изолированные в резиновых «чехлах» с нижней эластомерной прокладкой)	Франция Швейцария
NFF	N eue F este F ahrbahn (Немецкий) – новый путь на плите (система сборных рамных плит на сваях в слабых грунтах, представляющая собой сходную с мостовой строительную конструкцию)	Германия
PACT	P aved C oncrete T rack (Английский) – путь на бетонном покрытии (профилированное с поперечными уклонами, монолитное бетонное покрытие с непрерывным армированием и с непосредственным креплением рельсов)	Объединенное Королевство
PCAT	P re C ast A dvanced T rack (Английский) – путь на усовершенствованной сборной плите (сборные железобетонные плиты из фибробетона с интегрированными устройствами и системами, на гидравлически связанном несущем слое)	Объединенное Королевство
QTrack	Q uiet T rack (Английский) – путь с пониженным уровнем шума и вибрации (встроенные рельсы с непрерывной поддержкой эластичных профилей производителя Pandrol; до 2014 года система была известна как CDM-QTrack)	Бельгия, Объединенное Королевство, Франция
RST	R ayton S lab T rack (Английский) – путь на плите Rayton, торговая марка производителя Yarıgaya (сборные бетонные плиты с ненапряженной или постнапряженной арматурой, с малыми периферийными отверстиями для монтажа и для самоуплотняющегося бетона, с/без двух больших отверстий по продольной оси для химических анкеров, на гидравлически связанном несущем слое)	Турция
Rheda	Rheda – впервые система была установлена на станции Rheda (моноблочные или двухблочные (со стержнями или с решетчатыми фермами) железобетонные шпалы, встроенные в бетонное покрытие)	Германия
SFF	S chwingungsgedämpfte F este F ahrbahn (Немецкий) Vibration damped slab track (Английский) – путь на виброизолированной плите (система со встроенными рельсами с непрерывной поддержкой эластичных профилей)	Германия
STA (FF ÖBB-PORR)	S lab T rack A ustria (Английский) F este F ahrbahn Ö sterreichische B undes B ahnen P orr (Немецкий) – австрийская система «путь на плите», разработана компанией PORR AG в сотрудничестве с австрийскими федеральными железными дорогами ÖBB (сборные ненапряженные железобетонные плиты с двумя большими конусообразными отверстиями вдоль продольной оси для заливки самоуплотняющегося бетона, на гидравлически связанном несущем слое)	Австрия
Stedef (Sat S312)	SBB Bözberg/ Stedef – впервые система была установлена в железнодорожном тоннеле Бёзберг, Швейцария при участии компании Stedef, Франция, а спустя 30 лет Sateba, Франция разработала новые варианты системы – Stedef/Sateba S312 (встроенные в бетонном покрытии, бетонные двухблочные шпалы, изолированные: в резиновых «чехлах» с нижней эластомерной прокладкой (Stedef); в пластиковых корпусах с уплотнением, с нижней и боковыми эластомерными прокладками (Sat S312))	Швейцария Франция
Züblin	Ed. Züblin AG – производитель системы (моноблочные или двухблочные железобетонные шпалы, встроенные в бетонное покрытие путем вдавливания их в свежий бетон с помощью вибрации)	Германия

Способы построения безбалластных систем

Для определения конструкционных и производственных допусков подсистем и их компонентов важно следующее:

- способ построения безбалластной системы;
- способ выправки пути в плане, продольном профиле и по уровню при его позиционировании;
- возможности систем крепления.

В зависимости от конструкции безбалластного верхнего строения пути различают три основных способа его построения:

- метод «снизу-вверх» (необходим строгий контроль строительных допусков при размещении отдельных конструктивных подсистем);
- метод «сверху-вниз» (имеет большую точность построения и допускает большие строительные допуски конструктивных подсистем);
- промежуточный метод, комбинированный из двух вышеуказанных методов.

Безбалластные системы верхнего строения позволяют строить их одним или несколькими из этих методов.

3.4. Контроль вибрации безбалластного железнодорожного пути

Вертикальная жесткость конструкции верхнего строения железнодорожного пути является определяющей для величины колебаний пути (соответственно, для его амортизации) и для комфортности катания.

