

ГАЖК «УЗБЕКИСТОН ТЕМИР ЙУЛЛАРИ»

**ТАШКЕНТСКИЙ ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА**

На правах рукописи

Аликперов Самед

**ОПТИМИЗАЦИЯ БАЛЛАСТНОГО СЛОЯ НА
ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ЛИНИЯХ
ГАЖК «УЗБЕКИСТОН ТЕМИР ЙУЛЛАРИ»**

МАГИСТРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени магистра по специальности М 580302

“Строительство железных дорог, путь и путевое хозяйство”

Научный руководитель

к.т.н., доцент Овчинников А.Н.

ТАШКЕНТ 2013

ВВЕДЕНИЕ

К высокоскоростным железным дорогам относятся линии, на которых осуществляется движение специализированного подвижного состава со скоростями более 200 км/ч с заданным уровнем безопасности и комфорта, что обеспечивается принятыми проектными параметрами, инженерно-техническими решениями, должным строительно-технологическим исполнением сооружений и инфраструктуры, а также эффективной системой контроля, технического обслуживания и ремонта подвижного состава и стационарных устройств.

Уже не одно десятилетие высокоскоростные линии являются, в сущности, «локомотивами» технического перевооружения железных дорог развитых стран. С учетом неоспоримых преимуществ высокоскоростных магистралей (ВСМ) решения о сооружении таких линий приняты в качестве государственных программ во многих странах. К примеру, в Европе эти планы вышли на межгосударственный уровень. Параметры высокоскоростных железных дорог мира приведены в табл. 1

Понятие «высокоскоростная железная дорога» утвердилось в 60–70-х гг. XX в. после ввода в 1964 г. в эксплуатацию первой специализированной железнодорожной магистрали Токио–Осака в Японии. С учетом реконструированных линий полигон обращения скоростных и высокоскоростных поездов превышает 22 тыс. км.

Еще в середине XX столетия к категории "высокоскоростного" на железнодорожном транспорте относили движение со скоростями 140 ... 160 км/ч. За последние 50 лет граница высокоскоростного движения поднялась к значению 200 км/ч. Эта величина, принятая в настоящее время во многих странах, в значительной мере носит конвенциональный и исторически сложившийся характер.

Таблица 1- Параметры высокоскоростных железных дорог

№№ п/п	Наименование показателей	Ед. изм.	Показатели							
			ФРГ	Япония	Италия	Испания	Франция	Франция	Россия СНиП 32-01-95 СТНЦ 01-95	СТО РЖД 1.07.001-2007 Россия
1	2	3	4	5	6	7	8	9	11	12
1.	Ширина колеи	мм	1435	1435	1435	1435	1435	1435	1520	1520
2.	Проектная скорость	км/ч	250	250,220, 240	250	250	270	300	200	250
6.	Минимальный радиус кривых	м	7000 - 5700	4000	3000	4000	4000	6000	4000-3000	5000-3000
7.	Исключительная величина радиуса	м	5100	-	-	3200	3200	4000	2500	2000
9.	Ширина земляного полотна	м	13.5-13.7	11.6	11.0	12.7-13.3	11.35-13.0	13.6	11.7	11.7
10.	Марка стрелочных переводов		1/18,5	1/18	1/18,2	-	1/33	1/33	1/11	1/11
11.	Тип рельс	кг/м	60,0	60,8	60,0	60,0	60,0	60,0	Р-75, Р-65	Р-65
12.	Число шпал на 1 км -	шт	1600	-	-	-	1722	-	2000	1840
13.	Длина шпал / тип	м	2.6 / ж.б.	2.6 / ж.б.	2.3 / ж.б.	2.6 / ж.б.	2.6 / ж.б.	2.30 / ж.б.	2.7 / ж.б.	2.7 / ж.б.
14.	Плечо балл.призмы	м	0.5	0.5	-	-	-	-	0.45	0.45
15.	Толщина балласта, - щебень -балластная подушка	см	<u>30</u> 15÷30	-	35 -	<u>30</u> 25	35	30	<u>35</u> 20	<u>40</u> 20
16.	Ширина балластной призмы	м	3.6	3.6	3.3	-	3.6	3.3	3.85	3.85

Наибольшая скорость движения по высокоскоростной железной дороге была достигнута во Франции 3.04.2007 г. и составила 574,8 км/ч (рис. 1).



Рис. 1 Поезд TGV, установивший рекорд скорости 574, 8 км/ч

В мире при общем сокращении протяженности железных дорог во второй половине XX столетия неуклонно растут размеры пассажирских перевозок по высокоскоростным магистралям, суммарная длина которых приблизилась к 7 тыс. км, в том числе 3750 км в Европе. Высокоскоростные поезда обслуживают также полигон протяженностью около 20 тыс. км обычных железнодорожных линий, реконструированных под скоростное движение. Сегодня самые обширные сети высокоскоростного транспорта существуют в Японии и во Франции. При этом вновь сооружаемые линии уже проектируют на максимальную расчетную скорость движения – 350 км/ч.

Сегодня сложилась следующая градация скоростей в пассажирском движении:

- до 140 ... 160 км/ч - движение поездов на обычных железных дорогах;
- до 200 км/ч - скоростное движение поездов, как правило, на реконструированных линиях;
- свыше 200 км/ч - высокоскоростное движение на специально построенных ВСМ.

Для скоростей движения выше 200 км/ч требуются иные технические нормы и более высокая, чем на обычных линиях, оснащенность стационарных устройств, инфраструктуры и подвижного состава, что приводит к росту капитальных затрат на строительство, стоимости подвижного состава и более высоким эксплуатационным расходам, что перекрывается высоким экономическим и социальным эффектом при массовых пассажирских перевозках.

Концепция развития скоростного и высокоскоростного движения на железных дорогах Республики Узбекистан является составной частью транспортной политики страны, стратегической целью которой является обеспечение посредством опережающего развития транспорта ускоренного и стабильного развития национальной экономики, роста ее конкурентоспособности, повышения благосостояния и качества жизни населения каждого региона.

В рамках выполнения программы по организации высокоскоростного движения пассажирских поездов в Республике Узбекистан, а также в соответствии с распоряжением Кабинета Министров № 615 от 17.11.2009 г. были определены мероприятия по организации высокоскоростного движения на магистральных линиях ГАЖК «Узбекистон темир йуллари», которые включают следующие этапы:

- первый этап (2010 – 2015 годы) связан с подготовкой и внедрением высокоскоростного движения на направлении ст. Ташкент – ст. Самарканд /3/, (скорости движения поездов – до 250 км/ч). Для этого у испанской компании Patentes TALGO были закуплены два электропоезда Talgo AVE серии 250 в составе четырех головных и восемнадцати пассажирских вагонов. Их ввод в эксплуатацию запланирован на III квартал 2011 г. Протяженность маршрута по железной дороге составляет 356 км (рис. 2).



Рис. 2 Первый этап внедрения высокоскоростного движения на ГАЖК «Узбекистон темир йуллари»

- второй этап (2016 – 2020 годы) определен расширением зон эксплуатации скоростного движения на направлении железных дорог Ташкент – Карши. В этот период завершатся работы по электрификации железных дорог на участке Мараканд – Карши. Предусматривается организация движения скоростных пассажирских поездов со скоростью до 160 км/час по существующему пути, который должен быть предварительно реконструирован в соответствии с техническими требованиями.

- третий этап (2021 – 2025 годы). На данном этапе сфера скоростного и высокоскоростного движения будет расширена за счет направлений:

высокоскоростное движение на участке Ташкент – Бухара с электрификацией участка Мараканд – Навои – Бухара, скоростное движение

– на направлениях пригородного движения Ташкент – Чинар и Ташкент – Ангрэн.

- четвертый этап (до 2035 года): развитие скоростного движения на полигонах Ташкент – Навои – Ургенч (Нукус), Ташкент – Андижан.

В настоящее время наметилось несколько принципиально отличных подходов к созданию железнодорожного пути для ВСМ:

1. Японская и испанская концепции предусматривают сооружение ВСМ, путевая (рельсовая) система которых полностью изолирована от остальной железнодорожной сети страны.
2. Французская концепция предполагает строительство новых ВСМ, входящих в общий состав сети, но предназначенных исключительно для высокоскоростного подвижного состава.
3. Российская, итальянская и германская концепции заключаются в комплексной реконструкции железнодорожных направлений, при которой осуществляется строительство высокоскоростных участков и модернизация существующих линий, спрямление главных путей с целью организации скоростного и высокоскоростного движения.

При организации высокоскоростного железнодорожного движения в этих странах проводилась комплексная модернизация железнодорожных участков. В конечном итоге это позволило получить железнодорожные магистрали с тремя, четырьмя и иногда пятью путями, как правило, безличными; по некоторым из них на значительном протяжении можно осуществлять движение поездов со скоростями более 200 км/ч.

Система внедрения скоростного и высокоскоростного движения на ГАЖК «Узбекистон темир йуллари» ближе к третьей из перечисленных моделей (строительство высокоскоростных участков и модернизация существующих линий).

При этом важнейшим вопросом обеспечения безопасности движения скоростных и высокоскоростных поездов является выбор вида подшпального основания (балластный слой, безбалластное рамное или плитное основание, рис. 3 и 4, применение защитных слоев, геотекстиля и георешеток, рис. 5 и пр.), а также и расчет конструкции балластной призмы и защитного слоя.



Рис. 3 Балластная конструкция верхнего строения пути на ГАЖК
«Узбекистон темир йуллари»



Рис. 4 Безбалластная конструкция железнодорожного пути на
ОАО «Российские железные дороги»



Рис. 5 Применение геотекстиля, георешеток и защитных слоев

Ниже приведен опыт применения различных видов подшпального основания на зарубежных высокоскоростных железных дорогах.

В Японии на первой в мире ВСМ Токио-Осака был уложен бесстыковой путь из рельсов 53,3 кг/пог. м (позже замененных на рельсы массой 60 кг/пог.м) на железобетонных шпалах на щебеночном балласте и на земляном полотне. Большие затраты на содержание пути традиционной конструкции при высоких скоростях движения предопределили дальнейший выбор японских специалистов - использование жестких (плитных) оснований вместо балластной призмы и практически полный отказ от земляного полотна на новых линиях ВСМ.

Во Франции после анализа японского опыта была принята конструкция главных путей ВСМ, предусматривающая укладку бесстыкового пути из рельсов массой 60,8 кг/пог.м на шпально-балластном основании. При этом учитывались два решающих достоинства балластного варианта: значительно меньшая цена конструкции и большой запас устойчивости пути против поперечного сдвига. Принимались во внимание и недостатки плитного основания на земляном полотне, которые проявились в Японии: дороговизна

такой конструкции, трудности устранения геометрических отклонений пути, отсутствие отлаженной технологии укладки пути и пр.

Во Франции многолетний опыт эксплуатации французской ВСМ Париж-Лион подтвердил высокие эксплуатационные качества и надежность пути на балласте. Он уложен и на других ВСМ Франции, предназначенных для движения поездов со скоростями до 350 км/ч.

В Германии на первых линиях ВСМ предпочтение отдавалось пути на земляном полотне с балластной призмой. Однако позднее, когда возникла проблема строительства спрямляющих ходов с большим числом тоннелей и других искусственных сооружений, были проведены исследования и испытания пути на жестком основании. В результате было признано целесообразным применение верхнего строения японского типа с некоторыми коррективами немецких специалистов, принятыми в соответствии с местными условиями.

В Испании на первой испанской ВСМ Мадрид-Севилья применена конструкция пути, близкая к французской (путь на балласте).

В Российской Федерации применяется также балластная конструкция железнодорожного пути скоростных и высокоскоростных линий. В опытном порядке уложен путь на безбалластном плитном основании (рис. 4). Таким образом, разные страны принимают свою концепцию применения подшпального основания на скоростных и высокоскоростных линиях и определяют параметры конструкции подшпального основания.

В связи с отмеченным настоящая диссертация посвящена изучению вопроса разработки оптимальной конструкции балластной призмы на участках ГАЖК «Узбекистон темир йуллари», где обращаются высокоскоростные («Афрасиаб» - до 250 км/ч) и скоростные поезда («Афрасиаб» и «Узбекистан» - 160-200 км/ч) на направлении Ташкент - Самарканд.

ГЛАВА 1. ПОСТАНОВКА ВОПРОСА. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ.

1.1 Назначение балластного слоя

Балластный слой - элемент верхнего строения пути из балласта - минерального сыпучего материала, укладываемого на основную площадку земляного полотна. Он обеспечивает вертикальную и горизонтальную устойчивость пути при воздействии динамических нагрузок от подвижного состава и изменяющихся температур. От конструкции и качества балластного слоя зависят общее состояние железнодорожного пути, уровень допускаемых скоростей движения поездов, сроки службы всех элементов верхнего строения (рельсов, скреплений, шпал), затраты на текущее содержание пути и вся система его ремонтов.

Балластный слой:

- воспринимает давление от шпал (брусьев на стрелочных переводах);
- распределяет давление от подвижного состава практически равномерно на возможно большую площадь земляного полотна;
- обеспечивает стабильное проектное положение рельсошпальной решетки в процессе эксплуатации и возможность выправки пути в профиле и плане (путем подбивки, рихтовки балластного слоя) для компенсации неизбежных остаточных деформаций;
- отводит воду от балластной призмы и с основной площадки земляного полотна, препятствует переувлажнению и пересыханию верхнего слоя грунта полотна, потере им несущей способности (весной) и пучению ((зимой);
- участвует в формировании оптимальной упругости подрельсового основания, особенно при железобетонных шпалах.

Балласт должен быть твердым и прочным (износостойким) и одновременно упругим (амортизационная способность), достаточно крупным

(стабильность положения рельсошпальной решетки) и одновременно мелким (ровная опорная поверхность под шпалами); иметь зерна формы, близкой к кубической (увеличивается износостойкость зерен и распределяющая способность призмы, но одновременно снижается ее общая несущая способность - призма «расползается» под нагрузкой); содержать зерна вытянутой формы (лещадные или игловатые), прошивающие и расклинивающие балластный слой (повышается устойчивость призмы), но одновременно имеющие повышенную ломкость под нагрузкой (увеличиваются осадки); обладать низкой электропроводностью, обеспечивающей нормальную работу рельсовых цепей автоблокировки вне зависимости от погодных условий.

Щебеночный балласт из природного камня получают дроблением горных пород до фракций 25-60 мм. Он может изготавливаться из скальных пород 100% дробленых частиц), а также из валунов и гравия (не менее 50% дробленых зерен по массе). Очертания балластной призмы в прямом и кривом участке пути приведены на рис. 6.

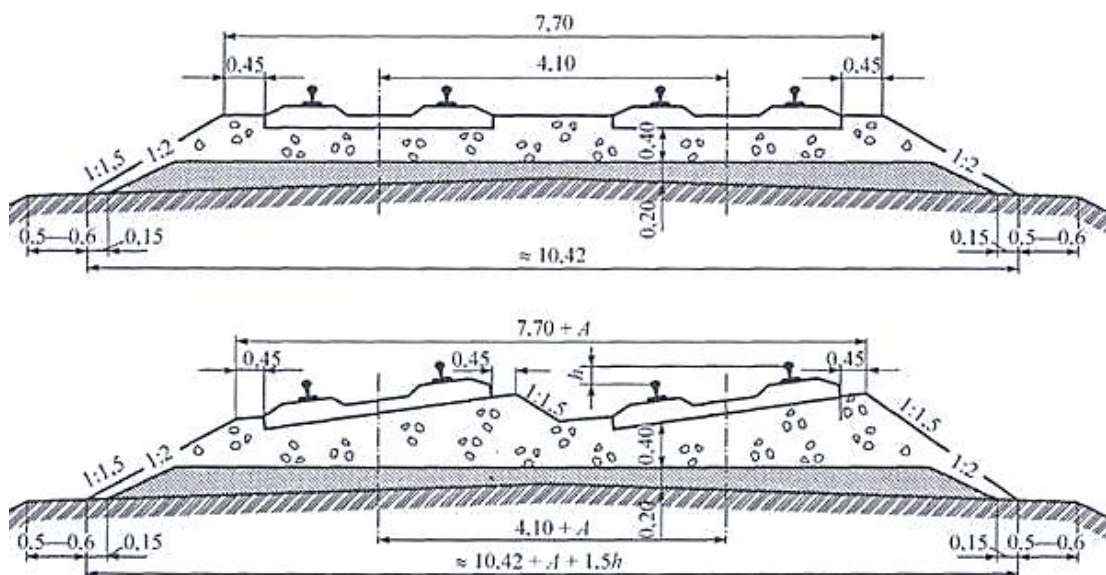


Рис. 6 Конструкция балластной призмы с железобетонными шпалами

Лучшим из современных балластных материалов является щебеночный балласт, полученный из прочных магматических пород (граниты, габбро, диориты, сиениты, глубинные породы; диабазы, базальты, излившиеся породы). Щебеночная призма из такого балласта обладает долговечностью, высокой сопротивляемостью осадкам шпал и их смещениям в горизонтальной плоскости, хорошими дренирующими, упругими и электроизоляционными свойствами. В то же время применение на участках эксплуатируемых железнодорожных линий призм из щебня низкого качества из слабых осадочных пород (известняки, доломиты, песчаники), особенно при железобетонных шпалах, неэффективно из-за быстрого износа и измельчения такого балласта, потери им дренирующих свойств, образования выплесков.

Щебеночный балласт оказывает большое влияние на качество и прочность железнодорожного пути. Верхнее строение балластного пути имеет конструкцию, которую можно назвать плавающей.

Если параметры рельсов, креплений и шпал выбраны правильно, то щебеночный балласт является наиболее слабым звеном в этой системе железнодорожного пути.

Балластное основание должно быть рассчитано таким образом, чтобы нагрузка от подвижного состава, передаваемая рельсами через шпалы на щебень, распределялась как можно равномернее в нижнем строении пути.

Этим требованиям в лучшей степени удовлетворяют такие балластные материалы, как щебень из твердых каменных пород, а также гравий и гравийно-песчаная смесь.

Для определения правильной конструкции балластной призмы на скоростных и высокоскоростных линиях ГАЖК «Узбекистон темир йуллари» необходимо понимать принцип работы балластного слоя под нагрузкой (раздел 1.2).

1.2 Работа балластного слоя под нагрузкой

При передаче нагрузок от подвижного состава через элементы верхнего строения пути на основную площадку земляного полотна балластный слой обеспечивает ее распределение на большую площадь, а значит, и снижение напряжений. Расчетная схема распределения напряжений от поездной нагрузки показана на рис. 7.

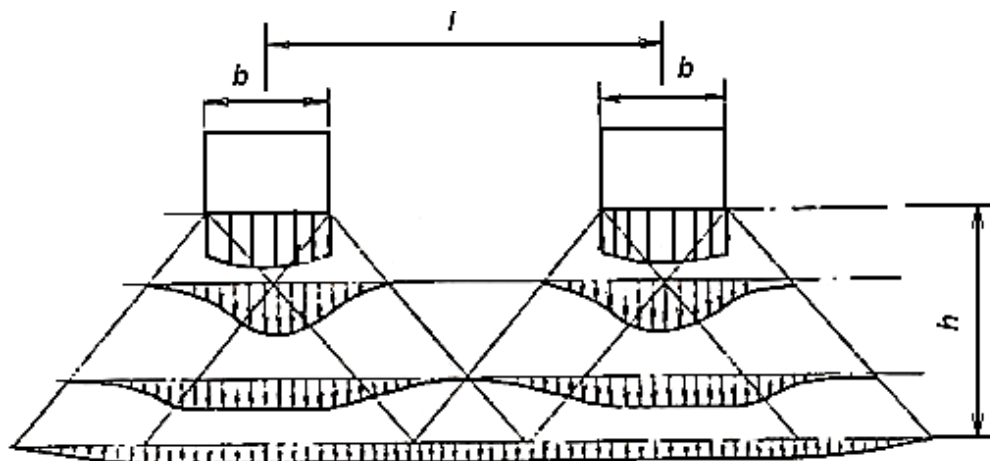


Рис. 7 Перераспределение напряжений в балластном слое

Вопросам конструкции и прочности балластной призмы уделялось большое внимание. В наибольшей степени по этому вопросу известны работы Г.М. Шахунянца, М.Ф. Вериги, Крейнис В.О., Е.С. Варызгина, С.Н. Попова, А.М. Голованчикова, А.Н. Марготьева, В.В. Соловьева и др. Особое внимание балластному слою было уделено в 50-70 годы XX в. В последующем с переходом на щебеночный балласт внимание к прочности балластной призмы практически не уделялось и только сейчас при возможности пропуска на ГАЖК «Узбекистон темир йуллари» поездов со скоростями до 250 т/ось необходимо к этому вопросу вернуться.

Под воздействием поездной нагрузки в балластном слое постоянно накапливаются остаточные деформации (осадки). В зависимости от этого работу балластного слоя можно условно разделить на три периода.

Первый (начальный) период работы балластного слоя после его устройства характеризуется наиболее интенсивным накоплением осадок (период относительной стабилизации балластного слоя). Основная доля осадок происходит за счет уменьшения объема пустот, что связано с изменением взаимного расположения зерен и околom их острых граней. При этом отсутствует выпирание зерен как в шпальные ящики, так и за торцы шпал. Чтобы сократить срок и размер осадки в этот период, необходимо качественно производить уплотнение балласта под шпалой, а также на откосах балластной призмы и в шпальных ящиках. Интенсивность накопления осадок за счет окола зерен зависит от контактной прочности горной породы, из которой приготовлен щебень. Так, контактная прочность гранита составляет 1120-4000 МПа, прочность известняка 290-3570 МПа. Под воздействием вибрации при движении поездов контактирующие грани зерен слабой прочности округляются, истираются, что приводит к дополнительным осадкам и снижению несущей способности балластного слоя. Особенно сильно истираются зерна слабых пород, смешанных с зернами прочных пород. Поэтому смешение щебня из разных горных пород не допускается.

Во второй период (период нормальной эксплуатации) накопление остаточных деформаций значительно уменьшается. Работа балласта происходит в упругой стадии, т. е. после снятия поездной нагрузки балласт возвращается в прежнее состояние. Незначительные деформации в этот период происходят за счет выпирания зерен щебня в шпальные ящики и за торцы шпал вследствие нарушения состояния предельного равновесия и частично за счет вдавливания зерен щебня в песчаную подушку. Это наблюдается в основном в зоне стыка при стыковом пути, где имеют место значительные динамические нагрузки, а также при пропуске подвижного состава с большими осевыми нагрузками. Деформации зависят и от фракции балласта; при небольшой крупности зерен и их гладкой поверхности (например, песок), угол внутреннего трения и сила зацепления небольшие. Поэтому такой балласт неустойчив, его зерна начинают перемещаться даже при незначительных вибрационных

нагрузках (песок течет из-под шпалы), "вследствие чего предельно допустимые напряжения уменьшаются. С увеличением крупности зерен повышается несущая способность балластного слоя. При фракции щебня 25-60 мм обеспечивается наиболее оптимальная прочность балластного материала. Увеличение крупности зерен щебня (фракция 25-70 мм) нежелательно, так как это затрудняет выправку пути, а неравномерное опирание шпалы или рамного блока на балласт ведет к выходу их из строя. Рельсошпальная решетка, уложенная на щебень, зерна которого имеют остроугольную поверхность, обладает большей устойчивостью, чем решетка, уложенная на щебень из валунов и гальки, зерна которого имеют частично гладкую поверхность и, следовательно, меньшие значения трения и сцепления.

С проходящих поездов, особенно перевозящих сыпучие грузы, в балласт попадают загрязнители, которые значительно снижают его характеристики. Предельно загрязненный балласт уже не может упруго смягчать удары колес подвижного состава о рельсы, увеличивается его неравнопрочность.

Наступает третий период работы балластного слоя. Остаточные деформации вновь начинают резко увеличиваться за счет выплесков загрязненного балласта из-под шпал, что приводит к изменению положения рельсошпальной решетки. Такое состояние балласта допускать нельзя, необходимо ремонтировать путь с очисткой или заменой балласта.

При этом важно учитывать влияние скоростей движения поездов на формирование напряжений в элементах верхнего строения пути.

Увеличение скоростей движения поездов приводит к росту напряжений в балластном слое и на основной площадке земляного полотна. Однако приращение напряжений для одного и того же диапазона скоростей движения, по мере роста скоростей движения снижается. По данным ВНИИЖТа наибольшее приращение напряжений наблюдается в интервалах повышения скоростей движения 20-80 км/ч, где оно составляет 19,4%. В

интервале 140-200 км/ч наблюдаются более медленный (почти в два раза) по сравнению с интервалом 20-80 км/ч рост напряжений на основной площадке и снижение этих величин в теле насыпи на глубинах >1 м. Это связано как с относительным снижением коэффициента вертикальной динамики скоростного подвижного состава (например, для электропоезда ЭР-200 в 7,5 раза в интервале скоростей 140-200 км/ч по сравнению 80—140 км/ч), так и с инерционными свойствами грунтовой массы насыпи, которая не успевает реагировать на кратковременные силовые нагрузки подвижного состава. Далее в земляном полотне реакция грунта на воздействия подвижного состава на разных глубинах оценивается динамическим коэффициентом, представляющим собой отношение напряжений на горизонтах,- при различных скоростях к статическим напряжениям на этом горизонте. Расчеты ВНИИЖТа показали, что чем выше скорость движения, т. е. чем быстрее перемещается поездная нагрузка через данное сечение пути, тем на меньшую глубину проникает ее влияние. При скоростях движения 150-200 км/ч на основной площадке динамический коэффициент составляет 1,41-1,62; на глубине 0,5 м он равен 1,18- 1,19. На глубинах $> 1,0$ м он даже менее 1 вследствие больших сил внутреннего сопротивления грунта.

Для поддержания традиционного железнодорожного пути на балласте в должном состоянии, соответствующем современным требованиям к качеству пути для интенсивного движения поездов, необходимы значительные инвестиции, сложные технические средства, большие затраты труда и высокая квалификация исполнителей. Предложены новые типы путевых структур, применение которых, как полагают, может упростить решение проблемы обслуживания пути.

Нарушения геометрии пути, выражающиеся, главным образом, в осадке балласта и земляного полотна, являются основным фактором, определяющим сроки и объемы путевых работ. При этом следует отметить, что именно балласт представляет собой основной компонент путевой структуры, так как от него

зависит способность пути воспринимать и оптимально распределять динамические нагрузки от движущегося подвижного состава. Кроме того, именно путем исправления балластной призмы можно восстанавливать параметры и несущую способность путевой структуры, особенно в случае ослабления основания пути.

Вместе с тем балластный слой чаще всего склонен к искажению заданных геометрических очертаний верхнего строения пути, главным образом в вертикальной плоскости, и в этом отношении он гораздо податливее подбалластного слоя или земляного полотна и в большей степени, чем они, подвержен осадке.

Механизм нарушения целостности балластного слоя можно вкратце охарактеризовать следующим образом. При проходе поезда на балласт воздействуют циклические нагрузки переменной направленности: когда колесная пара находится непосредственно над конкретной шпалой, нагрузка максимальной амплитуды направлена вниз, а когда над шпалой нет колесной пары, балласт в силу определенной упругости приподнимается вверх. Циклы знакопеременных нагрузок создают в балласте напряжения, достаточные, чтобы как изменить взаимное расположение частиц балласта, так и вызвать их разрушение.

Последствия осадки пути и иных нарушений его геометрии чаще всего устраняют путем подбивки балласта и выправки. Однако подбивка влечет за собой еще большее разрушение частиц балласта ввиду сильного механического воздействия на них, также связанного со знакопеременными нагрузками. Периодически повторяемые операции по подбивке, входящие в качестве неотъемлемой части в комплекс работ по обслуживанию верхнего строения пути, постепенно ведут к потере прочности и жесткости балластного слоя. Отрицательные последствия этого процесса наиболее явно сказываются, когда измельчение балластного материала достигает критической степени и балласт теряет не только механические свойства, но и способность должным образом

отводить воду с пути. На этой стадии балласт необходимо очищать или заменять, что требует большого объема путевых работ и обуславливает задержки движения поездов.

Для решения этой проблемы есть два пути: или улучшать характеристики балласта как такового в целях повышения срока его службы без утраты нужных свойств, или отказаться от пути на балласте в пользу безбалластного пути на жестком основании (рис. 4).

В Узбекистане на направлении Самарканд – Ташкент – Бухара в настоящее время принято целесообразным применение балластного пути на земляном полотне с использованием современной технологии уплотнения насыпей. Именно такая конструкция пути была применена на первом высокоскоростной линии в Узбекистане на направлении Ташкент – Самарканд (рис 8).



Рис. 8 Балластная конструкция пути на направлении Ташкент – Самарканд

Анализ первого опыта по организации высокоскоростного движения поездов выявил следующие вопросы, подлежащие изучению в условиях ГАЖК «Узбекистон темир йуллари»:

- уровень динамического воздействия на путь и земляное полотно от высокоскоростных поездов растет прямо пропорционально квадрату их скорости и с учетом высокочастотной вибрации вызывает резкий рост остаточных деформаций (в том числе интенсивное дробление балластного слоя, рис. 9) в пути и интенсивный износ подвижного состава;



Рис. 9 Дробление балластного слоя от вибровоздействия железобетонных шпал Ш1-1 со креплением КБ

- для обеспечения безопасности движения поездов необходима комплексная реконструкция балластной призмы, земляного полотна, усиление верхнего строения пути;

- внедрение системы диагностики, контроля состояния пути, механизированного текущего содержания пути и системы ремонтов и др.;

- при строительстве земляного полотна и верхнего строения пути необходимо добиться того, чтобы упругая осадка основной площадки под действием нагрузки не превышала 1,5-2 мм;

- при совмещенном движении грузовых и пассажирских поездов содержание пути в пределах норм и допусков на высокоскоростных участках вызывает значительные эксплуатационные расходы;

- движение грузовых и высокоскоростных пассажирских поездов на одной линии приводит к значительному съему грузовых поездов и, как следствие, значительным эксплуатационным затратам и др.;
- для пропуска скоростных и высокоскоростных поездов состояние пути должно соответствовать оценке «отлично»;
- необходимо установить конструкцию балластной призмы для конкретных эксплуатационных условий (тип подвижного состава, осевые нагрузки, скорости движения и пр.).

В связи с отмеченным для ГАЖК «Узбекистон темир йуллари» в настоящее время необходимо проанализировать требования различных нормативных документов и рассчитать оптимальные параметры балластной призмы для конкретных условий эксплуатации на скоростных и высокоскоростных линиях при обращении поездов «Афрасиаб» (160 - 250 км/ч) и «Узбекистан» (до 160 км/ч) на направлении Ташкент - Самарканд.

1.3 Требования нормативных документов к балластному слою высокоскоростных участков ГАЖК «УТЙ»

Материалы для балласта должны удовлетворять требованиям соответствующих государственных стандартов и действующих в Республике Узбекистан нормативных документов, в том числе:

1. ГОСТ 7392-2002. Межгосударственный стандарт. Щебень из плотных горных пород для балластного слоя железнодорожного пути. Технические условия.

ГОСТ 7392-2002 распространяется на щебень из плотных горных пород для балластного слоя железнодорожного пути — неорганический зернистый

сыпучий материал с номинальным размером зерен от 25 до 60 мм, получаемый дроблением изверженных горных пород с последующим рассевом продуктов дробления.

Ниже перечислены основные требования к щебню. Полные остатки на контрольных ситах должны соответствовать указанным в таблице 1.

Таблица 1

Размер отверстий контрольных сит, мм	70	60	40	25
Полный остаток на сите, % по массе	0	До 5	От 35 до 75	От 95 до 100

Марка щебня по истираемости должна быть И1, для которой потеря массы при испытании не должна быть более 25 %.

Марка щебня по сопротивлению удару должна быть У75, для которой показатель сопротивления удару должен быть более 75.

Содержание зерен слабых пород должно быть не более 5 % по массе.

В щебне не должно быть глины в комках, почвы растительного слоя, других органических и засоряющих примесей.

2. ВСН 448-Н. Ведомственные технические указания.

Инфраструктура высокоскоростной железнодорожной линии Ташкент – Самарканд. Общие технические требования. ГАЖК «УТЙ»

В ВСН приведены следующие требования к балластному слою высокоскоростных линий:

1. Балластная призма должна иметь плечо не менее 450 мм; крутизну откосов не более 1:1,5; толщину слоя балласта под подошвой шпал у концов со стороны междупутья не менее 400 мм. В кривых участках пути толщина слоя балласта под подошвой шпал у концов со стороны внутреннего рельса

должна быть не менее 400 mm, а со стороны наружного рельса она рассчитывается в зависимости от возвышения.

2. Поверхность балластной призмы должна быть на 10 mm ниже верха железобетонной шпалы в средней части.

3. Уклон на уровне подошвы балластной призмы должен составлять 0,04 в полевую сторону.

4. Толщина балластного слоя определяется по условию недопущения возникновения пластических деформаций оттаивающего глинистого грунта под вибродинамическим воздействием подвижной нагрузки и проверяется по условию недопущения морозного пучения.

5. В качестве необходимой толщины слоя балластных и дренирующих материалов принимается максимальное значение.

6. В местах, где по данным обследований определена недостаточная толщина балластных и дренирующих материалов, необходимо под балластной призмой устраивать защитный слой, отвечающий требованиям ГОСТ 25607-09.

7. Защитный слой выполняется из щебенисто-гравийно-песчаных смесей и при необходимости дополняется покрытиями из геотекстиля, пенополистирола, георешеток или геосеток. При устройстве защитного слоя необходимо выполнить срезку и замену грунтов на 0,1 m ниже залегания балластных деформаций.

8. Толщина защитного слоя назначается расчетом, исходя из выполнения требования обеспечения несущей способности нижележащих грунтов под действием нагрузки от подвижного состава и устранения пучения этих грунтов.

3. ВСН 450-Н Ведомственные технические указания по проектированию и строительству. Железные дороги колеи 1520 мм

В ВСН 450-Н приводятся следующие требования к защитным слоям:

1. Для земляного полотна из глинистых грунтов всех видов, кроме супесей, содержащих песчаные частицы размером от 2 до 0,05 мм более 50 % по массе, следует предусматривать усиление конструкции в зоне основной площадки: устройство под балластной призмой защитного слоя из дренирующего грунта или из дренирующего грунта в комбинации с геотекстильным материалом.

2. Толщина защитных слоев из дренирующего грунта без применения геотекстильных материалов в основании должна назначаться расчетом, но в зависимости от климатических условий не менее 0,8 м - для суглинков и глин, 0,5 м - для супесей.

4. ВСН. Ведомственные технические указания по проектированию новых железнодорожных линии колеи 1520 мм. ГАЖК «УТЙ»

1. Ширину балластной призмы поверху на прямых однопутных участках следует принимать при всех видах балласта, не менее, м:

на высокоскоростных, особогрузонаоруженных линиях и

линиях I и II категории 3,85

на линиях III категории 3,65

на линиях IV категории 3,45.

2. На кривых участках пути толщину балластной призмы следует принимать с учетом возвышения наружного рельса при сохранении под

внутренним рельсом балластного слоя толщиной, установленной для прямых участков.

3. Для земляного полотна из глинистых грунтов всех видов, кроме супесей, содержащих песчаных частиц размером от 2 до 0,05 мм в количестве более 50 % по массе, следует предусматривать усиление конструкции в зоне основной площадки: устройство под балластной призмой защитного слоя из дренирующего грунта в комбинации с геотекстилем или без геотекстиля. Укладка геотекстиля без защитного слоя из дренирующего грунта не допускается.

4. Толщину слоя дренирующего грунта под балластной призмой устанавливают в зависимости от вида грунта земляного полотна и его состояния.

5. При проектировании защитных слоев из дренирующего грунта без применения геотекстиля в основании толщина его должна назначаться расчетом, но не менее в зависимости от климатических условий 0,8-1,0 м для суглинков и глин и 0,5-0,7 м для супесей.

6. Для линий особогрузонапряженных, со скоростным и высокоскоростным движением пассажирских поездов защитный слой принимается двухслойным: верхний слой для обеспечения заданной прочности основной площадки; второй слой определяется из условия недопустимости пучения.

7. Верхний защитный слой выполняется из щебенисто-гравийно-песчаной смеси с коэффициентом уплотнения не менее 1,0 и модулем упругости 120 МПа. При необходимости дополняется укладкой геоматериалов (геотекстиля, георешеток, геосеток).

8. Нижний защитный слой отсыпается из дренирующего грунта с модулем упругости 80 МПа и коэффициентом плотности не менее 0,98.

5. ВСН. Ведомственные технические указания
по проектированию земляного полотна железных дорог колеи 1520 мм.

Для земляного полотна из глинистых грунтов всех видов с влажностью на границе текучести $W_L > 0,23$, кроме супесей, содержащих песчаные частицы размером от 2 до 0,05 мм в количестве более 50 % по массе, следует предусматривать усиление конструкции в зоне основной площадки: устройство под балластной призмой защитного слоя из дренирующего грунта или из дренирующего грунта в комбинации с геотекстильными материалами для исключения деформации морозного пучения (ВСН 448-Н). При проектировании защитных слоев из дренирующего грунта без применения геотекстиля в основании толщина его должна назначаться расчетом, но не менее в зависимости от климатических условий 0,8-1,0 м для суглинков и глин и 0,5-0,7 м для супесей.

Для линий особогрузонапряженных, со скоростным и высокоскоростным движением пассажирских поездов защитный слой принимается двухслойным.

Верхний слой для обеспечения заданной прочности основной площадки, исключающий появление превышения допустимой упругой осадки рельса выполняется из щебенисто-гравийно-песчаной смеси с коэффициентом уплотнения не менее 1,0, модулем деформации 120 МПа и при необходимости дополняется укладкой геоматериалов (геотекстиля, георешеток, геосеток).

Защитный слой из дренирующего грунта (с геотекстильными материалами или без них) следует применять также при использовании глинистых грунтов всех разновидностей при повышенной влажности ($I_L > 0,25$).

Толщина второго нижнего слоя с коэффициентом уплотнения не менее 0,98 и модулем деформации 80 МПа для исключения пучения отсыпается из

дренирующего грунта.

Для устройства защитного слоя следует применять дренирующие грунты: крупнообломочные (с фракциями не более 0,2 м) с песчаным заполнителем, пески (за исключением мелких пылеватых).

Защитный слой насыпей высокоскоростных железных дорог может содержать гипс в количестве не более 0,2%.

Применение недренирующих мелких и пылеватых песков допускается в исключительных случаях, обоснованных технико-экономическими расчетами при отсутствии в зоне строительства требуемых кондиционных грунтов. При этом конструкцию защитного слоя и его толщину устанавливают индивидуальным проектом.

Верх защитного слоя согласно должен быть ниже уровня подошвы шпалы не менее 0,4м.

Поверхность глинистого грунта в основании защитного слоя на новых линиях следует планировать с двусторонним уклоном 0,04 от оси полотна в сторону откосов.

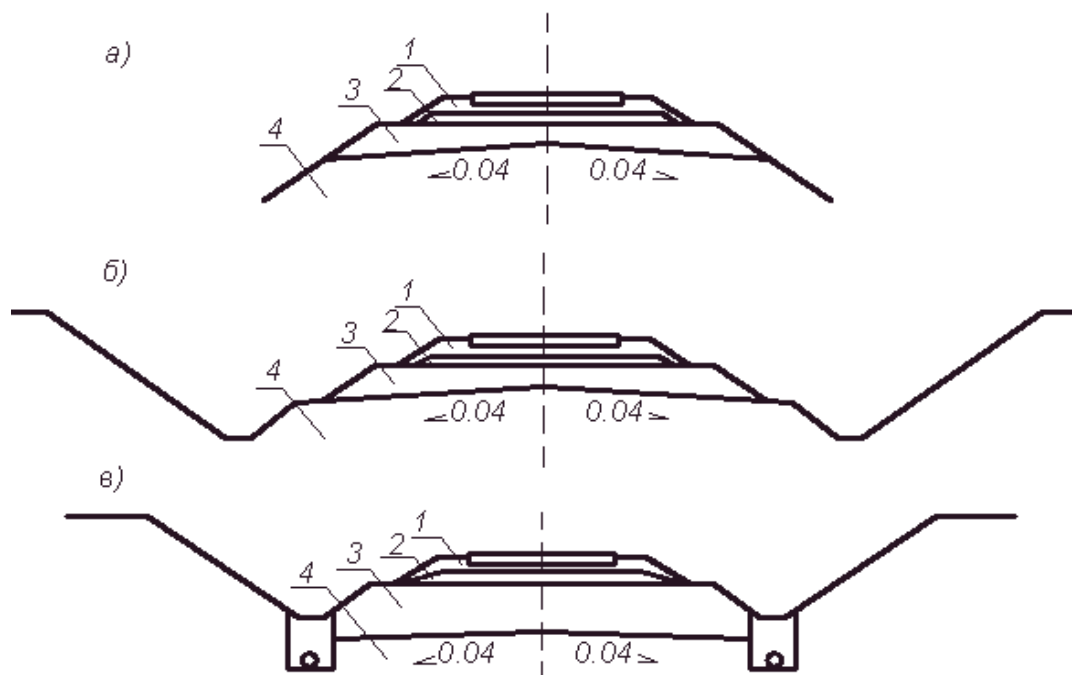
Верх защитного слоя планируется горизонтально - при дренирующих грунтах, в виде сливной призмы - при песках мелких и пылеватых (рисунок).