Существуют различные варианты ограничения дорожных вибраций, такие как:

- улучшение состояния нижнего строения (эффективное решение на низких частотах);
- увеличение вертикальной жесткости плит за счет эксцентриковой арматуры (эффективное решение на высоких частотах);
- увеличение ширины контакта путевых плит;
- использование упругих компонентов на разных уровнях в системе;
- внедрение «масс-пружинных» систем.

Эластичность от дорожных компонентов

Фактическая жесткость, соответственно, модуль упругости железнодорожного пути формируется суммой жесткостей его составных компонентов и отражает его способность сопротивляться деформациям под нагрузкой. Упругие компоненты (упругие клеммы, упругие прокладки – под рельсами, под опорными подкладками в креплениях, в «чехлах» блок-шпал, под шпалами) играют важную роль в распределении нагрузки и поглощении вибраций и в значительной степени выполняют функции как балласта в балластном верхнем строении.

Эластичность от несущей конструкции (путь на «плавающей» плите)

При планировании железнодорожного транспорта вблизи общественных зданий (залы, театры, музеи, больницы) в обязательном порядке должны быть приняты меры по виброизоляции пути от окружающей среды для удовлетворения требований к вибрациям зданий, при которых они могут выполнять свои функции нормально.

Для уменьшения излучения вибрации и структурного шума, а также для распределения сосредоточенной нагрузки, под плиты и по их бокам может быть уложен эластичный слой. Это создает систему «масса-пружина», где «масса» представляет плиту, а «пружина» – эластомерный компонент. Чем глубже частота вибрации, которую нужно понизить, тем больше требуется масса бетонного слоя. Основным принципом проектирования виброизоляции является снижение собственной частоты системы за счет увеличения толщины плиты или использования специальных бетонов высокой плотности.

На следующем рисунке показаны способы поддержки плит (сборные и монолитные) в разных типах конструкциях безбалластного верхнего строения пути.

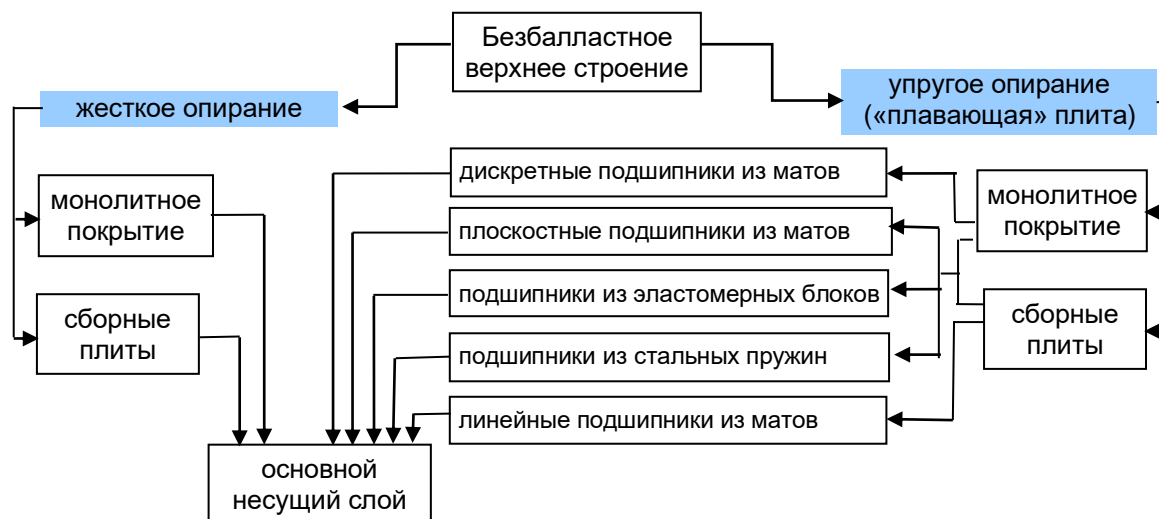


Рисунок 4. Способы поддержки плит в безбалластном верхнем строении пути

Когда путь на «плавающей» плите, плита поднимается на упругих опорах (подшипниках) на высоту 50-60 мм. Меньшая собственная частота конструкции, помимо снижения вибраций, также приводит к достижимому ослаблению структурного шума до 25-30 дБ. В следующей таблице отражены особенности безбалластных систем с «плавающей» плитой.