Толщина защитного слоя под балластной призмой устанавливается на основании расчетов в зависимости от вида грунта земляного полотна и его состояния, категории железной дороги, и с учетом вида грунта защитного слоя, глубины промерзания грунтов.

Расчеты по определению толщины защитного слоя выполняют исходя из двух условий:

обеспечения заданной прочности основной площадки, исключаяющей появление деформаций под воздействием поездной нагрузки выше допустимых значений;

ограничения деформаций пути под воздействием морозного пучения или набухания сильнонабухающих грунтов (при $W_L > 0,40$).



a, б, в - насыпи и выемки с защитным слоем из дренирующих песчано-гравийных грунтов; 1 - балласт щебеночный; 2 - балласт песчано-гравийный; 3 - защитный слой; 4 - глинистый грунт

Рисунок 10 - Земляное полотно из глинистых грунтов, характеризуемых $W_L > 0,23$ с защитным слоем.

6. Инструкция по техническому обслуживанию и эксплуатации сооружений, устройств, подвижного состава и организации движения на участках обращения скоростных пассажирских поездов.

Толщина балластного слоя определяется по условию недопущения возникновения пластических деформаций оттаивающего глинистого грунта под вибродинамическим воздействием подвижной нагрузки. В качестве необходимой толщины слоя балластных и дренирующих материалов принимается максимальное значение.

В местах, где по данным обследований определена недостаточная толщина балластных и дренирующих материалов, необходимо под балластной призмой устраивать защитный слой, отвечающий требованиям ГОСТ 25607.

Защитный слой выполняется из щебенисто-гравийно-песчаных смесей и при необходимости дополняется покрытиями из геотекстиля, пенополистирола, георешеток или геосеток. При устройстве защитного слоя необходимо выполнить срезку и замену грунтов на 0,1 м ниже залегания балластных деформаций.

Толщина защитного слоя назначается расчетом, исходя из выполнения требования обеспечения несущей способности нижележащих грунтов под действием нагрузки от подвижного состава и устранения пучения этих грунтов.

Защитный слой должен устраиваться на всю ширину основной площадки земляного полотна. Допускается уменьшать ширину защитного слоя до ширины, обеспечивающей размещение на нем балластной призмы из щебня в соответствии с нормами. При этом вырезку накопленных балластных материалов и грунтов земляного полотна в пределах обочин необходимо производить до уровня низа защитного слоя с уклоном не менее 0,04 в полевую сторону с последующей засыпкой обочины щебнем. Край защитного слоя на двухпутных участках со стороны междупутья следует располагать на расстоянии не менее 0,7 м от торцов шпал.

Поперечный уклон по верху защитного слоя следует предусматривать не менее 0,04 в полевую сторону. Верх этого слоя необходимо располагать на глубине не менее 0,4 м ниже подошвы шпал. Поверхность среза по низу защитного слоя должна иметь уклон не менее 0,04 в полевую сторону.

7. Инструкция по текущему содержанию железнодорожного пути

Размеры балластной призмы для 1 и 2 классов пути на железобетонных шпалах:

Толщина балластного слоя под шпалой - 40 см;

Толщина песчаной подушки – 20 см;

Ширина плеча балластной призмы – 45 см;

8. Специальные технические условия на проектирование
железнодорожной линии Ташкент - Самарканд

Таблица 2 - Параметры проектирования инфраструктуры железной дороги для организации скоростного движения со скоростями 160км/час и 250км/час

№ п/п	Наименование показателей	Ед. изм.	Характеристики показателя	
			V= 160 км/час	V= 250 км/час
			величина	величина
1	2	3	4	5
1.	Расчетная рузонапряженность нетто в грузовом направлении	млн. ткм/км	свыше 12-20	свыше 15 - 30
2.	Категория линий		I	высокоскоростная
3.	Максимальные скорости пассажирских поездов	км/час	160	250
4.	Руководящий уклон	‰	Не более 12	Не более 15
5.	Радиусы кривых в плане			
	Рекомендуемые	м	4000-2500 м	5000-3000 м
	Допускаемые:			
	В трудных условиях	м	2000 м	2500 м
	В особо трудных условиях	м	800 м	2000 м
	По согласованию с ГАЖК		400 м	-
6.	Тип рельсов		P75 – P65 путь б/с	P-65, ТУ 0921-195 ОП-01124323, б/с
7.	Число шпал на км	шт.	1840 / 2000	2000
8.	Ширина балластной призмы	м	3,6	3,85

10.	Толщина балласта фракции 20-60 мм	см	35 / 20	40 / 20 ГОСТ7392
-----	--------------------------------------	----	---------	---------------------

Параметры балластного слоя зарубежных железных дорог близки к ГАЖК «УТЙ». При обычной для Европы осевой нагрузке, равной 220 кН, расстоянии между шпалами 60 см и ширине шпалы 26 см толщина балластного слоя должна быть как минимум 30 см. Для высокоскоростных участков она должна быть увеличена до 40 см.

Ширина балластной призмы влияет на сопротивление сдвигу шпал по их продольной оси. Сопротивление сдвигу тем сильнее, чем больше щебня имеется перед торцом шпалы. В среднем ширина балластного слоя между краем призмы и торцами шпал на зарубежных железных дорогах составляет 45 см.

Как видно из представленных документов в них нет единого подхода к параметрам балластной призмы для участков скоростного и высокоскоростного движения поездов. К примеру, в «Специальных технических условиях на проектирование железнодорожной линии Ташкент – Самарканд» вовсе отсутствует раздел по защитному слою земполотна. Толщина балласта принята без расчетов напряжений на основной площадке земполотна под воздействием конкретного типа подвижного состава и конкретных скоростей движения поездов. То есть необходимо определить оптимальную толщину балластного слоя и ширину плеча балластной призмы для конкретных эксплуатационных условий ГАЖК «Узбекистон темир йуллари» при обращении на них электропоездов «Афрасиаб» и «Узбекистан».

1.4 Критерии определения толщины балластного слоя и ширины плеча балластной призмы

Критерии определения толщины балластного слоя. Рост скоростей, осевых нагрузок на рельсовый путь приводит к повышению динамических давлений, передаваемых на балластную призму. В связи с этим необходимо уметь определять прочность балластного слоя с учетом многих факторов, таких как:

- скорость движения;
- осевая нагрузка;
- свойства балластных материалов.

В настоящее время все имеющиеся методики определения предельно допустимого давления шпалы на балласт (несущая способность балласта) и балласта на основную площадку земляного полотна основаны на экспериментальных данных. В случае для оценки величины прочности балластной призмы и земляного полотна с изменением какого-либо из внешних факторов (скорость движения, осевая нагрузка и т.п.) необходимо выполнять большой объем экспериментальных работ.

Все изложенное предопределяет необходимость определения несущей способности балластного слоя и земляного полотна при движении поездов на скоростных и высокоскоростных магистралях.

Под несущей способностью балластного слоя и земляного полотна понимается наибольшая (предельная) величина напряжений, воспринимаемых соответственно балластом и основной площадкой земляного полотна, при которых они находятся в предельном равновесии и при минимальном превышении этих напряжений происходит разрушение балластного слоя как конструктивного элемента железнодорожного пути или возникают остаточные деформации на основной площадке земляного полотна.

При этом важнейшим параметром является толщина балластного слоя. Она зависит от расстояния между шпалами, ширины шпал и угла распределения давления. Для обеспечения наиболее благоприятных условий

передачи нагрузок далее нижнему строению пути необходимо стремиться к наибольшей толщине h балластного слоя (рис. 11). Толщина балластного слоя должна быть такой, чтобы линии распределения давления соседних шпал пересекалась над поверхностью защитного слоя земляного полотна, в противном случае зоны нижнего строения пути, заключенные между шпалами, будут подвергаться слишком высоким нагрузкам.

В связи с этим несущая система пути должна быть рассчитана таким образом, чтобы не могли возникнуть недопустимые упругие и пластические деформации. В противном случае могут возникнуть недопустимые напряжения на основной площадке земляного полотна (рис. 11) или в защитном слое земляного полотна (рис. 12).

Компания PflidererTrackSystems (Германия) исследовала также влияние железобетонных шпал шести типов на балластный слой и основание земляного полотна в зависимости от скорости движения поезда и осевой нагрузки.

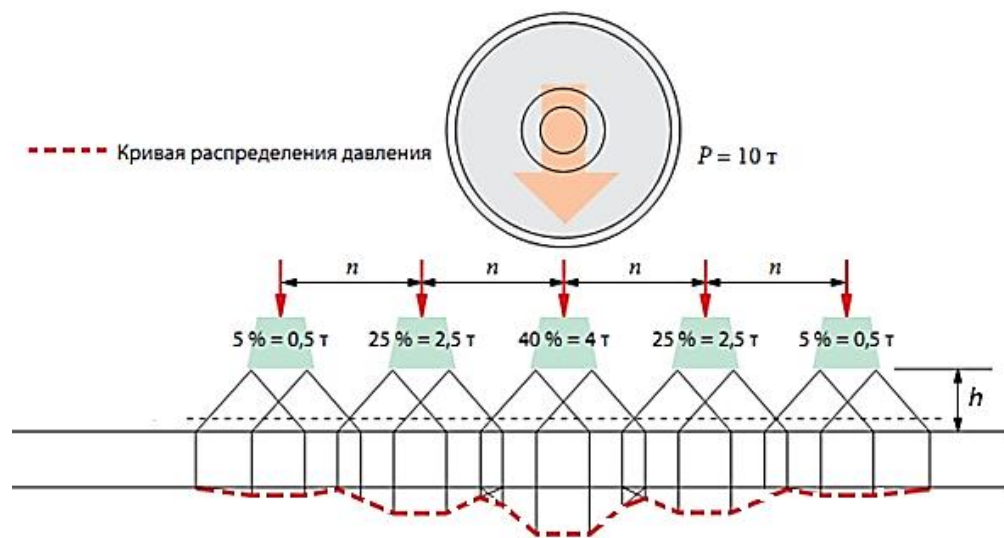


Рис. 11 Распределение давления на основную площадку земляного полотна при недостаточной толщине балластного слоя

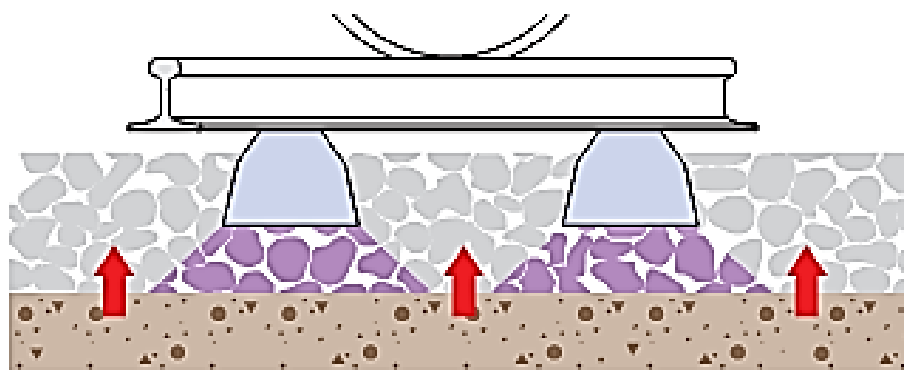


Рис. 12 Разрушение (выдавливание) защитного слоя земляного полотна ввиду недостаточной толщины балластного слоя

Основным был вывод, что чем больше площадь опирания шпалы, тем меньше деформация балластного материала. Давление в балласте под шпалой и давление на основную площадку земляного полотна в зависимости от толщины балласта приведены ниже на рис. 15,16, табл. 3. Шпалы ВF70, применяемые на ГАЖК «УТЙ» наиболее близки по характеристикам к шпалам типа В70, поэтому приведенные ниже данные можно применять и для шпал типа ВF70.

Как видно из рис. недостаточная толщина балластного слоя приводит к превышению допустимых напряжений в балластном слое и на основной площадке земляного полотна.

Таким образом, толщина балластного слоя, а также расстояние между шпалами должны быть такими, чтобы давление на земляное полотно не превышало величины, обеспечивающей его упругую осадку, исчезающую после снятия нагрузки. По мере удаления вниз от места непосредственного контакта пути с подвижным составом давление должно рассредоточиваться на все большую площадь и на земляное полотно уже передаваться почти равномерное давление примерно $0.8-10^2$ кПа ($0,8 - 1,0$ кг/см²).

Критерии определения ширины плеча балластной призмы. Ширина плеча балластной призмы (рис. 13) определяется в основном из условия исключения выброса пути в летних условиях эксплуатации (рис. 14).

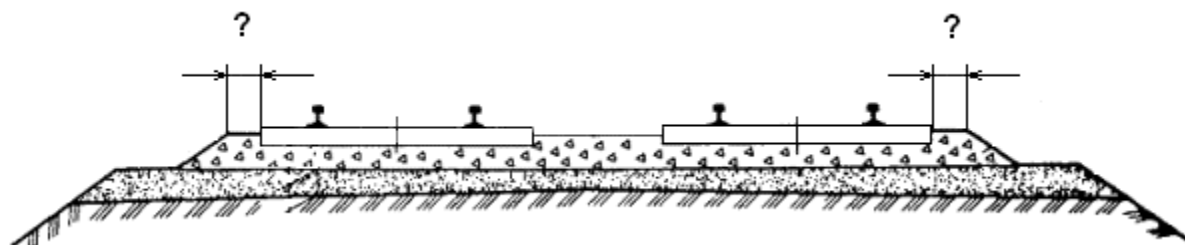


Рис. 13 Плечо балластной призмы



Рис. 14 Выброс пути

Сбор материалов по характеристикам верхнего строения пути высокоскоростной линии Ташкент – Самарканд (табл. 4) указывает на наличие большого количества участков с толщиной щебеночного балласта значительно меньше минимально допустимой, например, 20 см.

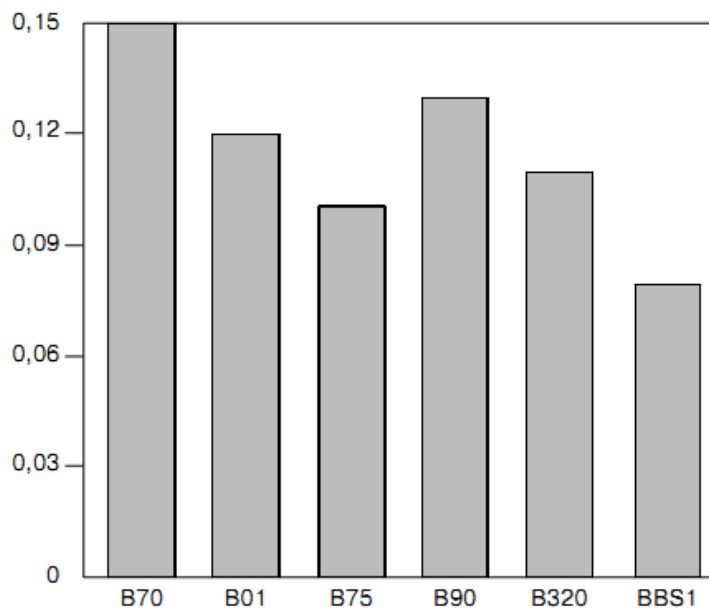
Исследованию влияния недостаточной толщины балласта на работу верхнего строения пути и определению оптимальных параметров балластной призмы (толщина балласта и защитных слоев земполотна, ширина плеча балластной призмы) посвящены приведенные ниже исследования и расчеты.

Эти задачи решаются в настоящей диссертации.

Таблица 3 - Параметры железобетонных шпал различных типов

Шпала	Площадь опи- рания, мм ²	Скрепление	Жесткость скрепле- ния, кН/мм	Длина зоны упругости, мм	Сила под подошвой рельса, кН	Напряжение сжатия в верхней части бал- ластного слоя, Н/мм ²
B70	684 000	w14 k900	60	740	51	0,15
B01	780 000	w21 t1000	40	780	48	0.12
B75	880 800	Ioarv 300-1	22.5	864	43	0,10
B90	797 600	W14 K900	60	728	51	0,13
B320	780 000	Ioarv 300-1	22,5	869	43	0,11
BBS1	1 368 000	W14 K900	60	697	54	0,08

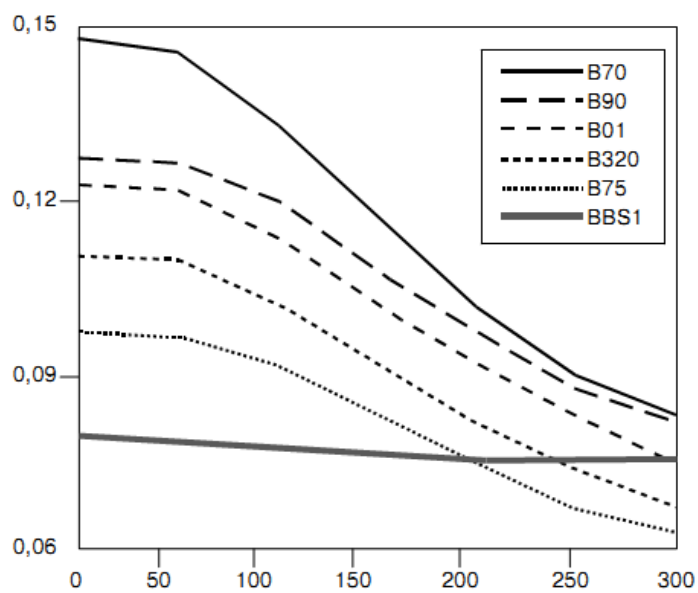
Давление, σ_b , Н/мм²



Типы железобетонных шпал

Рис. 15 Давление в балласте под шпалой

Давление, σ_{onzn} , Н/мм²



Толщина балласта, a_b , мм

Рис.16 Давление на основную площадку земляного полотна в зависимости от толщины балласта

Таблица4 – Пример рельсо-балластной карты ПЧ-2 ГАЖК «УТЙ»

**Писанная рельсо-балластная карта
по Ташкентской дистанции пути
на 01.01.2013год**

№ км	Тип рельс	Завод изготовитель	протя- жен- ность	год укладки рельсов новых	Переуложено	Налич. объем. закал.	Пропу- щенный тоннаж в млн.т. брутто на 01.01.12г	Грузооб- рот млн брутто за 2012г	Пропу- щенный тоннаж в млн.т. брутто на 01.01.13г	Щебень род балласт- толщина	Год последнего ремонта	
											капи- тальный	средний подъе- мочный
Салар - Сыр-Дарья четный путь												
3367	P65	T82	1000	1982		1000	587,7	14,3	602	20	1982	2005ср
3368	P65	K03	162	2003		162	72,7	14,3	87	35	2003	
	P50	T81	189	1981		189	587,7	14,3	602	35	1970	
	P65	K05	440	2003		440	84,7	14,3	99	35	2003	
	P65	K03	209	2003		209	78,4	10,7	89,1	35	2003	
3369	P65	K03	774	2003		774	69,5	10,7	80,2	20	2003	2003
	P65	T-07	301	2007		301	58,4	10,7	69,1	20	2007	
3370	P65	T-07	1000	2007		1000	58,4	10,7	69,1	35	2007	
3371	P65	T-07	1000	2007		1000	36,6	10,7	47,3	20	2007	
3372	P65	T-07	1005	2007		1005	36,6	10,7	47,3	20	2007	
3373	P65	T-07	1000	2007		1000	36,6	10,7	47,3	20	2007	2007
3374	P65	T-07	1000	2007		1000	36,6	10,7	47,3	20	2007	
3375	P65	T-07	990	2007		990	36,6	10,7	47,3	20	2007	2012
3376	P65	T-07	672	2007		672	36,6	10,7	47,3	20	2007	2010,2011
	P65	K04	328	2004		328	64,2	10,7	74,9	20	2004	
3377	P65	K04	899	2004		899	53,4	10,7	64,1	20	2004	2012 пк 3,4,5
	P65	T78	101	1978		101	734,9	10,7	745,6	20	1978	
3378	P65	K91	1000	1991		1000	234	10,7	244,7	20	1991	2012пк 1,2
3379	P65	A12	425	2012		425		5,3	5,3	20	2012	
	P65	K91	575	1991		575	234	10,7	244,7	25	1991	2010
3380	P65	K91	375	1991		375	234	10,7	244,7	25	1991	2011
	P65	K06	617	2006		617	50,3	10,7	61	25	2006	
	P65	A 12	8	2012		8		5,3	5,3	25	2012	
3381	P65	A12	592	2012		592		5,3	5,3	25	2012	
	P65	K90	408	1990		408	263,2	10,7	273,9	35	1990	2006п
3382	P65	K90	181	1990		181	263,2	10,7	273,9	25	1990	2005ср
	P65	A12	819	2012		819		5,3	5,3	25	1990	
3383	P65	K90	1000	1990		1000	263,2	10,7	273,9	20	1990	2006ср
3384	P65	K90	709	1990		709	263,2	10,7	273,9	20	1990	2011
	P65	T07	291	2007		291	41,8	10,7	52,5	20	2007	2011
3385	P65	T07	995	2007		995	41,8	10,7	52,5	20	2007	
3386	P65	T07	597	2007		597	41,8	10,7	52,5	20	2007	
	P65	C-04	403	2004		403	64,2	10,7	74,9	20	2004	
3387	P65	C04	987	2004		987	64,2	10,7	74,9	35	2004	2011
3388	P65	C04	1000	2004		1000	123,7	10,7	134,4	35	2004	2011
3389	P65	Д001	1000	2001		1000	304,9	36,3	341,2	35	2001	2009ср
3390	P65	Д001	587	2001		587	304,9	36,3	341,2	35	2001	
	P65	C02	363	2002		363	309,3	36,3	345,6	35	2003	2011
	P65	A11	50	2011		50	30,7	36,3	67	35	2011	2011
3391	P65	A11	630	2011		630	30,7	36,3	67	35	2011	
	P65	Д001	370	2001		370	304,9	36,3	341,2	35	2001	
3392	P65	Д001	1000	2001		1000	304,9	36,3	341,2	35	2001	2009п
3393	P65	C02	753	2002		753	287	36,3	323,3	20	2002	2011
	P65	A11	247	2011		247	30,7	36,3	67	35	2011	2011
3394	P65	A11	356	2011		356	30,7	36,3	67	35	2011	2011
	P65	C02	644	2002		644	287	36,3	323,3	20	2002	2011
3395	P65	C02	710	2002		710	287	36,3	323,3	35	2003	2011
	P65	A11	290	2011		290	30,7	36,3	67	35	2011	2011
3396	P65	C03	772	2003		772	265,9	36,3	302,2	35	2003	2011
	P65	A11	228	2011		228	30,7	36,3	67	35	2011	2011
3397	P65	A11	622	2011		622	30,7	36,3	67	35	2011	2011
	P65	K01	368	2001		368	304,9	36,3	341,2	35	2001	2011
3398	P65	K01	1000	2001		1000	304,9	36,3	341,2	35	2001	2008ср
3399	P65	K01	1000	2001		1000	304,9	36,3	341,2	20	2001	2011
3400	P65	K01	1000	2001		1000	304,9	36,3	341,2	20	2001	2012
3401	P65	K01	1000	2001		1000	304,9	36,3	341,2	20	2001	2011
3402	P65	K01	196	2001		196	304,9	36,3	341,2	35	2001	2011
	P65	C03	804	2003		804	265,9	36,3	302,2	35	2003	2011
3403	P65	C03	1000	2003		1000	265,9	36,3	302,2	20	2003	2011