Таблица 8. Безбалластный путь на «плавающей» плите

Система «масса-пружина»	Особенности
<p>дискретные подшипники из матов</p>  <p>линейные подшипники из матов</p>  <p>плоскостные подшипники из матов</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ предпочтительнее для монолитного покрытия (которое после затвердевания бетона поднимают с помощью специальных домкратов) или для покрытия с бетонным лотком ▪ опоры вставляются через отверстия под покрытие ▪ достижение собственных частот в диапазоне 5-12 Гц ▪ можно комбинировать с боковыми эластичными опорами ▪ предпочтительнее для сборных плит ▪ достижение собственных частот в диапазоне 8-15 Гц ▪ можно комбинировать с боковыми эластичными опорами ▪ используется для монолитных покрытий и сборных плит ▪ достижение собственных частот в диапазоне 14-25 Гц
<p>подшипники из эластомерных блоков</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ используется для монолитных покрытий и сборных плит ▪ кольцевые блоки вставляются под сборную плиту ▪ блоки с кожухами встраиваются при заливке монолитного покрытия ▪ достижение собственных частот в диапазоне 7-15 Гц

Система «масса-пружина»	Особенности
<p>подшипники из стальных пружин</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ используется для монолитных покрытий и сборных плит ▪ виброизоляторы вставляются через боковые зазоры в плиту или под нее ▪ кожухи встраиваются при заливке покрытия, а пружины (с подъемными функциями) устанавливаются и активируются позже ▪ предпочтительнее на железнодорожных сооружениях (стрелочные переводы, мосты, тоннели) или вблизи зданий с повышенными требованиями к снижению уровня шума и вибрации ▪ достижение собственных частот в диапазоне 3-9 Гц

3.5. Контроль шума безбалластного железнодорожного пути

Уровень шума необходимо контролировать при проектировании и эксплуатации железной дороги.

В зависимости от основного источника шума существуют различные варианты снижения его излучения и передачи, такие как:

- шлифование головки рельса (снижение шума до 12 дБ при обычном шлифовании и до 4 дБ при специальном акустическом шлифовании);
- использование лубрикаторов для смазывания рельсов в горизонтальных кривых с малыми радиусами;
- работа подвижного состава с тормозами не из серого чугуна (снижение шума до 10 дБ); эксплуатация подвижного состава с конструктивными изменениями колес или с колесами, покрытыми демпферами (снижение шума до 7 дБ);
- использование травяных безбалластных систем в городских условиях;
- укладка финишного верхнего слоя монолитного покрытия из акустического бетона;
- установка креплений с меньшей жесткостью;
- использование упругих компонентов на разных уровнях системы – под рельсами, под опорными подкладками в креплениях, в «чехлах» блок-шпал, под шпалами;
- использование системы верхнего строения со встроенными рельсами;
- внедрение «масс-пружинных» систем (снижение шума до 30 дБ);
- внедрение систем шумоподавления (снижение шума до 20 дБ).

Системы шумоподавления

При выборе систем шумоподавления требуется тщательный отбор на основе расчетов и моделирования для каждого конкретного случая, чтобы доказать эффективность соответствующей системы уже на этапе проектирования. Большинство систем являются дорогостоящими решениями, которые окупятся только в том случае, если они будут выполнять те функции, для которых предназначены.