3404	P65	C03	3	2003		3	265,9	36,3	302,2	35	2003	
	P65	A11	1010	2011		1010	12,76	36,3	49,06	35	2011	2011
3405	P65	A11	978	2011		978	12,76	36,3	49,06	20	2011	
3406	P65	A11	1000	2011		1000	12,76	36,3	49,06	20	2011	
3407	P65	A11	990	2011		990	12,76	36,3	49,06	20	2011	
3408	P65	A11	1000	2011		1000	12,76	36,3	49,06	20	2011	
3409	P65	A11	694	2011		694	12,76	36,3	49,06	20	2011	
	P65	K92	306	1992		306	596	36,3	632,3	19		
3410	P65	K92	700	1992		700	596	36,3	632,3	20	1992	2007ср
	P65	A11	300	2011		300	12,76	36,3	49,06	20	2011	
3411	P65	A11	849	2011		849	12,76	36,3	49,06	20	2011	
	P65	ДО3	177	2003		177	265,9	36,3	302,2	20	2003	2009н
3412	P65	ДО1	937	2001		937	304,9	36,3	341,2	25	2001	2011
3413	P65	ДО1	1000	2001		1000	304,9	36,3	341,2	35	2001	2011, 2012 пк 8-1С
3414	P65	ДО1	212	2001		212	304,9	36,3	341,2	25	2001	2007П
	P65	A98	358	1998		358	379,9	36,3	416,2	25	1998	2007ср
	P65	A11	430	2011		430	12,76	36,3	49,06	25	2011	
3415	P65	A11	100	2011		100	12,76	36,3	49,06	25	2011	
	P65	ДО1	900	2001		900	304,9	36,3	341,2	25	2011	
3416	P65	ДО1	283	2001		283	304,9	36,3	341,2	20	2001	2010
	P65	A11	717	2011		717	12,76	36,3	49,06	20	2011	
3417	P65	ДО1	1000	2001		1000	304,9	36,3	341,2	20	2001	2010
3418	P65	ДО1	1000	2001		1000	304,9	36,3	341,2	20	2001	2007п
3419	P65	ДО1	1000	2001		1000	304,9	36,3	341,2	20	2001	2012 пк3-10
3420	P65	ДО1	965	2001		965	304,9	36,3	341,2	20	2001	2010
3421	P65	ДО01	821	2001		821	304,9	36,3	341,2	20	2011	2012
	P65	A11	240	2003		240	12,76	36,3	49,06	20	2003	2007ср
3422	P65	A11	345	2011		345	12,76	36,3	49,06	20	2011	
	P65	C03	225	2003		225	265,9	36,3	302,2	20	2003	2010
	P65	Д 00	430	2000		430	314,5	36,3	350,8	20	2000	2012
3423	P65	ДОО	380	2000		380	314,5	36,3	350,8	20	2000	
	P65	A11	620	2011		620	7,6	36,3	43,9	20	2011	
3424	P65	A11	410	2011		410	7,6	36,3	43,9	20	2011	
	P65	ДОО	590	2000		590	314,5	36,3	350,8	20	2000	2012
3425	P65	ДОО	1000	2000		1000	314,5	36,3	350,8	20	2000	2012
3426	P65	ДОО	1000	2000		1000	314,5	36,3	350,8	20	2000	2012
3427	P65	ДОО	1000	2000		1000	314,5	36,3	350,8	25	2000	2011
3428	P65	ДОО	1000	2000		1000	314,5	36,3	350,8	25	2000	2011
3429	P65	ДОО	789	2000		789	314,5	36,3	350,8	25	2000	2010
	P65	СО3	236	2003		236	265,9	36,3	302,2	25	2003	
3430	P65	СО3	975	2003		975	265,9	36,3	302,2	35	2003	
3431	P65	СО3	1000	2003		1000	265,9	36,3	302,2	25	2003	2009ср
3432	P65	СО3	1000	2003		1000	265,9	36,3	302,2	20	2003	2010
3433	P65	СО3	211	2003		211	265,9	36,3	302,2	20	2003	
	P65	КО1	789	2001		789	304,9	36,3	341,2	20	2001	2007н
3434	P65	КО1	1000	2001		1000	304,9	36,3	341,2	20	2001	2006ср
3435	P65	КО1	995	2001		995	304,9	36,3	341,2	20	2001	2007ср
3436	P65	СО3	1041	2000		1041	265,9	36,3	302,2	20	2000	2011
3437	P65	СО4	321	2004		321	244,5	36,3	280,8	25	2004	
	P65	A11	689	2011		689	7,6	36,3	43,9	20	2011	
3438	P65	СО4	200	2004		200	244,5	36,3	280,8	20	2004	
	P65	A11	725	2011		725	7,6	36,3	43,9	20	2011	
	P65	СО3	80	2003		80	265,9	36,3	302,2			
3439	P65	СО3	406	2003		406	265,9	36,3	302,2	20	2003	
	P65	A11	600	2011		600	7,6	36,3	43,9	20	2011	
3440	P65	СО3	633	2003		633	265,9	36,3	302,2	19	2003	2010
	P65	A11	400	2011		400	7,6	36,3	43,9	20	2011	
Сыр-Дарья - Салар нечетный путь												
3367	P65	T82	398	1982		398	745,2	16,8	762	35	1982	2005н
	P65	K87	602	1987		602	572,5	16,8	589,3	35	1987	
3368	P65	T82	192	1982		192	745,2	16,8	762	35	1982	
	P50	K64	106	1964		106	970,4	16,8	987,2	35	1964	
	P65	K05	485	2005		485	82,9	16,8	99,7	35	2005	
	P65	K05	217	2005		217	79	17,6	96,6	35	2005	
3369	P65	K05	602	2005		602	79	17,6	96,6	35	2005	
	P65	T-07	511	2007		511	76	17,6	93,6	35	2007	
3370	P65	T-07	1000	2007		1000	76	17,6	93,6	35	2007	
3371	P65	T-07	1000	2007		1000	76	17,6	93,6	25	2007	
3372	P65	T-07	1000	2007		1000	54,7	17,6	72,3	20	2007	
3373	P65	T-07	1000	2007		1000	54,7	17,6	72,3	35	2007	
3374	P65	T-07	995	2007		995	54,7	17,6	72,3	20	2007	
3375	P65	T-07	1000	2007		1000	54,7	17,6	72,3	25	2007	

1.5 Цели и задачи исследования

Приведенные в диссертационной работе исследования

включают в себя цели:

1. Установление напряжений в элементах верхнего строения пути при воздействии высокоскоростного поезда «Афрасиаб» на участках скоростного и высокоскоростного движения поездов со скоростями 160 – 200 – 250 км/ч.
2. Установление оптимальных параметров толщины балластной призмы по критерию ограничения максимально допустимых напряжений на основной площадке земляного полотна для конкретных условий ГАЖК «Узбекистон темир йуллари».
3. Установление оптимальных параметров плеча балластной призмы по критерию исключения выброса путидля конкретных условий ГАЖК «Узбекистон темир йуллари».
4. Исследование необходимости устройства защитного слоя земляного полотна на участках обращения скоростных и высокоскоростных поездов.

Приведенные в диссертационной работе исследования

включают в себя следующие задачи:

1. Анализ параметров балластной призмы на железных дорогах мира, включая магистральные, скоростные и высокоскоростные участки ГАЖК «Узбекистон темир йуллари».
2. Сопоставление требований различных нормативных документов, действующих на ГАЖК «Узбекистон темир йуллари», к балластному слою железных дорог.
3. Расчеты напряженного и деформированного состояния верхнего строения пути со шпалами типа ВF70 и креплениями «Pandrol Fastclip» на скоростных и высокоскоростных линиях ГАЖК «Узбекистон темир йуллари» при обращении высокоскоростного поезда «Афрасиаб» на направлении Ташкент - Самарканд.

4. Сравнение полученных результатов с расчетами других магистрантов (Шодманов С.) по определению напряженного и деформированного состояния верхнего строения пути со шпалами типа ВФ70 и скреплениями «Pandrol Fastclip» на скоростных линиях ГАЖК «Узбекистон темир йуллари» при обращении поездов «Шарк» и «Насаф» со скоростями до 160 км/ч.

Основное содержание диссертации изложено в следующих трудах:

1. _____

2. _____

Общий объем диссертации составляет _____ страниц машинописного текста, включая _____ рисунков, _____ таблиц и _____ списков литературных источников.

2. РАСЧЕТЫ УСТОЙЧИВОСТИ БЕССТЫКОВОГО ПУТИ И ОПТИМАЛЬНОГО ПЛЕЧА БАЛЛАСТНОЙ ПРИЗМЫ НА ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ЛИНИИ ТАШКЕНТ - САМАРКАНД

При повышении температуры рельсовых плетей по сравнению с нейтральной (температурой закрепления t_0) в них могут развиваться значительные сжимающие силы ($P_t = 1200 \div 1500$ кН), которые при неблагоприятном стечении обстоятельств могут привести к опасному нарушению устойчивости пути – выбросу. Это быстрый, практически мгновенный процесс искривления рельсов в горизонтальной плоскости с одновременным (или предшествующим) небольшим подъемом путевой решетки (до 15 мм), при котором контакт нижней постели шпал со щебнем теряется частично или полностью (рис. 17).



Рис. 17 Выброс железнодорожного пути

На прямых выброс протекает с резким звуком, на кривых – более плавно и тихо. При этом образуется резкое искривление рельсов (до 0,3 – 0,5 м на длине 20 – 40 м) с несколькими волнами в горизонтальной плоскости. Рельсы на этом участке приобретают остаточные деформации и становятся

непригодными для работы в пути, щебень с откосов призмы отбрасывается (до 1,0 м).

Обеспечение устойчивости бесстыкового пути – одно из важнейших требований при его устройстве. Недостаточная устойчивость – прямая угроза безопасности движения поездов, а избыточные запасы устойчивости снижают эффективность применения бесстыкового пути.

Задача сводится к определению Δt_y – допускаемого по устойчивости пути повышения температуры по сравнению с температурой закрепления рельсовых плетей.

Расчеты в диссертации были выполнены по наиболее распространенному методу С.П. Першина, в котором принята во внимание нелинейность сопротивления деформациям со стороны балластного слоя и узлов прикрепления рельсов к шпалам, а также учтено наличие начальных неровностей колеи, которые оказывают существенное влияние на устойчивость пути под действием продольных сил.

Согласно этому расчету при заданной длине l хорды зоны искривления и прочих известных параметрах можно найти стрелу f , при которой значения сжимающей силы максимальны. Это положение соответствует максимуму потенциальной энергии и отражает состояние неустойчивого равновесия.

Значение $\max N_t$ меняется в зависимости от l и может быть получен минимум $\max N_t$, который при данном расчете и представляет собой наименьшую силу сжатия в состоянии неустойчивого равновесия. Минимум $\max N_t$ принят как значение расчетной критической силы N_3 , при достижении которой неустойчивое равновесие может перейти к выбросу пути.

Расчетная формула имеет вид:

$$N_3 = \frac{A}{i^\mu} (\kappa_1 \kappa_2 \kappa_3)$$

где A и μ – параметры, зависящие от типа рельса и плана линии (определяется по табл. 5); i – средний уклон начальной неровности, ‰; κ_1 – коэффициент, зависящий от сопротивления балласта смещению шпалы Q (определяется по графику на рис. 18); κ_2 – коэффициент, значение которого зависит от эюры шпал (при эюре шпал 1600 шт/км $\kappa_2=0,9$, при 1720 шп/км $\kappa_2 \approx 0,9$; при 1840 шт/км $\kappa_2=1,0$, при 2000 шт/км $\kappa_2=1,08$); κ_3 – коэффициент, учитывающий влияние сопротивления повороту рельсов по подкладкам и шпалам (определяется по графику на рис.19).

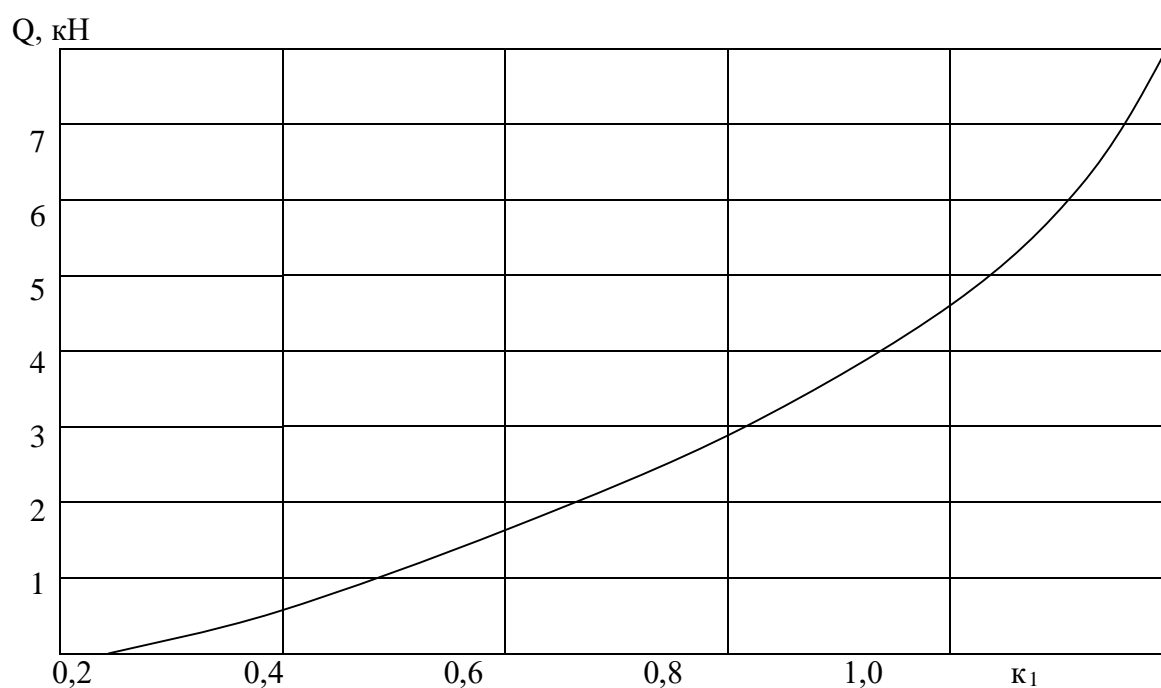


Рис. 18 График изменения коэффициента κ_1 в зависимости от сопротивления балласта смещению шпал Q

Таблица 5 Параметры A и μ , зависящие от типа рельса и плана линии

R , м	A при рельсах Р65	μ при рельсах Р65
400	2480	0,232
600	3150	0,335
800	3610	0,385
1000	3830	0,410
Прямая	5830	0,585

В результате выполненных экспериментальных исследований /5,6/ на ГАЖК «Узбекистон темир йуллари» предложена оптимальная ширина плеча балластной призмы, равная 45 см.

В этом случае средняя сдвигающая сила, соответствующая сопротивлению балласта смещению шпал по результатам испытаний была равна 815 кг. В соответствии с графиком, приведенным на рис. 18 Принято:

$\kappa_1 = 1,2$.

κ_2 принят:

- при эпюре шпал в прямой 1720 шт/км $\kappa_2 = 0,95$
- при эпюре шпал в кривой 1840 шт/км $\kappa_2 = 1,0$

Коэффициент κ зависит от степени затяжки гаек клеммных болтов (силы прижатия клеммы «PandrolFastclip»). При этом нормативное прижатие рельса к основанию для креплений типа КБ составляет 19,6 кН, что соответствует крутящему моменту в размере 120 н м.

Для креплений типа «PandrolFastclip» нормативное прижатие рельса к основанию составляет не менее 20 кН, т.е. в соответствии с графиком, приведенным на рис. 19, этот коэффициент может быть принят равным:

$k_3 = 0,93$ (при $i=2\text{‰}$)

$k_3 = 0,97$ (при $i=3\text{‰}$)

График изменения коэффициента k_3 в зависимости от затяжки клеммных болтов

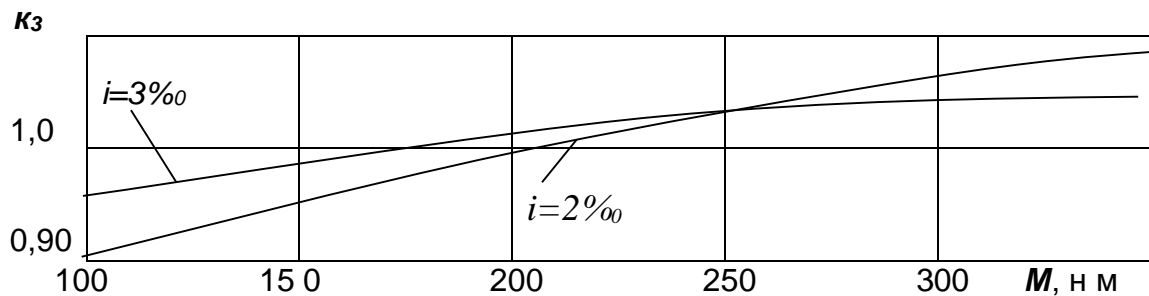


Рис. 19 Величина коэффициента k_3

Для сравнения ниже рассмотрены 2 варианта конструкции и состояния пути:

Вариант 1. Сопротивление одиночных шпал смещению поперек пути 450 кг (при плече балластной призмы 25 см), начальная неровность составляет $i=3\text{‰}$

Вариант 2. Сопротивление смещению шпал типа ВФ 70 при плече балластной призмы составляет 815 кг (при плече балластной призмы 45 см), начальная неровность составляет $i=2\text{‰}$

Вариант 1 :

- для кривой $R = 400$ м:

$$N_3 = \frac{2480}{3^{0,232}} \times 1 \times 1 \times 0,97 = 1864 \text{ кН}$$

- для кривой $R = 600$ м:

$$N_3 = \frac{3150}{3^{0,335}} \times 1 \times 1 \times 0,97 = 2115 \text{ кН}$$

- для кривой R = 800 м:

$$N_3 = \frac{3610}{3^{0,385}} \times 1 \times 1 \times 0,97 = 2294 \text{ кН}$$

- для кривой R = 1000 м:

$$N_3 = \frac{3830}{3^{0,410}} \times 1 \times 1 \times 0,97 = 2368 \text{ кН}$$

- для прямой:

$$N_3 = \frac{5830}{3^{0,585}} \times 1 \times 0,95 \times 0,97 = 2824 \text{ кН}$$

Повышение температуры рельсовой плети Δt_y , допускаемое по условию устойчивости пути, определено по формуле:

$$\Delta t_y = \frac{N_3}{\alpha E F''}$$

где α – коэффициент линейного расширения рельсовой стали, равный 0,0000118 град⁻¹

E – модуль упругости рельсовой стали, равный 21000 Н/см²

F'' – площадь поперечного сечения двух рельсов, равная 82,7х2=165,4 см².

Получаем следующие значения повышения температуры рельсовой плети Δt_y , допускаемое по условию устойчивости пути для прямой и кривых различного радиуса:

- для кривой R = 400 м:

$$\Delta t_y = \frac{N_3}{\alpha E F''} = 1864 / (0,0000118 \times 21000 \times 165,4) = 45 \text{ C}^0$$

- для кривой R = 600 м:

$$\Delta t_y = \frac{N_3}{\alpha E F''} = 2005,7 / (0,0000118 \times 21000 \times 165,4) = 52 \text{ C}^0$$

- для кривой R = 800 м:

$$\Delta t_y = \frac{N_3}{\alpha E F''} = 2294 / (0,0000118 \times 21000 \times 165,4) = 56 \text{ C}^0$$

- для кривой R = 1000 м:

$$\Delta t_y = \frac{N_3}{\alpha E F''} = 2368 / (0,0000118 \times 21000 \times 165,4) = 58 \text{ C}^0$$

- для прямой:

$$\Delta t_y = \frac{N_3}{\alpha E F''} = 2824 / (0,0000118 \times 21000 \times 165,4) = 69 \text{ C}^0$$

Вариант 2

- для кривой R = 400 м:

$$N_3 = \frac{2480}{2^{0,232}} \times 1,2 \times 0,93 = 2357 \text{ кН}$$

- для кривой R = 600 м:

$$N_3 = \frac{3150}{2^{0,335}} \times 1,2 \times 0,93 = 2787 \text{ кН}$$

- для кривой R = 800 м:

$$N_3 = \frac{3610}{2^{0,385}} \times 1,2 \times 0,93 = 3085 \text{ кН}$$

- для кривой R = 1000 м:

$$N_3 = \frac{3830}{2^{0,410}} \times 1,2 \times 0,93 = 3217 \text{ кН}$$

- для прямой:

$$N_3 = \frac{5830}{2^{0,585}} \times 1,2 \times 0,95 \times 0,93 = 4121 \text{ кН}$$

Повышение температуры рельсовой плети Δt_y , допускаемое по условию устойчивости пути по варианту 2

- для кривой R = 400 м:

$$\Delta t_y = \frac{N_3}{\alpha E F''} = 2357 / (0,0000118 \times 21000 \times 165,4) = 58 \text{ C}^0$$

- для кривой R = 600 м:

$$\Delta t_y = \frac{N_3}{\alpha E F''} = 2787 / (0,0000118 \times 21000 \times 165,4) = 68 \text{ C}^0$$

- для кривой R = 800 м:

$$\Delta t_y = \frac{N_3}{\alpha E F''} = 3085 / (0,0000118 \times 21000 \times 165,4) = 75 \text{ C}^0$$

- для кривой R = 1000 м:

$$\Delta t_y = \frac{N_3}{\alpha E F''} = 3217 / (0,0000118 \times 21000 \times 165,4) = 79 \text{ C}^0$$

- для прямой:

$$\Delta t_y = \frac{N_3}{\alpha E F''} = 4121 / (0,0000118 \times 21000 \times 165,4) = 101 \text{ C}^0$$

Ниже приведена сводная таблица 6 температурных сил и повышений температуры рельсовой плети Δt_y , допускаемое по условию устойчивости для вариантов 1 и 2.

Таблица 6

Наименование показателей	Вариант 1	Коэффициент запаса по устойчивости по 1-му варианту	Вариант 2	Коэффициент запаса по устойчивости по 2-му варианту	Преимущество 2-го варианта относит. 1-го варианта, %
Температурная сила $N_3, кН$ при плане линии:					
R=400 м	1864		2357		
R=600 м	2115		2787		
R=800 м	2294		3085		
R=1000 м	2368		3217		
прямая	2824		4121		
Допускаемое повышение температуры $\Delta t_y, ^\circ C$ при плане линии:					
R=400 м	45	1,36	58	1,76	29
R=600 м	52	1,30	68	1,70	31
R=800 м	56	1,30	75	1,70	34
R=1000 м	58	1,26	79	1,72	36
прямая	69	1,47	101	2,00	46

Из приведенных в табл.6 данных видно, что в первом случае коэффициент запаса по устойчивости k_y не превышает 1,47, в то время, как его значение по условию безопасности должно находиться в пределах $1,5 \div 2,0 / 3$. Во втором случае коэффициент запаса по устойчивости находится в пределах $1,76 \div 2,00$, что соответствует требованиям безопасности.

Выводы по разделу 2:

1. Получены величины допускаемых повышений температуры Δt_y , °С по сравнению с температурой закрепления плетей железнодорожного пути со шпалами ВF70 искреплениями «PandrolFastclip» на ГАЖК «Узбекистон темир йуллари».

2. Установлены коэффициенты запаса по устойчивости плетей при различных планах линии и сравнены с нормативной величиной ($k_y^{\text{норм}} = 1,5 - 2,0$).

3. Определены оптимальные размеры плеча балластной призмы из условия исключения выброса пути. Для шпал типа ВF 70 на скоростных и высокоскоростных линиях при эюре шпал 2000 шт/км ширина плеча должна составлять не менее 45 см.

4. Приведенная в ВСН «Ведомственные технические указания по проектированию новых железнодорожных линии колеи 1520 мм» ширина балластной призмы поверху на прямых однопутных участках следует при всех видах балластана высокоскоростных, особогрузонаоруженных линиях и линиях I и II категории в размере не менее 3,85 м нельзя считать обоснованной, так как плечо балластной призмы в этом случае составляет 57,5 м (вместо требуемых 45см). Это приводит к удорожанию строительства железнодорожного пути.

5. Установлено, что уклон неровности железнодорожного пути в плане не должен превышать $i = 2\text{‰}$.

6. На магистральных линиях, включая скоростные и высокоскоростные участки, не допускается в плане наличие углов. При возникновении таковых необходимо незамедлительно выполнить работы по разрядке температурных напряжений и приведение пути в исправное состояние.

3. РАСЧЕТ ПУТИ НА ПРОЧНОСТЬ И УСТОЙЧИВОСТЬ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ЭЛЕКТРОПОЕЗДА «АФРАСИАБ» С ОПРЕДЕЛЕНИЕМ ОПТИМАЛЬНОЙ ТОЛЩИНЫ БАЛЛАСТНОГО СЛОЯ

В рамках реализации первого этапа внедрения высокоскоростного движения на направлении ст. Ташкент – ст. Самарканд ГАЖК «Узбекистон темир йуллари» в 2011 году приобрела два электропоезда Talgo AVE серии 250 (Афросиаб). Однако до настоящего времени не был оценен уровень динамического воздействия при движении этого поезда по железнодорожному пути со шпалами BF70 и рельсовыми скреплениями типа «Pandrol Fastclip». Не была также оценена прочность работы железнодорожного пути при воздействии высокоскоростных поездов и его устойчивость против выброса.

Выполненные испытания железобетонных шпал BF70 на заводе-производителе железобетонных шпал на прочность и трещиностойкость(рис.20), приведенные в диссертации магистранта Шодманова А., подтвердили возможность применения этих шпал на скоростных и высокоскоростных линиях ГАЖК «Узбекистон темир йуллари». Для остальных элементов верхнего строения пути это надо доказать. Поэтому с целью определения оптимальных параметров укладки и эксплуатации остальных параметров верхнего строения пути (балластный слой, защитный слой земполотна) при максимальных скоростях движения пассажирского электропоезда «Афрасиаб» 250 км/час был выполнен приведённый ниже расчет пути на прочность и устойчивость.

Расчет выполнен в соответствии с «Методикой оценки воздействия подвижного состава на путь по условиям обеспечения его надежности». Исходные данные для расчета приведены в табл. 7



Рис. 20 Испытания шпал на прочность и устойчивость

Таблица 7 - Исходные данные для расчета

1. Тип подвижного состава	«Афрасиаб»
2. Расчетная скорость движения, v , км/ч	160,200,250
3. Эпюра шпал, $\mathcal{E}_ш$, шт/км: (прямая/кривая) 1680/1720;1720/1840;1840/2000	
4. Толщина балласта (щебень/песок) $a_б$, см	20/20; 35/20
5. Нагрузка от колеса на рельс, $P_{ст}$, кг	9000
6. Диаметр колес, см	101,0
7. Неподдресоренный вес на одно колесо, q_k , кг	1150
8. Статический прогиб рессорной системы, $f_{ст}$, мм	158
9. Модуль упругости подрельсового основания, кг/см ²	
в прямом участке пути летом $U_{пр-л}$	2000 - 3000
в прямом участке пути зимой $U_{пр-з}$	3000 - 4500
в кривом участке пути летом $U_{кр-л}$	2200 - 3400
в кривом участке пути зимой $U_{кр-з}$	3300 - 5100
10. Площадь полушпалы, Ω , см ²	2975
11. Опорная площадь подрельсовой прокладки, ω , см ²	225
12. Расчетная минимальная температура рельса, t_{min}	-30 ⁰ С
13. Расчетная максимальная температура рельса, t_{max}	+64 ⁰ С

Расчеты пути на прочность выполняются для следующих условий эксплуатации (рис. 21):

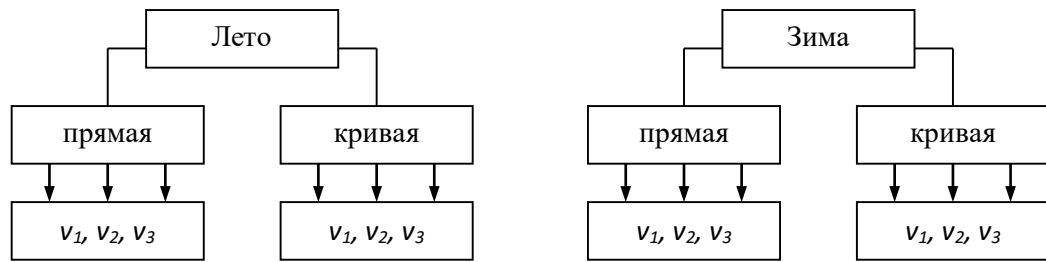


Рис. 21Схема расчета пути на прочность и устойчивость

4.2 Расчетные усилия, передаваемые на рельс

Расчетная величина силы взаимодействия колеса и рельса в сечении под колесом определяется с вероятностью непревышения ее $\Phi = 0,99379$ и составляет:

$$P_{РАСЧ} = P_{СР} + 2,5 S \quad (1)$$

С учетом вероятностного сочетания составляющих общего давления колеса на рельс, реализуемых при движении современных единиц подвижного состава, имеем:

для силы среднего давления колеса на рельс

$$P_{СР} = P_{СТ} + P_p^{cp} \quad (2)$$

и для среднеквадратического отклонения совокупности действующих на рельс сил

$$S = \sqrt{S_p^2 + S_{НП}^2 + q_1 S_{ИНК}^2 + (1 - q_1) S_{ННК}^2} \quad (3)$$

Из формул (1 - 3) видно, что величина расчетного давления колеса на рельс определяется с учетом: статического давления от подвижного состава, отнесенного к одному колесу, ($P_{СТ}$); дополнительного динамического давления, вызванного колебаниями кузова на рессорах, (P_p^{cp}); дополнительных динамических давлений, вызванных наличием изолированной неровности на пути, ($S_{НП}$), неровностей на колесе - изолированной

($S_{ИНК}$) и непрерывной ($S_{ННК}$) с учетом доли колес, обращающихся на участке, с изолированными неровностями, (q_1).

Отдельные составляющие расчетного давления колеса на рельс учитываются следующим образом:

статическое давление колеса на рельс ($P_{СТ}$) принимается в расчете по паспортным данным подвижного состава;

сила дополнительного давления от колебания кузова на рессорах учитывается средним давлением и среднеквадратическим отклонением:

$$P_p^{CP} = 0,75P_p, \quad S_p = 0,08P_p \quad (4)$$

сила дополнительного давления, вызванного наличием изолированной неровности на пути, учитывается среднеквадратическим отклонением:

$$S_{ИП} = 0,565 \cdot 10^{-8} \alpha_1 \epsilon \gamma \beta \sqrt{\frac{Uq_K}{K}} v P_{CP} \quad (5)$$

сила дополнительного давления, вызванного наличием изолированной неровности на колесе, учитывается среднеквадратическим отклонением;

$$S_{ИНК} = 0,5 \alpha_0 \xi e_0 \frac{U}{K} \quad (6)$$

сила дополнительного давления, вызванного наличием непрерывной, неровности на колесе, учитывается среднеквадратическим отклонением:

$$S_{ННК} = \frac{0,052 \alpha_0 U v^2 \sqrt{q_K}}{d^2 \sqrt{KU - 3,26K^2 q_K}} \quad (7)$$

В формулах (4 - 7) введены следующие расчетные величины:

α_0 - коэффициент, учитывающий влияние приведенной массы пути на дополнительные давления, вызванные наличием неровностей на колесе (табл. 8);

α_1 - коэффициент, учитывающий влияние приведенной массы пути на дополнительное давление, вызванное наличием изолированной неровности на пути (табл. 8);

ε - коэффициент, учитывающий влияние жесткости подрельсового основания на крутизну дополнительной динамической неровности на пути (табл. 8);

γ - коэффициент, учитывающий род балластного слоя (табл. 8);

Таблица 8 - Расчетные коэффициенты

Обозначение расчетного коэффициента	Величина расчетного коэффициента для пути на балласте					
	Песчаном	Гравийном	асбестовом при шпалах		щебеночном при шпалах	
			Железобетонных	Деревянных	Железобетонных	Деревянных
α_0	0,433	0,433	0,402	0,433	0,402	0,433
α_1	1,0	1,0	0,931	1,0	0,931	1,0
ε	1,0	1,0	0,322	1,0	0,322	1,0
γ	1,5	1,1	1,5	1,5	1,0	1,0

l - среднее расстояние между осями шпал (табл. 10);

Таблица 9 - Величина среднего расстояния между осями шпал

Обозначение расчетной величины	Среднее расстояние между осями шпал в см при фактической эпюре шпал на участке, шт./км			
	1680	1720	1840	2000
l	62	58	55	50

U - модуль упругости подрельсового основания;

v - скорость движения экипажа;

q_k - вес необрессоренных частей экипажа, отнесенный к одному колесу;

d - диаметр среднего круга катания колеса;

e_0 - величина наибольшей расчетной глубины изолированной неровности (табл. 2.4.);

Таблица 10 - Наибольшая расчетная глубина изолированной неровности

Обозначение расчетной величины	Расчетная глубина изолированной неровности в см для колес			
	локомотивных или моторвагонного состава при подшипниках		вагонных при подшипниках	
	скольжения	качения	скольжения	качения
e_0	0,067	0,047	0,133	0,067

β - коэффициент, учитывающий влияние мощности рельса на образование неровности на пути:

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{2018}{J}} ;$$

J - момент инерции рельса с учетом величины износа;

K - коэффициент относительной жесткости рельса и основания:

$$K = \sqrt[4]{\frac{U}{4EJ}} ;$$

E - модуль упругости материала рельсовой стали, $E=2,1 \times 10^6$ кг/см²;

ξ - максимальный дополнительный прогиб рельса при проходке колесом косинусоидальной неровности, отнесенный к единице глубины неровности; принимается $\xi = 1,47$, если соблюдается неравенство:

$$v \geq v_{KP},$$

где

$$v_{KP} = 0,182 \sqrt{\frac{Ug}{Kq_K}},$$

g - ускорение свободного падения, $g = 981 \text{ см/с}^2$.

При расчетах бесстыкового пути, а также для единиц подвижного состава, не прошедших экспериментальную проверку,

$$P_p = \left(0,1 + 0,2 \frac{v}{f_{CT}} \right) (P_{CT} - q_K)$$

где f_{CT} - статический прогиб рессорного комплекта.

4.4 Расчетные напряжения и деформации в элементах верхнего строения пути

Величина напряжений в элементах верхнего строения пути и прогиб рельса определяются с учетом воздействия на расчетное сечение системы (сосредоточенных нагрузок, в зону воздействия которых входит рассматриваемое расчетное сечение. Для верхнего строения пути современных типов влияние от отдельных сосредоточенных нагрузок (давлений осей подвижного состава) практически ощущается при расстоянии от оси до расчетного сечения не более 350 см. При этом следует выбирать наиболее неблагоприятные сочетания системы сосредоточенных нагрузок от осей подвижного состава, а именно; в расчетном сечении устанавливается ось подвижного состава, оказывающая максимально-вероятностное давление на рельс ($P_{PACЧ}$); воздействие от соседних осей учитывается коэффициентами линий влияния при величине давления этих осей на рельс, равной P_{CP} . Коэффициенты линий влияния принимаются с учетом

относительной жесткости рельса и основания (K) и расстояния от расчетного сечения до учитываемой нагрузки от соседней оси ($X=L_i$) в соответствии с расчетными формулами: для изгибающих моментов

$$\mu = e^{-KX}(\cos KX - \sin KX),$$

для прогибов, перерезывающих сил и давления рельса на шпалу

$$\eta = e^{-KX}(\cos KX + \sin KX).$$

Наиболее неблагоприятное сочетание нагрузок следует принимать следующим образом:

-для экипажей с двухосной жесткой базой - одна из осей принимается за расчетную и учитывается влияние второй оси; для экипажей с трехосной жесткой базой предварительно определяется знак коэффициента линии влияния ближайших осей тележки: при положительном значении коэффициента линии влияния за расчетную ось принимается средняя ось тележки и учитывается влияние крайних осей, при отрицательном значении коэффициента линии влияния за расчетную ось принимается крайняя ось тележки и учитывается влияние средней оси.

Считая схему работы рельса под действием расчетной системы грузов статической, получаем:

величину изгибающего момента в расчетном сечении рельса

$$M = \frac{1}{4K} (P_{РАСЧ} + \sum P_{СР} \mu), \quad (8)$$

величину давления рельса на шпалу в расчетном сечении

$$Q = \frac{Kl}{2} (P_{РАСЧ} + \sum P_{СР} \eta), \quad (9)$$

величину прогиба рельса в расчетном сечении

$$Y = \frac{K}{2U} (P_{PACЧ} + \sum P_{CP\eta}) \quad (10)$$

По величине изгибающего момента и давления рельса на шпалу определяется напряжения в элементах верхнего строения пути:

в рельсах:

по оси подошвы

$$\sigma_{П-О} = \frac{M}{W}, \quad (11)$$

кромочные по подшве

$$\sigma_{П-К} = f\sigma_{П-О}, \quad (12)$$

кромочные в головке

$$\sigma_{Г-К} = m_{Г-К}\sigma_{П-О}, \quad (13)$$

по верхней постели шпалы под подкладкой

$$\sigma_{Ш} = \frac{Q}{\omega}, \quad (14)$$

в балластном слое по нижней части шпалы

$$\sigma_{б} = \frac{Q}{\Omega_{\alpha}}. \quad (15)$$

В приведенных выше формулах приняты следующие обозначения:

W - момент сопротивления рельса;

f - коэффициент учета горизонтального изгиба и кручения рельса;

$m_{Г-К}$ - коэффициент перехода от осевых напряжений в подошве рельса к кромочным напряжениям в подошве рельса:

$$m_{Г-К} \cong \frac{Z_{Г}}{Z_{П}} + (f-1) \frac{b_{Г}}{b_{П}},$$

Z_G, Z_{II} - расстояние от горизонтальной оси рельса, проходящей через центр тяжести рельса, до крайних волокон соответственно головки и подошвы рельса;

b_{II}, b_G - ширина соответственно подошвы и головки рельса в расчетном уровне;

ω - площадь подрельсовой подкладки;

Ω_α - опорная площадь полушпалы с учетом изгиба.

4.5 Допускаемые напряжения

В соответствии с [6] критерии прочности пути определены из условия обеспечения его надежности по следующим критериям:

- $[\sigma_k]$ - из условия неперевышения допускаемого количества отказов рельсов за период нормативной наработки;
- $[\sigma_{ш}]$ - из условия неперевышения допускаемого износа шпал и прокладок под подкладками за период нормативной наработки;
- $[\sigma_6]$ и $[\sigma_3]$ - из условия неперевышения допускаемой интенсивности накопления остаточных деформации соответственно в балласте и на основной площадке земляного полотна.