Проектирование систем шумоподавления оправдано при разнице между общим уровнем шума и значением шума железнодорожного движения (определяемым путем измерения или прогнозирования) менее 10 дБ. Большая разница означает, что внедрение таких систем окажет минимальное влияние на шумовое загрязнение окружающей среды. Применение систем шумоподавления целесообразно в следующих случаях:

- на железнодорожных путях с интенсивным движением;
- на железнодорожных мостах в населенных пунктах;
- в районах железнодорожных вокзалов и автобусных остановок;
- в железнодорожных тоннелях большой протяженности или возле туннельных порталов;

- в населенных пунктах для охраны жилых домов, крупных спортивных сооружений, парков, больниц, санаториев и других сооружений, предполагающих большое скопление людей или предъявляющих повышенные требования к шумоизоляции.

Решения для систем шумоподавления направлены в двух основных направлениях:

- использование компонентов из шумопоглощающих материалов (демпферы, панели, маты, травяные покрытия, обделки) в верхнее или нижнее строение железнодорожного пути;
- размещение шумозащитных экранов вдоль пути (барьеры, насыпи, растительность) или над него (тоннели).

4. Нижнее строение

4.1. Земляное полотно

Земляное основание

Земляное основание должно быть способно передавать вертикальные и горизонтальные нагрузки от верхнего строения к подпочвенному слою, не разрушаясь и не получая при этом недопустимых деформаций. Для нормальной эксплуатации железной дороги необходимо, чтобы остаточная деформация основания была почти полностью завершена до укладки безбалластного верхнего строения пути.

При проектировании безбалластного железнодорожного пути надо знать следующие параметры земляного основания: глубину, толщину, тип и последовательность залегания отдельных пластов; несущую способность и модуль упругости; содержание воды; уровень подпочвенных вод, морозоустойчивость и глубину промерзания. Модуль деформации под защитным слоем не должен быть меньше 60 Н/мм^2 для новостроек и 45 Н/мм^2 для реконструкций.

Защитный слой от промерзания

Минимальный модуль деформации верхней поверхности защитного слоя рекомендуется 120 Н/мм^2 для новостроек и 100 Н/мм^2 для реконструкций.

Дренажные сооружения

Безбалластный путь должен обеспечивать водоотвод с основной площадки, а также от основания земляного полотна. Земляное полотно, как на горизонтальных кривых, так и на прямолинейных участках следует проектировать с поперечным уклоном $2,5 \%$ соответственно к продольным дренажным сооружениям в выемках или к откосам насыпей.

Устройство безбалластного пути не рекомендуется на участках, подверженных оползневым процессам, при наличии подземных выработок, на затопляемых территориях с мощными органическими отложениями. Рекомендуется строить безбалластный путь на участках, где уровень грунтовой воды постоянно находится на глубине более $1,5 \text{ м}$ от проектной отметки головки рельса.

4.2. Искусственные сооружения нижнего строения

Железнодорожные мосты

Железнодорожные мосты и безбалластные системы верхнего строения пути влияют друг на друга. Их взаимодействие необходимо учитывать при проектировании обеих конструкций. Есть два варианта. В первом варианте проектируется комбинированная конструкция (интегральная конструкция) мост – верхнее строение. Во втором варианте, когда мост и верхнее строение проектируются отдельно, необходимо проверить, выполняются ли требования системы верхнего строения в соответствующей конструкции моста. При обнаружении несоответствия меняют одну из двух конструкций. Также необходимо проводить проверки на подъем рельсовых опор в результате деформаций моста.

Длительные деформации проезжей части моста после устройства верхнего строения (например, от постоянной нагрузки, от сезонных температур, от ползучести и высыхания) необходимо учитывать при проектировании системы верхнего строения пути при выполнении условия: $f/L \geq 1/5000$, где f – деформация, L – длина деформации.

Деформации моста от нагрузки подвижным составом или от воздействия окружающей среды учитываются при проектировании системы верхнего строения пути в следующих случаях:

- угол поворота между двумя соседними частями проезжей части моста превышает $1/1000$ над промежуточными опорами или $2/1000$ у концевых устоев;
- при больших боковых смещениях между соседними частями проезжей части моста над промежуточными опорами или между проезжей частью и концевыми устоями;
- при больших вертикальных деформациях в местах деформационного шва моста;
- для безбалластных систем со сборными элементами на монолитном покрытии при деформациях от временной нагрузки $f/L \geq 1/10600$ – для двухпутной железной дороги или $f/L \geq 1/6400$ – для однопутной железной дороги.