Численные значения оценочных критериев прочности звеньев пути приведены в табл. 8.

Таблица 8 - Оценочные критерии прочности

Критерии	Вид подвижного состава	Значения оценочных критериев прочности, кг/см ² , при грузонапряженности, млн. ткм брутто на км в год*			
		>50	50-25	24-10	<10
[σ_k]	Локомотив «Афрасиаб»	1900	200	2400	3400
	Вагоны	1500	1600	2000	3000
[$\sigma_{ш}$]	Локомотив «Афрасиаб»	12	16	20	30
	Вагоны	11	15	18	27
[$\sigma_б$]	Локомотив «Афрасиаб»	4.0	4.2	4.5	5.0
	Вагоны	2.6	3.0	3.5	4.0
[$\sigma_з$]	Локомотив «Афрасиаб»	1.0	1.0	1.1	1.2
	Вагоны	0.8	0.8	0.9	1.0

Примечание. *Для новостроек па 10-й год эксплуатации.

Данные таблицы применимы: [σ_k] — для типовых нетермообработанных рельсов в прямых и кривых радиусом более 1000 м. Для термоупрочненных рельсов значения [σ_k] увеличиваются на 14 %, В кривых с $R \leq 1000$ м [σ_k] — 2400 кг/см², так как нормативными документами предусмотрена сплошная смена рельсов между капитальными ремонтами пути в кривых с $R = 1000 \div 651$ м — один раз, $R = 650 \div 351$ м — два раза; $R \leq 350$ м — три раза; [$\sigma_{ш}$] — для сосновых стандартных шпал; [σ_k]=40 кг/см²-допускаемое напряжение в прокладке (при железобетонных шпалах); [$\sigma_б$]-для щебеночного и асбестового балласта. Для песчаного балласта приведенные значения [$\sigma_б$] необходимо уменьшить в 1,6 раза, при карьерном гравии и ракушке в 1,4 раза; [$\sigma_з$] для земляного полотна из суглинистых грунтов.

4.6 Напряженное состояние основной площадки земляного полотна

Расчет напряжений на основной площадке земляного полотна, как правило, принято вести на основе вероятностного совокупного воздействия всех осей расчетного поезда. Учитывая, что по пути проследуют поезда с различным сочетанием нагрузки на ось (порожние и груженые), имеющие в составе вагоны различных типов (четырёх-, шести- и восьми-осные), выбор состава расчетного поезда является затруднительным. Поэтому целесообразно определять напряжение на основной площадке земляного полотна от воздействия типовой единицы подвижного состава, преобладающей в поезде. Для средних условий за такую единицу подвижного состава можно принимать четырехосный грузовой вагон. При преобладающем движении по участку шести- или восьми-осных полувагонов за расчетную единицу подвижного состава принимать шести- или восьмиосный полувагон для определения воздействий на основную площадку земляного полотна.

Метод расчета напряжений на основной площадке земляного полотна заключается в суммировании напряжений, передаваемых в расчетную точку от трех соседних шпал, средняя из которых расположена в сечении над расчетной точкой.

$$\delta_h = \delta_h' + \delta_{hc}' + \delta_{hc}''$$

где δ_h' - напряжение на основной площадке земляного полотна, вызванное давлением основной расчетной шпалы в расчетном сечении:

$$\delta_h' = r_1 \delta_0 [0,635mC_1 + 1,275(2 - m)C_2]$$

δ_6 - напряжение в балласте по нижней постели расчетной шпалы;

r_1 - поправочный коэффициент, учитывающий род шпал: для железобетонных - $r_1 = 0,7$, для деревянных - $r_1 = 0,8$;

m - коэффициент, учитывающий характер распределения напряжений в балластном слое по нижней поверхности шпалы в поперечном направлении:

$$m = \frac{8,9}{\delta_6 + 4,35}$$

Принимаемая в расчетах величина m должна соответствовать условию: $1 \leq m \leq 2$;

C_1, C_2 - параметры, учитывающие характер распределения напряжений в балластном слое под шпалой:

$$C_1 = \frac{b}{2h} - \frac{b^3}{24h^3}, \quad C_2 = \frac{bh}{b^2 + 4h^2},$$

b - средняя ширина нижней постели шпалы,

h - толщина балласта под шпалой

Величины параметров C_1 и C_2 можно принимать для типовых конструкций верхнего строения пути;

$\delta'_{hc}; \delta''_{hc}$ - напряжение в расчетной точке основной площадки земляного полотна, передаваемое от соседних шпал:

$$\delta'_{hc} = \frac{r_1}{\pi} A \delta'_{\sigma c}, \quad \delta''_{hc} = \frac{r_1}{\pi} A \delta''_{\sigma c}$$

A - параметр, определяющий характер передачи давлений в балластном слое от соседних шпал на расчетную точку:

$$A = \beta_1 - \beta_2 + 0,5(\sin 2\beta_1 - \sin 2\beta_2),$$

$\delta'_{\sigma c}; \delta''_{\sigma c}$ - соответственно напряжения в балластном слое под первой и второй соседними шпалами от поездной нагрузки:

$$\delta_{\delta c}^I = \frac{Q_c^I}{\Omega_\alpha}; \quad \delta_{\delta c}^{II} = \frac{Q_c^{II}}{\Omega_\alpha};$$

$Q_c^I; Q_c^{II}$ - давления от расчетной нагрузки и соседних осей подвижного состава соответственно на первую и вторую соседние шпалы:

$$Q_c^I = \frac{Kl}{2} (P_{РАСЧ} \eta'_{РАСЧ} + \sum P_{СР} \eta'_C);$$

$$Q_c^{II} = \frac{Kl}{2} (P_{РАСЧ} \eta''_{РАСЧ} + \sum P_{СР} \eta''_C)$$

Полученное в процессе расчета напряжение δ_h сравнивается с допусаемым напряжением для грунта основной площадки земляного полотна (табл. 11).

4.7 Расчеты бесстыкового пути

Практические расчеты бесстыкового пути выполняются с целью определения условий укладки и закрепления плетей бесстыкового пути и установления режимов эксплуатации. Для этого на основе рассмотрения условий прочности и устойчивости плетей бесстыкового пути определяются возможные запасы изменения температуры плети по сравнению с температурой закрепления ее для работы в выбранном режиме эксплуатации.

Допускаемые интервалы изменения температуры плети бесстыкового пути по условиям прочности рельса

Для бесстыкового пути из-за наличия погонных и стыковых сопротивлений температурному изменению длины плети

характерно развитие значительных продольных сил, вызывающих осевое напряженное состояние рельса даже при отсутствии поездной нагрузки. Поэтому общее условие прочности для рельсов бесстыкового пути, принятое до настоящего времени в практических расчетах, имеет вид:

$$K_{\Pi} \delta_K + \delta_t \leq [\delta]$$

где K_{Π} - коэффициент запаса прочности, $K_{\Pi} = 1,3$;

δ_K - кромочные напряжения в наиболее загруженных волокнах рельса, реализуемые при воздействии поездной нагрузки. Устанавливаются предварительным расчетом элементов верхнего строения пути на прочность;

δ_t - нормальные напряжения в рельсах, возникающие в связи с изменением температуры плети по сравнению с температурой ее зацепления;

$[\delta]$ - допускаемое напряжение для рельса плети бесстыкового пути, принимаемое равным условному нормальному пределу текучести рельсовой стали, $[\delta] = 3500 \text{ кг/см}^2$.

Плеть бесстыкового пути работает при температурах как выше, так и ниже температуры закрепления. То есть нормальные температурные напряжения могут быть и растягивающими (при пониженных температурах), и сжимающими (при повышенных температурах). Учитывая характер распределения нормальных напряжений от изгиба по поперечному сечению рельса, следует общее условие прочности преобразовать:

для температур работы бесстыковой плети ниже температуры закрепления

$$K_{\Pi} \delta_{\Pi-K} + \delta_{tp} \leq [\delta];$$

для температур работы бесстыковой плети выше температуры закрепления

$$K_{II} \delta_{Г-К} + \delta_{tc} \leq [\delta];$$

где δ_{tp} ; δ_{tc} - соответственно нормальные напряжения растяжения и сжатия по поперечному сечению рельса бесстыковой плети, вызванные изменением температуры рельса по сравнению с температурой закрепления;

$\delta_{II-К}$ - растягивающие напряжения в кромочных волокнах подошвы рельса от изгиба под поездной нагрузкой. Подсчитываются по формуле (12) с учетом состояния балластного слоя. Для районов с минимальными температурами не ниже -20°C расчетные параметры состояния железнодорожного пути принимаются для подсчета $\delta_{II-К}$ по летним условиям работы, а для районов с минимальными температурами рельса ниже -20°C - по зимним условиям работы;

$\delta_{Г-К}$ - сжимающие напряжения в кромочных волокнах головки рельса от изгиба под поездной нагрузкой. Подсчитываются по формуле (13) для летних условий работы пути.

При полном отсутствии температурного изменения длины рельса температурные напряжения незагруженной поездной нагрузкой плети составляют

$$\delta_t = \alpha E \Delta t \approx 25 \Delta t,$$

где α - коэффициент линейного расширения рельсовой стали, $\alpha = 1,18 \times 10^{-5}$ 1/град;

Δt - интервал изменения температуры рельса по сравнению с температурой закрепления.

Следовательно, на основе условий прочности можно определить допустимые интервалы безопасного изменения температуры:

- понижение температуры рельса по условиям прочности кромочных волокон подошвы рельса

$$\Delta t_{III} \leq \frac{[\delta] - K_{II} \delta_{II-K}}{25}$$

- повышение температуры рельса по условиям прочности кромочных волокон головки рельса

$$\Delta t_{III} \leq \frac{[\delta] - K_{II} \delta_{Г-K}}{25}$$

Допустимые интервалы изменения температуры плети бесстыкового пути по условиям устойчивости

В летних условиях при повышенных по сравнению с закреплением плети температурах продольные сжимающие температурные силы могут привести к нарушению устойчивости первоначального положения плети, т.е. к выбросу пути. Допустимое повышение температуры по условиям сохранения устойчивости положения рельсо-шпальной решетки составляет:

$$\Delta t_y \leq \frac{[N_K]}{50F}$$

где F - площадь поперечного сечения рельса;

$[N_K]$ - допустимая продольная сила, не вызывающая потери устойчивости положения рельсошпальной решетки.

Условия укладки и эксплуатации бесстыкового пути

Для железных дорог Узбекистана характерно применение температурно-напряженного бесстыкового пути без сезонных

разрядок напряжений. Укладка и эксплуатация бесстыкового пути в этом случае возможны при соблюдении условия

$$T_A \leq [T_A],$$

где T_A - фактическая максимальная годовая амплитуда колебания температуры рельса для района эксплуатации бесстыкового пути;

$[T_A]$ - допускаемая по условиям прочности и устойчивости амплитуда изменения температуры рельса:

$$[T_A] = \Delta t_P + \Delta t_C - [\Delta t_3],$$

Δt_P - допускаемый интервал понижения температуры рельса по сравнению с температурой закрепления, когда в рельсах возникают растягивающие температурные силы, принимается $\Delta t_P = \Delta t_{III}$;

Δt_C - допускаемый интервал повышения температуры рельса по сравнению с температурой закрепления, когда в рельсах возникают сжимающие температурные силы, принимается равным наименьшей из величин Δt_{III} и Δt_y ;

$[\Delta t_3]$ - интервал температур, на котором можно произвести окончательное закрепление плетей, устанавливаемый по условиям производства работ; минимальный интервал $[\Delta t_3]$ рекомендуется принимать при закреплении в весенний период 15°C , а в осенний период - 10°C ;

При соблюдении условия возможна укладка и эксплуатация бесстыкового пути температурно-напряженного типа без сезонных разрядок. Фактический возможный интервал закрепления плети составит:

$$\Delta t_3 = \Delta t_P + \Delta t_C - T_A$$

При этом возможные крайние температуры закрепления плети могут быть приняты:

минимальная температура закрепления

$$mint_3 = t_{maxmax} - \Delta t_C$$

максимальная температура закрепления

$$maxt_3 = \Delta t_P + t_{minmin}.$$

В этих формулах включены температуры:

t_{maxmax} - максимальная летняя температура рельса;

t_{minmin} - минимальная зимняя температура рельса.

В результате расчетов были получены все параметры напряженно-деформированного состояния пути: сила воздействия от колеса на рельс ($P_{расч}$); осевые и кромочные напряжения в подошве и головке рельса ($\sigma_{п-о}$; $\sigma_{п-к}$; $\sigma_{г-к}$); напряжения в прокладке ($\sigma_{ш}$); напряжения в балластном слое и на основной площадке земляного полотна ($\sigma_{бл}$ и $\sigma_{онзп}$); допускаемые интервалы изменения температуры плети бесстыкового пути Δt_P и Δt_C ; температурный интервал закрепления плетей ($mint_3$ - $maxt_3$); температурные силы в плетях P_t .

4.8 Выводы по результатам расчетов на прочность и устойчивость

Самостоятельные расчеты были выполнены для пассажирского электровоза «Афрасиаб» для скоростей 160 – 200 – 250 км/ч (прил.1).

Расчеты для электропоезда «Узбекистан» расчеты были взяты из диссертации Шодманова С.

При этом были приняты следующие начальные условия, соответствующие эксплуатационным параметрам ГАЖК «Узбекистон темир йуллари»:

1. Локомотив: «Афрасиаб»
2. Район: Ташкентский вилоят
3. Рельсы: Р65, шпалы ВФ70 с эпюрой 1680/1720/1840/2000 шт/км
4. Температура рельса: минимальная: -30
максимальная: 64
годовая амплитуда: 94
5. Модуль упругости подрельсового основания, кг/см² (I вариант):
в прямой: - летом: 2000
- зимой: 3000
в кривой: - летом: 2200
- зимой: 3300
6. Модуль упругости подрельсового основания, кг/см² (II вариант):
в прямой: - летом: 3000
- зимой: 4500
в кривой: - летом: 3400
- зимой: 5100
7. Балласт щебеночный на песчаной подушке толщиной, см
I вариант - 35/20 см
II вариант - 20/20 см

В качестве примера ниже приведены полученные величины $P_{расч}$ и напряжений (табл. 3 и 4) при: $\mathcal{E}_ш=1840/2000$ шпал/км; $U_{пр-л}=3000$ кг/см²; $U_{пр-з}=4500$ кг/см²; толщина балласта $a_б=35/20$ см, минимальный радиус: 1000 м (для $v=160$ км/ч), 1500 м (для $v=200$ км/ч), 1200 м (для $v=160$ км/ч).

Таблица 3 – Напряжения в рельсах, резиновых прокладках и в балласте под шпалой

V, км/ч	P _{расч}	Напряжения в рельсах, прокладках и балласте				
		σ _{п-о}	σ _{п-к}	σ _{г-к}	σ _ш	σ _б
----- Прямая, лето -----						
160	16158,30	543,56	614,22	744,45	29,30	2,74
200	18085,10	607,89	686,91	832,55	32,80	3,06
250	20760,60	697,19	787,82	954,86	37,65	3,52
----- Прямая, зима -----						
160	17093,00	517,27	584,51	708,44	34,40	3,21
200	19271,30	582,90	658,68	798,33	38,78	3,62
250	22310,00	674,46	762,14	923,73	44,89	4,19
----- R=2000, лето -----						
160	16158,30	543,56	625,09	749,88	29,30	2,74
200	18085,10	607,89	699,07	838,63	32,80	3,06
----- R=2000, зима -----						
160	17093,00	517,27	594,85	713,61	34,40	3,21
200	19271,30	582,90	670,34	804,16	38,78	3,62
----- R=1200, лето -----						
160	16058,30	522,96	617,09	729,31	27,67	2,59
----- R=1200, зима -----						
160	16990,30	497,73	587,32	694,13	32,48	3,03
----- R=1000, лето -----						
160	16058,30	522,96	638,01	739,77	27,67	2,59
----- R=1000, зима -----						
160	16990,30	497,73	607,23	704,08	32,48	3,03

Таблица 4 – Напряжения на основной площадке земляного полотна:

V, км/ч	ПРЯМАЯ		КРИВАЯ	
	ЛЕТО	ЗИМА	ЛЕТО	ЗИМА
160	0,67	0,77	0,68	0,79
200	0,75	0,87	0,76	0,89
250	0,86	1,00	0,87	1,02

Таблица 5 – Таблица температур закрепления плети

	V1, км/ч	V2, км/ч	V3, км/ч
	160	200	250
	mintз maxтз	mintз maxтз	mintз maxтз
Прямая	17 64	17 64	17 64
R=2000	14 64	14 64	
R=1200	17 64		
R=1000	18 64		

Результаты расчетов для различной толщины балластного слоя и скоростях движения электропоезда «Афрасиаб» приведены в прил. 1

Полученные напряжения были сравнены с их допускаемыми величинами (табл. 8), в результате чего были сделаны следующие выводы:

1. Установлена существенная зависимость напряжений в элементах верхнего строения пути от модуля упругости подрельсового основания. Для объективной оценки расчетных и фактических напряжений необходимо экспериментальным путем установить величины этого параметра для различных условий эксплуатации (раздел).

2. Для принятых в расчетах $U_{np-л}=3000$ кг/см²; $U_{np-з}=4500$ кг/см² $U_{кр-л}=3400$ кг/см²; $U_{кр-з}=5100$ кг/см² при $a_б=20/20$ см при эпюре шпал от 1680 до 2000 шпал/км напряжения в резиновых прокладках, в балласте под шпалой и на основной площадке земляного полотна существенно превышают допустимые значения. При $a_б=35/20$ см не превышение допустимых напряжений в этом случае имеет место только при эпюре шпал 2000/2000 шпал/км и скоростях до 160 км/ч. При принятых величинах U_i на скоростных и высокоскоростных участках при воздействии электропоезда «Афрасиаб» необходимо устройство защитных

слоёв земляного полотна из гравийно – песчаной смеси толщиной не менее 50 см..

3. Для принятых в расчете $U_{np-л}=2000$ кг/см²; $U_{np-з}=3000$ кг/см²; $U_{кр-л}=2200$ кг/см²; $U_{кр-з}=3300$ кг/см² при $a_б=20/20$ см при эпюре шпал 1680/1720, 1720/1840 и 1840/2000 шпал/км при скоростях 160-250 км/ч напряжения в резиновых прокладках, в балласте под шпалой и на основной площадке земляного полотна превышают допустимые значения. Не превышение допустимых напряжений в этом случае имеет место только при эпюре шпал 2000/2000 шпал/км и скоростях до 160 км/ч. При $a_б=35/20$ см не превышение допустимых напряжений в этом случае имеет место при эпюре шпал 2000/2000 шпал/км и скоростях до 200 км/ч. При принятых величинах U_i на высокоскоростных участках при воздействии электропоезда «Афрасиаб» необходимо устройство защитных слоёв земляного полотна из гравийно – песчаной смеси толщиной не менее 50 см.

4. Установлено, что толщина балласта на скоростных участках при воздействии электропоездов «Афрасиаб» и «Узбекистан» (до 200 км/ч) должна быть не менее $a_б=35/20$ см. Участки с меньшей толщиной балласта необходимо реконструировать.

5. На высокоскоростных участках необходимо устройство защитных слоев из щебенисто-гравийно-песчаных смесей, укладываемого на границе щебня и естественного грунта. Толщина защитного слоя в каждом конкретном случае рассчитывается в зависимости от типа подвижного состава и эксплуатационных параметров железнодорожной линии и должна быть не менее 50 см при толщине щебеночного слоя 35 см.

4.9 Методика определения модуля упругости подрельсового основания

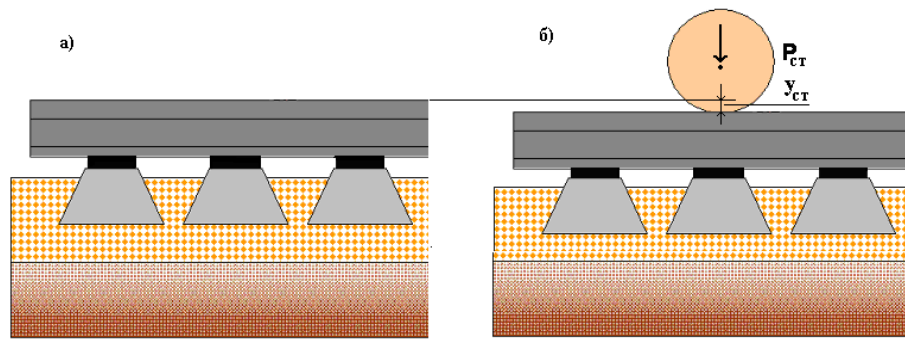
При определении модуля упругости подрельсового основания величина P может быть установлена следующими способами:

1. По известным величинам статических осевых нагрузок от различных типов подвижного состава, статически действующими на расчетное сечение (рис. 22). При необходимости учет влияния соседних осей производится по известной методике расчетов железнодорожного пути на прочность.

Путем нагружения рельса статической нагрузкой, передаваемой от домкратов на головку рельса (рис.22). При этом влияние соседних осей не учитывается (т.к. $li \geq 3,5$ м).

2. Нагружением рельса динамической нагрузкой от различных типов подвижного состава, движущихся с различной скоростью. При этом с помощью тензометрической аппаратуры и осциллографов непрерывно фиксируется с записью и дальнейшей расшифровкой величины прогибов рельсов в расчетных сечениях. В этом случае необходимо учитывать влияние соседних осей на величины динамических нагрузок от колес подвижного состава (см. следующий раздел).

Прогибы рельса в указанных случаях определяются с помощью прогибомеров. Прогибомеры устанавливаются на свайках, забитых около рельсов на глубину 0,70—0,75 м от верха поверхности балласта (рис 23).



а) путь без нагрузки; б) путь под нагрузкой

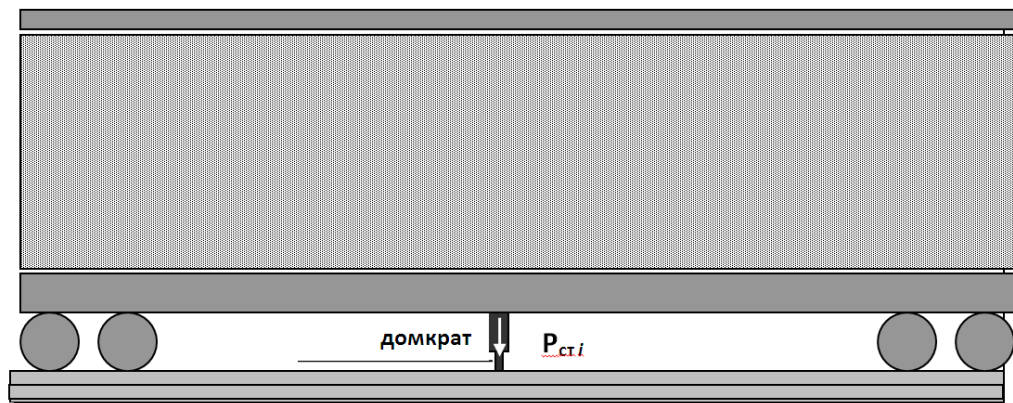


Рис. 22 Схема определения модуля упругости подрельсового основания
(вариант 1)

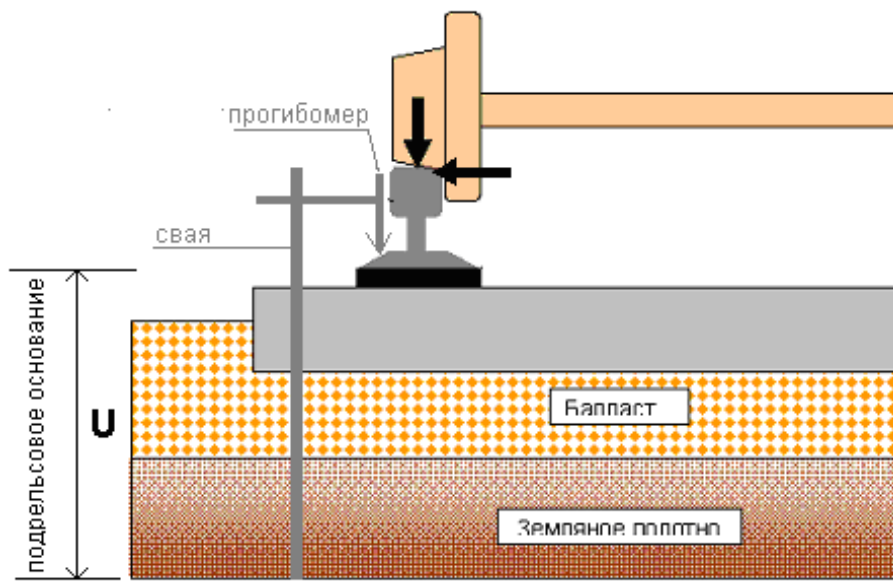


Рис. 23 Схема определения модуля упругости подрельсового основания
(вариант 2)

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ ПО ДИССЕРТАЦИИ

1. Диссертация посвящена изучению вопроса разработки оптимальной конструкции балластной призмы на участках ГАЖК «Узбекистон темир йуллари», где обращаются высокоскоростные («Афрасиаб» - до 250 км/ч) и скоростные поезда («Афрасиаб» и «Узбекистан» - 160-200 км/ч) на направлении Ташкент - Самарканд.

2. Установлено, что высокий уровень динамического воздействия на путь и земляное полотно от воздействия скоростных и высокоскоростных поездов «Афрасиаб» и «Узбекистан» с учетом высокочастотной вибрации вызывает резкий рост остаточных деформаций, в том числе интенсивное дробление балластного слоя в пути, осадки земляного полотна, износ подвижного состава и др.

3. Впервые выполнены расчеты напряженного и деформированного состояния элементов верхнего строения пути и земляного полотна под воздействием электропоезда «Афрасиаб» при скоростях до 250 км/ч. Для сравнения взяты результаты аналогичных расчетов, выполненных магистрантом Шодмановым С. для электропоезда «Узбекистан» для скоростей до 160 км/ч.

4. Установлено, что динамическое воздействие на путь от электропоезда «Афрасиаб» на 34-38% ниже, чем при тех же условиях упоезда «Узбекистан». Динамическое воздействие от электропоезда «Афрасиаб» при скорости 250 км/ч приблизительно соответствует динамическому воздействию от поезда «Узбекистан» при скорости 160 км/ч.

5. Были проанализировать требования различных нормативных документов по конструкции и размерам балластной призмы на скоростных и высокоскоростных линиях. Установлено, что в нормативных документах них нет единого подхода к параметрам балластной призмы для участков скоростного и высокоскоростного движения поездов.

6. Установлено, что фактическая толщина балластного слоя на направлении Ташкент-Самарканд на многих участках находится в пределах 20-35 см и менее, то есть явно недостаточна для обеспечения безопасности движения поездов на скоростных и высокоскоростных линиях.

7. Установлены критерии определения необходимой толщины балластного слоя и ширины плеча балластной призмы по предельно допустимым напряжениям на основной площадке земляного полотна и исключению выброса бесстыкового пути.

8. Получены величины допускаемых повышений температуры Δt_y , °С по сравнению с температурой закрепления плетей железнодорожного пути со шпалами BF70 и скреплениями «PandrolFastclip» на ГАЖК «Узбекистон темир йуллари» по условию устойчивости пути.

9. Определены оптимальные размеры плеча балластной призмы из условия исключения выброса пути для скоростных и высокоскоростных линий. При эпюре шпал в прямых и кривых участках пути 2000 шт/км ширина плеча должна составлять не менее 45 см.

10. Приведенная в ВСН «Ведомственные технические указания по проектированию новых железнодорожных линии колеи 1520 мм» ширина балластной призмы поверху на прямых однопутных участках должна быть на высокоскоростных линиях в размере не менее 3,85 м нельзя считать обоснованной, так как плечо балластной призмы в этом случае составляет 57,5 м (вместо требуемых 45 см). Это приводит к удорожанию строительства железнодорожного пути.

6. Установлено, что уклон неровности железнодорожного пути в плане не должен превышать $i=2\%$.

7. Установлена существенная зависимость напряжений в элементах верхнего строения пути σ_i от модуля упругости подрельсового основания U_i . Для объективной оценки расчетных и фактических напряжений необходимо экспериментальным путем установить величины этого параметра для

различных условий эксплуатации. Рекомендуемая методика приведена в разделе 4.9.

8. Для принятых в расчетах по первому варианту $U_{np-l}=3000$ кг/см²; $U_{np-z}=4500$ кг/см²; $U_{кр-l}=3400$ кг/см²; $U_{кр-z}=5100$ кг/см² при $a_6=20/20$ см при эюре шпал от 1680 до 2000 шпал/км напряжения в резиновых прокладках, в балласте под шпалой и на основной площадке земляного полотна существенно превышают допустимые значения. При $a_6=35/20$ см не превышение допустимых напряжений в этом случае имеет место только при эюре шпал 2000/2000 шпал/км и скоростях до 160 км/ч. При таких величинах U_i и толщине балласта на скоростных и высокоскоростных участках при воздействии электропоезда «Афрасиаб» необходимо устройство защитных слоёв земляного полотна из гравийно – песчаной смеси толщиной не менее 50 см.

9. Для принятых в расчете по второму варианту $U_{np-l}=2000$ кг/см²; $U_{np-z}=3000$ кг/см²; $U_{кр-l}=2200$ кг/см²; $U_{кр-z}=3300$ кг/см² при $a_6=20/20$ см при эюре шпал 1680/1720, 1720/1840 и 1840/2000 шпал/км при скоростях 160-250 км/ч напряжения в резиновых прокладках, в балласте под шпалой и на основной площадке земляного полотна превышают допустимые значения. Не превышение допустимых напряжений в этом случае имеет место только при эюре шпал 2000/2000 шпал/км и скоростях до 160 км/ч. При $a_6=35/20$ см не превышение допустимых напряжений в этом случае имеет место при эюре шпал 2000/2000 шпал/км и скоростях до 200 км/ч. При принятых величинах U_i на высокоскоростных участках при воздействии электропоезда «Афрасиаб» необходимо устройство защитных слоёв земляного полотна из гравийно – песчаной смеси толщиной не менее 50 см.

10. Установлено, что толщина балласта на скоростных участках при воздействии электропоездов «Афрасиаб»(до 200 км/ч) и «Узбекистан» (160 км/ч) должна быть не менее $a_6=35-40/20$ см. Участки с меньшей толщиной балласта необходимо реконструировать.

11. На высокоскоростных участках целесообразно при толщине щебеночного слоя 40 см устройство защитных слоев из щебенисто-гравийно-песчаных смесей, укладываемого на границе щебня и естественного грунта. Толщина защитного слоя в каждом конкретном случае рассчитывается в зависимости от типа подвижного состава и эксплуатационных параметров железнодорожной линии, но должна быть не менее 50 см.

ЛИТЕРАТУРА

1. Приказ №70Н ГАЖК «Узбекистон темир йуллари» от 05.11.1995 г. «О переходе на новую систему ведения путевого хозяйства на основе повышения технического уровня и внедрения ресурсосберегающих технологий». Ташкент, 1995.
2. Инструкция по текущему содержанию железнодорожного пути. Ташкент, «Узбекистон темир йуллари», 2004.
3. Железнодорожный путь/под ред. Т.Г. Яковлевой.- М.: Транспорт, 2001.
4. Основы устройства и расчетов железнодорожного пути. Под ред. С.В. Амелина и Т.Г.Яковлевой. М.: Транспорт, 1990.
5. Бесстыковой путь. /Под ред. Г. Альбрехта. М.: Транспорт, 2000.
6. Шахунянц, Г.М. Железнодорожный путь: Учеб.для вузов ж.-д.трансп. – 3-е изд., перераб. и доп. / Г.М. Шахунянц– М.: Транспорт. 1987.
7. Шахунянц Г.М. К вопросу об определении эпюры давления на балласт. Труды МИИТа, вып. 45, Трансжелдориздат, 1936
8. Прокудин И.В. Прочность и деформативность железнодорожного земляного полотна из глинистых грунтов, воспринимающихвибродинамическую нагрузку: Дис. ... докт.техн.наук. - Л., 1982. - 455 с.
9. Марготьев А.Н. Оценка прочности балластного слоя и земляного полотна по предельному состоянию. -М.: Транспорт, 1970.-152 с.
- 10.Соловьев В.В. Размеры двухслойной балластной призмы на участках обращения поездов с осевыми нагрузками 250 – 270 кН. Дис. ... канд. техн. наук. - Л., 1990. -185 с.
- 11.Мамажанов Р.К. и др. Определение оптимальных параметров и условий эксплуатации железнодорожного пути с железобетонными шпалами типа ВФ 70 и эластичными рельсовыми скреплениями «Pandrol Fastclip» на направлении Самарканд – Бухара.Ташкент, ТашиИТ 2005 г.

12. Мамажанов Р.К. Экспериментальные и эксплуатационные исследования работы железнодорожного пути с железобетонными шпалами BF70 и промежуточными рельсовыми скреплениями типа «PandrolFastclip». Ташкент, ТашИИТ 2006 г.
13. Овчинников А.Н., Мамажанов Р.К., д.т.н., Вопросы исследования поперечной устойчивости путевой решетки с железобетонными шпалами типа BF 70 и скреплениями «Pandrol Fastclip». Ташкент, ТашИИТ, 2006 г.
14. Овчинников А.Н. Перспективы применения на ГАЖК «Узбекистон темир йуллари» железобетонных шпал с эластичными скреплениями. Алматы, КАТиК, 2005 г.
15. Овчинников А.Н. Экспериментальные исследования работы железобетонных шпал BF70 с упругими рельсовыми скреплениями. Москва, РГУПС, 2009 г.

Напряжения в элементах железнодорожного пути

Условные обозначения:

- Оп-о - напряжения в подошве рельса осевые
- Оп-к- напряжения в подошве рельса кромочные
- Ог-к - напряжения в головке рельса кромочные
- Ош - напряжения в подрельсовой прокладке
- Об - напряжения в балластепод шпалой

Локомотив: Афрасиаб. Район: Ташкентский вилоят. Рельсы:Р65. Шпалы - ВФ70. Эпюра 1680/1720 шпал/км. Скрепления «PandrolFastclip». Толщина балласта-35/20 см. Температура рельса: минимальная: -30, максимальная: +64. Модуль упругости подрельсового основания, кг/см²: в прямойлетом-2000, зимой-3000; в кривой: летом-2200кг/см²; зимой-3300.

V, км/ч		Расч Напряжения в рельсах, прокладках и балластном слое				
		Оп-о	Оп-к	Ог-к	Ош	Об
----- Прямая, лето -----						
160	15745,10	587,54	663,92	804,68	28,12	2,63
200	17549,90	654,26	739,31	896,06	31,36	2,93
250	20030,50	745,95	842,92	1021,64	35,81	3,35
----- Прямая, зима -----						
160	16586,70	557,83	630,35	763,99	32,94	3,08
200	18628,20	625,98	707,35	857,33	37,00	3,46
250	21444,40	719,96	813,56	986,05	42,60	3,98
----- R=2000, лето -----						
160	15745,10	587,54	675,67	810,56	28,12	2,63
200	17549,90	654,26	752,40	902,60	31,36	2,93
----- R=2000, зима -----						
160	16586,70	557,83	641,50	769,57	32,94	3,08
200	18628,20	625,98	719,87	863,59	37,00	3,46
----- R=1200, лето -----						
160	15827,30	576,59	680,38	804,11	28,31	2,65
----- R=1200, зима -----						
160	16687,30	547,49	646,04	763,52	33,17	3,10
----- R=1000, лето -----						
160	15827,30	576,59	703,44	815,64	28,31	2,65
----- R=1000, зима -----						
160	16687,30	547,49	667,94	774,47	33,17	3,10

НАПРЯЖЕНИЯ НА ОСНОВНОЙ ПЛОЩАДКЕЗЕМЛЯННОГО ПОЛОТНА

V, км/ч	ПРЯМАЯ		КРИВАЯ	
	ЛЕТО	ЗИМА	ЛЕТО	ЗИМА
	160	0,63	0,72	0,63
200	0,70	0,81	0,70	0,82
250	0,80	0,94	0,80	0,94

ДОПУСКАЕМЫЕ ИНТЕРВАЛЫ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПЛЕТИ

	дельта t_p			дельта t_g		
	V1	V2	V3	V1	V2	V3
	160	200	250	160	200	250
Прямая	107	103	98	98	93	87
R=2000	107	103		98	93	
R=1200	106			98		
R=1000	105			98		

ТАБЛИЦА ТЕМПЕРАТУР ЗАКРЕПЛЕНИЯ ПЛЕТИ

	V1, км/ч		V2, км/ч		V3, км/ч	
	160	200	250			
Прямая	17	77	17	73	17	68
R=2000	14	77	14	73		
R=1200	17	76				
R=1000	18	75				

ТАБЛИЦА ПРОДОЛЬНЫХ СИЛ

	V1, км/ч			V2, км/ч			V3, км/ч		
	160			200			250		
	Ntz	Ntl	Nk	Ntz	Ntl	Nk	Ntz	Ntl	Nk
Прямая	407872	373388	178788	392640	355312	178788	371631	330472	178788
R=2000	405666	372226	190200	390163	354018	190200			
R=1200	404769	373501	178788						
R=1000	400437	371220	174984						

Локомотив: Афрасиаб. Район: Ташкентский вилоят. Рельсы:Р65. Шпалы - ВЕ70. Эюра 1720/1840 шпал/км. Крепления «Pandrol Fastclip».Толщина балласта-35/20 см. Температура рельса: минимальная: -30, максимальная: +64. Модуль упругости подрельсового основания, кг/см²:в прямой: летом-2000, зимой-3000; в кривой: летом-2200кг/см²; зимой-3300.

V, км/ч	Расч	Напряжения в элементах ВСП				
		СИГМАп-о	СИГМАп-к	СИГМАг-к	СИГМАш	СИГМАб
----- Прямая, лето -----						
160	15645,80	583,87	659,78	799,66	27,29	2,55
200	17424,10	649,62	734,07	889,71	30,41	2,84
250	19872,20	740,11	836,33	1013,65	34,70	3,24
----- Прямая, зима -----						
160	16471,50	553,99	626,01	758,74	31,95	2,99
200	18482,10	621,11	701,85	850,66	35,86	3,35
250	21260,20	713,83	806,63	977,65	41,25	3,85
----- R=2000, лето -----						
160	15645,80	583,87	671,45	805,50	27,29	2,55
200	17424,10	649,62	747,07	896,21	30,41	2,84
----- R=2000, зима -----						
160	16471,50	553,99	637,09	764,28	31,95	2,99
200	18482,10	621,11	714,28	856,87	35,86	3,35
----- R=1200, лето -----						
160	15547,30	566,52	668,49	790,05	26,00	2,43
----- R=1200, зима -----						
160	16363,10	536,95	633,60	748,82	30,41	2,84
----- R=1000, лето -----						
160	15547,30	566,52	691,15	801,38	26,00	2,43
----- R=1000, зима -----						
160	16363,10	536,95	655,08	759,56	30,41	2,84

НАПРЯЖЕНИЯ НА ОСНОВНОЙ ПЛОЩАДКЕЗЕМЛЯННОГО ПОЛОТНА:

V, км/ч	ПРЯМАЯ		КРИВАЯ	
	ЛЕТО	ЗИМА	ЛЕТО	ЗИМА
	160	0,61	0,71	0,62
200	0,68	0,79	0,69	0,81
250	0,78	0,91	0,79	0,93

ДОПУСКАЕМЫЕ ИНТЕРВАЛЫ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПЛЕТИ

	дельта tp			дельта tg		
	V1	V2	V3	V1	V2	V3
	160	200	250	160	200	250
Прямая	107	104	98	98	94	87
R=2000	107	103	97	98	93	87
R=1200	107			99		
R=1000	106			98		

ТАБЛИЦА ТЕМПЕРАТУР ЗАКРЕПЛЕНИЯ ПЛЕТИ

	V1, км/ч		V2, км/ч		V3, км/ч	
	160		200		250	
	mintз	maxтз	mintз	maxтз	mintз	maxтз
Прямая	17	77	17	74	17	68
R=2000	14	77	14	73	14	67
R=1200	17	77	17	73	17	68
R=1000	18	76	18	72	18	66

ТАБЛИЦА ПРОДОЛЬНЫХ СИЛ

	V1, км/ч			V2, км/ч			V3, км/ч		
	160			200			250		
	Nтз	Nтл	Nк	Nтз	Nтл	Nк	Nтз	Nтл	Nк
Прямая	408730	374380	178788	393727	356568	178788	373003	332053	178788
R=2000	406538	373225	190200	391270	355283	190200	370179	330589	190200
R=1200	407229	376281	178788	392145	358793	178788	371181	334593	178788
R=1000	402981	374040	174984	387385	356301	174984	365711	331754	174984

Локомотив: Афрасиаб. Район: Ташкентский вилоят. Рельсы:Р65. Шпалы - ВЕ70. Эюра 1840/2000 шпал/км. Скрепления «PandrolFastclip».Толщина балласта-35/20 см. Температура рельса: минимальная: -30, максимальная: +64. Модуль упругости подрельсового основания, кг/см²: в прямой: летом-2000, зимой-3000; в кривой: летом-2200кг/см²; зимой-3300.