Подходящими конструкциями безбалластного верхнего строения на железнодорожных мостах по меньшей конструктивной высоте, соответственно меньшему весу или меньшей жесткости являются:

- рельсы на брусках, опирающихся на балки стального моста (в случае моста без путевой плиты);
- рельсы на шпалах, встроенных в бетонное покрытие;
- рельсы, непосредственно прикрепленные скреплениями к бетонному покрытию;
- рельсы в продольных рельсовых каналах, интегрированных в конструкцию моста или наложенных на нее.

Железнодорожные туннели

Выбор безбалластной системы верхнего строения пути в железнодорожном тоннеле основывается на габарите тоннеля, требованиях по безопасности эксплуатации и содержанию верхнего строения пути. В этих сооружениях используется большинство систем, так как их основание достаточно жесткое и устойчивое.

Конструкция верхнего строения не должна влиять на аэродинамическое воздействие проходящего подвижного состава, в том числе на въезде в туннель.

При определении размеров верхнего строения необходимо учитывать различные смещения между двумя соседними тоннельными обделками в результате изменения температуры или высыхания.

Обеспечение дренажа в тоннеле, а также доступа транспортных средств в случае стихийных бедствий и аварий имеет важное значение для эксплуатации железнодорожного пути.

Подходящими конструкциями безбалластного верхнего строения пути в железнодорожных туннелях, в соответствии с меньшей конструктивной высотой, соответственно меньшими размерами сооружений, являются:

- рельсы на изолированных шпалах, встроенных в монолитное покрытие;
- рельсы на шпалах, опирающихся на монолитном асфальтобетонном покрытии;
- рельсы, непосредственно прикрепленные скреплениями к бетонному покрытию;
- рельсы, встроенные в продольных рельсовых каналах.

5. Переходные участки

Переходные зоны – это участки железной дороги, где ее жесткость изменяется из-за различных упругих свойств нижнего или верхнего строения пути. Они влияют на безопасность и комфорт катания, а также на деформацию верхнего строения.

Переходными зонами в нижнем строении являются:

- между насыпью и искусственным сооружением (железнодорожным тоннелем,

железнодорожным мостом, водопропускной трубой);

– между участками земляного основания с разными свойствами грунтовых материалов.

Переходными зонами в верхнем строении являются:

– между безбалластным и балластным верхним строением железнодорожного пути;

– между разными типами безбалластного верхнего строения пути;

– между усиленным и неармированным участком безбалластного верхнего строения

пути;

– между железной дорогой и стрелочным переводом.

На таких переходных участках необходимо принимать меры по плавному изменению свойств железнодорожного пути по его деформациям и жесткости. Ниже приведены некоторые из возможных решений:

– укладка двух вспомогательных рельсов длиной 15-25 м ($\approx 1/3$ их длины в пути без балласта и $2/3$ в пути с балластом); контррельсы на железнодорожных мостах выполняют также функции вспомогательных рельсов;

– создание системы «масса-пружина» в безбалластном верхнем строении (путь на «плавающей» плите);

– использование эластичных прокладок разной жесткости под рельсы, опорные подкладки, опорные пластины, шпалы;

– использование эластичных матов под балластом;

– стабилизация балласта связующими или клеями;

– изменение длины/массы шпал или расстояния между ними;

– установка переходной плиты в балластном верхнем строении;

– удлинение основного несущего слоя от безбалластного верхнего строения на определенную длину ниже балласта в балластном верхнем строении;

– использование геостолбов (каменные столбы, бетонные сваи, песчаные и деревянные столбы) для стабилизации и укрепления слабого основания.

Каждая переходная зона индивидуальна и предназначена для конкретных условий. Рекомендуемая минимальная длина каждой зоны с определенной жесткостью рассчитывается по формуле $V_{[м/с]} \times 0,5_{[с]}$. Переходные участки, для которых не приняты надлежащие проектные решения, приводят к необходимости больших усилий по их обслуживанию.