V, км/ч	Расч	Напряжения в элементах ВСП				
		СИГМАп-о	СИГМАп-к	СИГМАг-к	СИГМАш	СИГМАб
----- Прямая, лето -----						
160	15375,30	573,90	648,51	786,01	25,07	2,34
200	17082,30	637,02	719,84	872,45	27,86	2,60
250	19442,90	724,29	818,44	991,97	31,73	2,97
----- Прямая, зима -----						
160	16158,30	543,56	614,22	744,45	29,30	2,74
200	18085,10	607,89	686,91	832,55	32,80	3,06
250	20760,60	697,19	787,82	954,86	37,65	3,52
----- R=2000, лето -----						
160	15375,30	573,90	659,99	791,75	25,07	2,34
200	17082,30	637,02	732,58	878,82	27,86	2,60
----- R=2000, зима -----						
160	16158,30	543,56	625,09	749,88	29,30	2,74
200	18085,10	607,89	699,07	838,63	32,80	3,06
----- R=1200, лето -----						
160	15230,20	555,10	655,02	774,13	23,43	2,19
----- R=1200, зима -----						
160	15996,30	525,01	619,52	732,18	27,35	2,56
----- R=1000, лето -----						
160	15230,20	555,10	677,22	785,24	23,43	2,19
----- R=1000, зима -----						
160	15996,30	525,01	640,52	742,68	27,35	2,56

НАПРЯЖЕНИЯ НА ОСНОВНОЙ ПЛОЩАДКЕЗЕМЛЯННОГО ПОЛОТНА:

V, км/ч	ПРЯМАЯ		КРИВАЯ	
	ЛЕТО	ЗИМА	ЛЕТО	ЗИМА
	160	0,58	0,67	0,59
200	0,64	0,75	0,66	0,76
250	0,73	0,86	0,75	0,87

ДОПУСКАЕМЫЕ ИНТЕРВАЛЫ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПЛЕТИ

	дельта tp			дельта tg		
	V1	V2	V3	V1	V2	V3
	160	200	250	160	200	250
Прямая	108	104	99	99	95	88
R=2000	107	104		99	94	
R=1200	108			100		
R=1000	107			99		

ТАБЛИЦА ТЕМПЕРАТУР ЗАКРЕПЛЕНИЯ ПЛЕТИ

	V1, км/ч		V2, км/ч		V3, км/ч	
	160		200		250	
	mintз maxтз		mintз maxтз		mintз maxтз	
Прямая	17	78	17	74	17	69
R=2000	14	77	14	74		
R=1200	17	78				
R=1000	18	77				

ТАБЛИЦА ПРОДОЛЬНЫХ СИЛ

	V1, км/ч			V2, км/ч			V3, км/ч		
	160			200			250		
	Nтз	Nтл	Nк	Nтз	Nтл	Nк	Nтз	Nтл	Nк
Прямая	411062	377081	178788	396684	359981	178788	376722	336340	178788
R=2000	408912	375946	190200	394279	358721	190200			
R=1200	410015	379430	178788						
R=1000	405860	377234	174984						

Локомотив: Афрасиаб. Район: Ташкентский вилоят. Рельсы:Р65. Шпалы - ВЕ70. Эюра 2000/2000 шпал/км. Скрепления «PandrolFastclip».Толщина балласта-35/20 см. Температура рельса: минимальная: -30, максимальная: +64. Модуль упругости подрельсового основания, кг/см²: в прямой: летом-2000, зимой-3000; в кривой: летом-2200кг/см²; зимой-3300.

V, км/ч	Расч	Напряжения в элементах ВСП				
		СИГМАп-о	СИГМАп-к	СИГМАг-к	СИГМАш	СИГМАб
----- Прямая, лето -----						
160	15069,00	562,61	635,75	770,54	22,60	2,11
200	16695,90	622,78	703,74	852,95	25,05	2,34
250	18959,30	706,46	798,30	967,55	28,46	2,66
----- Прямая, зима -----						
160	15803,60	531,75	600,87	728,27	26,36	2,46
200	17636,40	592,94	670,02	812,08	29,42	2,75
250	20198,00	678,45	766,65	929,19	33,70	3,15
----- R=2000, лето -----						
160	15069,00	562,61	647,00	776,17	22,60	2,11
200	16695,90	622,78	716,20	859,18	25,05	2,34
----- R=2000, зима -----						
160	15803,60	531,75	611,51	733,59	26,36	2,46
200	17636,40	592,94	681,88	818,01	29,42	2,75
----- R=1200, лето -----						
160	15230,20	555,10	655,02	774,13	23,43	2,19
----- R=1200, зима -----						
160	15996,30	525,01	619,52	732,18	27,35	2,56
----- R=1000, лето -----						
160	15230,20	555,10	677,22	785,24	23,43	2,19
----- R=1000, зима -----						
160	15996,30	525,01	640,52	742,68	27,35	2,56

НАПРЯЖЕНИЯ НА ОСНОВНОЙ ПЛОЩАДКЕЗЕМЛЯННОГО ПОЛОТНА:

V, км/ч	ПРЯМАЯ		КРИВАЯ	
	ЛЕТО	ЗИМА	ЛЕТО	ЗИМА
160	0,54	0,62	0,54	0,62
200	0,60	0,69	0,60	0,69
250	0,68	0,79	0,68	0,79

ДОПУСКАЕМЫЕ ИНТЕРВАЛЫ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПЛЕТИ

	дельта tp			дельта tg		
	V1	V2	V3	V1	V2	V3
	160	200	250	160	200	250
Прямая	109	105	100	100	96	90
R=2000	108	105		100	95	
R=1200	108			100		
R=1000	107			99		

ТАБЛИЦА ТЕМПЕРАТУР ЗАКРЕПЛЕНИЯ ПЛЕТИ

	V1, км/ч		V2, км/ч		V3, км/ч	
	160		200		250	
	mintз	maxтз	mintз	maxтз	mintз	maxтз
Прямая	17	79	17	75	17	70
R=2000	14	78	14	75		
R=1200	17	78				
R=1000	18	77				

ТАБЛИЦА ПРОДОЛЬНЫХ СИЛ

	V1, км/ч			V2, км/ч			V3, км/ч		
	160			200			250		
	Nтз	Nтл	Nк	Nтз	Nтл	Nк	Nтз	Nтл	Nк
Прямая	413702	380140	178788	400024	363840	178788	380911	341170	178788
R=2000	411599	379027	190200	397678	362608	190200			
R=1200	410015	379430	178788						
R=1000	405860	377234	174984						

Локомотив: Афрасиаб. Район: Ташкентский вилоят. Рельсы:Р65. Шпалы – ВГ70. Эпюра 1720/1840 шпал/км. Крепления «PandrolFastclip». Балласт: (20/20 см). Температура: минимальная: -30, максимальная: +64, Модуль упругости подрельсового основания: в прямой: летом 2000 кг/см²; зимой: 3000кг/см²; в кривой:летом 2200кг/см²; зимой 3300кг/см²

V, км/ч	Расч	Напряжения в элементах ВСП				
		СИГМАп-о	СИГМАп-к	СИГМАг-к	СИГМАш	СИГМАб
----- Прямая, лето -----						
160	15617,70	574,25	648,90	762,41	26,76	2,50
200	17389,40	638,79	721,84	848,11	29,81	2,79
250	19831,70	727,74	822,35	966,21	34,02	3,18
----- Прямая, зима -----						
160	16440,20	545,16	616,03	723,80	31,34	2,93
200	18442,80	611,04	690,48	811,27	35,16	3,29
250	21213,80	702,18	793,47	932,27	40,45	3,78
----- R=2000, лето -----						
160	15617,70	574,25	660,38	768,16	26,76	2,50
200	17389,40	638,79	734,61	854,50	29,81	2,79
----- R=2000, зима -----						
160	16440,20	545,16	626,94	729,25	31,34	2,93
200	18442,80	611,04	702,70	817,38	35,16	3,29
----- R=1200, лето -----						
160	15521,60	557,37	657,70	753,95	25,49	2,38
----- R=1200, зима -----						
160	16334,90	528,52	623,65	714,92	29,83	2,79
----- R=1000, лето -----						
160	15521,60	557,37	680,00	765,10	25,49	2,38
----- R=1000, зима -----						
160	16334,90	528,52	644,79	725,49	29,83	2,79

НАПРЯЖЕНИЯ НА ОСНОВНОЙ ПЛОЩАДКЕЗЕМЛЯННОГО ПОЛОТНА:

V, км/ч	ПРЯМАЯ		КРИВАЯ	
	ЛЕТО	ЗИМА	ЛЕТО	ЗИМА
160	0,76	0,88	0,77	0,89
200	0,84	0,99	0,85	1,00
250	0,96	1,13	0,97	1,15

ДОПУСКАЕМЫЕ ИНТЕРВАЛЫ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПЛЕТИ

	дельта tp			дельта tg		
	V1	V2	V3	V1	V2	V3
	160	200	250	160	200	250
Прямая	108	104	99	100	96	90
R=2000	107	103		100	96	
R=1200	108			101		
R=1000	106			100		

ТАБЛИЦА ТЕМПЕРАТУР ЗАКРЕПЛЕНИЯ ПЛЕТИ

	V1, км/ч		V2, км/ч		V3, км/ч	
	160		200		250	
	mintз maxтз		mintз maxтз		mintз maxтз	
Прямая	17	78	17	74	17	69
R=2000	14	77	14	73		
R=1200	17	78				
R=1000	18	76				

ТАБЛИЦА ПРОДОЛЬНЫХ СИЛ

	V1, км/ч			V2, км/ч			V3, км/ч		
	160			200			250		
	Nтз	Nтл	Nк	Nтз	Nтл	Nк	Nтз	Nтл	Nк
Прямая	422364	392587	183864	407220	375154	183864	386270	351130	183864
R=2000	420146	391419	195600	404734	373854	195600			
R=1200	420814	394309	183864						
R=1000	416513	392041	179952						

Локомотив: Афрасиаб. Район: Ташкентский вилоят. Рельсы:Р65
 Шпалы - ВГ70. Эюра 1840/2000 шпал/км. Скрепления «PandrolFastclip».
 Балласт: (20/20 см). Температура: минимальная: -30, максимальная: +64,
 Модуль упругости подрельсового основания: в прямой: летом 2000 кг/см²;
 зимой: 3000кг/см²; в кривой:летом 2200кг/см²; зимой 3300кг/см²

V, км/ч	Pрасч	Напряжения в элементах ВСП				
		СИГМАп-о	СИГМАп-к	СИГМАг-к	СИГМАш	СИГМАб
----- Прямая, лето -----						
160	15350,30	564,53	637,92	749,52	24,58	2,30
200	17051,50	626,52	707,97	831,82	27,32	2,55
250	19407,60	712,34	804,94	945,76	31,11	2,91
----- Прямая, зима -----						
160	16130,60	535,00	604,55	710,31	28,74	2,69
200	18050,40	598,16	675,93	794,17	32,17	3,01
250	20720,40	685,99	775,17	910,77	36,93	3,45
----- R=2000, лето -----						
160	15350,30	564,53	649,21	755,16	24,58	2,30
200	17051,50	626,52	720,50	838,08	27,32	2,55
----- R=2000, зима -----						
160	16130,60	535,00	615,25	715,66	28,74	2,69
200	18050,40	598,16	687,89	800,15	32,17	3,01
----- R=1200, лето -----						
160	15208,20	546,26	644,58	738,91	22,98	2,15
----- R=1200, зима -----						
160	15972,40	516,90	609,95	699,20	26,83	2,51
----- R=1000, лето -----						
160	15208,20	546,26	666,43	749,84	22,98	2,15
----- R=1000, зима -----						
160	15972,40	516,90	630,62	709,54	26,83	2,51

НАПРЯЖЕНИЯ НА ОСНОВНОЙ ПЛОЩАДКЕЗЕМЛЯННОГО ПОЛОТНА:

V, км/ч	ПРЯМАЯ		КРИВАЯ	
	ЛЕТО	ЗИМА	ЛЕТО	ЗИМА
	160	0,71	0,82	0,72
200	0,79	0,92	0,80	0,93
250	0,90	1,05	0,91	1,07

ДОПУСКАЕМЫЕ ИНТЕРВАЛЫ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫПЛЕТИ

	дельта tp			дельта tg		
	V1	V2	V3	V1	V2	V3
	160	200	250	160	200	250
Прямая	109	105	100	101	97	91
R=2000	108	104		101	96	
R=1200	108			102		
R=1000	107			101		

ТАБЛИЦА ТЕМПЕРАТУР ЗАКРЕПЛЕНИЯ ПЛЕТИ

	V1, км/ч		V2, км/ч		V3, км/ч	
	160		200		250	
	mintз	maxтз	mintз	maxтз	mintз	maxтз
Прямая	17	79	17	75	17	70
R=2000	14	78	14	74		
R=1200	17	78				
R=1000	18	77				

ТАБЛИЦА ПРОДОЛЬНЫХ СИЛ

	V1, км/ч			V2, км/ч			V3, км/ч		
	160			200			250		
	Nтз	Nтл	Nк	Nтз	Nтл	Nк	Nтз	Nтл	Nк
Прямая	424700	395210	183864	410180	378468	183864	389992	355290	183864
R=2000	422524	394062	195600	407747	377194	195600			
R=1200	423602	397368	183864						
R=1000	419396	395145	179952						

Локомотив: Афрасиаб. Район: Ташкентский вилоят. Рельсы:Р65
 Шпалы - ВГ70. Эюра 2000/2000 шпал/км. Скрепления «PandrolFastclip».
 Балласт: (20/20 см). Температура: минимальная: -30, максимальная: +64,
 Модуль упругости подрельсового основания: в прямой: летом 2000 кг/см²;
 зимой: 3000кг/см²; в кривой:летом 2200кг/см²; зимой 3300кг/см²

V, км/ч	Ррасч	Напряжения в элементах ВСП				
		СИГМАп-о	СИГМАп-к	СИГМАг-к	СИГМАш	СИГМАб
----- Прямая, лето -----						
160	15047,50	553,54	625,49	734,92	22,16	2,07
200	16669,80	612,65	692,30	813,41	24,57	2,30
250	18930,20	695,00	785,35	922,73	27,92	2,61
----- Прямая, зима -----						
160	15780,20	523,50	591,55	695,04	25,87	2,42
200	17607,20	583,62	659,49	774,86	28,86	2,70
250	20164,90	667,76	754,57	886,57	33,06	3,09
----- R=2000, лето -----						
160	15047,50	553,54	636,57	740,45	22,16	2,07
200	16669,80	612,65	704,55	819,53	24,57	2,30
----- R=2000, зима -----						
160	15780,20	523,50	602,02	700,27	25,87	2,42
200	17607,20	583,62	671,16	780,69	28,86	2,70
----- R=1200, лето -----						
160	15208,20	546,26	644,58	738,91	22,98	2,15
----- R=1200, зима -----						
160	15972,40	516,90	609,95	699,20	26,83	2,51
----- R=1000, лето -----						
160	15208,20	546,26	666,43	749,84	22,98	2,15
----- R=1000, зима -----						
160	15972,40	516,90	630,62	709,54	26,83	2,51

НАПРЯЖЕНИЯ НА ОСНОВНОЙ ПЛОЩАДКЕЗЕМЛЯННОГО ПОЛОТНА:

V, км/ч	ПРЯМАЯ		КРИВАЯ	
	ЛЕТО	ЗИМА	ЛЕТО	ЗИМА
160	0,66	0,76	0,66	0,76
200	0,73	0,85	0,73	0,85
250	0,83	0,97	0,83	0,97

ДОПУСКАЕМЫЕ ИНТЕРВАЛЫ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПЛЕТИ

	дельта tp			дельта tg		
	V1	V2	V3	V1	V2	V3
	160	200	250	160	200	250
Прямая	109	106	101	102	98	92
R=2000	109	105		101	97	
R=1200	108			102		
R=1000	107			101		

ТАБЛИЦА ТЕМПЕРАТУР ЗАКРЕПЛЕНИЯ ПЛЕТИ

	V1, км/ч		V2, км/ч		V3, км/ч	
	160		200		250	
	mintз maxтз		mintз maxтз		mintз maxтз	
Прямая	17	79	17	76	17	71
R=2000	14	79	14	75		
R=1200	17	78				
R=1000	18	77				

ТАБЛИЦА ПРОДОЛЬНЫХ СИЛ

	V1, км/ч			V2, км/ч			V3, км/ч		
	160			200			250		
	Nтз	Nтл	Nк	Nтз	Nтл	Nк	Nтз	Nтл	Nк
Прямая	427344	398180	183864	413524	382214	183864	394183	359974	183864
R=2000	425214	397054	195600	411150	380967	195600			
R=1200	423602	397368	183864						
R=1000	419396	395145	179952						

Локомотив: Афрасиаб. Район: Ташкентский вилоят. Рельсы:Р65
 Шпалы - ВГ70. Эюра 1680/1720 шпал/км. Скрепления «PandrolFastclip».
 Балласт: (35/20 см). Температура: минимальная: -30, максимальная: +64,
 Модуль упругости подрельсового основания: в прямой: летом 3000 кг/см²;
 зимой: 4500кг/см²; в кривой:летом 3400кг/см²; зимой 5100кг/см²

V, км/ч	Ррасч	Напряжения в элементах ВСП				
		СИГМАп-о	СИГМАп-к	СИГМАг-к	СИГМАш	СИГМАб
----- Прямая, лето -----						
160	16586,70	557,83	630,35	763,99	32,94	3,08
200	18628,20	625,98	707,35	857,33	37,00	3,46
250	21444,40	719,96	813,56	986,05	42,60	3,98
----- Прямая, зима -----						
160	17588,00	532,16	601,34	728,84	38,77	3,62
200	19901,10	601,86	680,10	824,29	43,86	4,10
250	23104,70	698,38	789,16	956,48	50,91	4,76
----- R=2000, лето -----						
160	16586,70	557,83	641,50	769,57	32,94	3,08
200	18628,20	625,98	719,87	863,59	37,00	3,46
----- R=2000, зима -----						
160	17588,00	532,16	611,99	734,16	38,77	3,62
200	19901,10	601,86	692,14	830,31	43,86	4,10
----- R=1200, лето -----						
160	16756,70	545,50	643,69	760,75	33,57	3,14
----- R=1200, зима -----						
160	17795,80	521,23	615,05	726,90	39,55	3,70
----- R=1000, лето -----						
160	16756,70	545,50	665,51	771,66	33,57	3,14
----- R=1000, зима -----						
160	17795,80	521,23	635,90	737,32	39,55	3,70

НАПРЯЖЕНИЯ НА ОСНОВНОЙ ПЛОЩАДКЕЗЕМЛЯННОГО ПОЛОТНА:

V, км/ч	ПРЯМАЯ		КРИВАЯ	
	ЛЕТО	ЗИМА	ЛЕТО	ЗИМА
	160	0,72	0,84	0,73
200	0,81	0,95	0,82	0,95
250	0,94	1,10	0,94	1,11

ДОПУСКАЕМЫЕ ИНТЕРВАЛЫ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫПЛЕТИ

	дельта tp			дельта tg		
	V1	V2	V3	V1	V2	V3
	160	200	250	160	200	250
Прямая	109	105	99	100	95	89
R=2000	108	104	98	100	95	88
R=1200	108	104	98	100	96	89
R=1000	107			100		

ТАБЛИЦА ТЕМПЕРАТУР ЗАКРЕПЛЕНИЯ ПЛЕТИ

	V1, км/ч	V2, км/ч	V3, км/ч
	160	200	250
	mintз	maxтз	mintз
	maxтз	mintз	maxтз
Прямая	17	79	17
R=2000	14	78	14
R=1200	17	78	
R=1000	18	77	

ТАБЛИЦА ПРОДОЛЬНЫХ СИЛ

	V1, км/ч			V2, км/ч			V3, км/ч		
	160			200			250		
	Nтз	Nтл	Nк	Nтз	Nтл	Nк	Nтз	Nтл	Nк
Прямая	413609	381436	178788	398031	362974	178788	376457	337511	178788
R=2000	411504	380333	190200	395650	361735	190200			
R=1200	410898	382078	178788						
R=1000	406774	379920	174984						

Локомотив: Афрасиаб. Район: Ташкентский вилоят. Рельсы:Р65
 Шпалы - ВГ70. Эюра 1720/1840 шпал/км. Скрепления «PandrolFastclip».
 Балласт: (35/20 см). Температура: минимальная: -30, максимальная: +64,
 Модуль упругости подрельсового основания: в прямой: летом 3000 кг/см²;
 зимой: 4500кг/см²; в кривой:летом 3400кг/см²; зимой 5100кг/см²

V, км/ч	Ррасч	Напряжения в элементах ВСП				
		СИГМАп-о	СИГМАп-к	СИГМАг-к	СИГМАш	СИГМАб
----- Прямая, лето -----						
160	16471,50	553,99	626,01	758,74	31,95	2,99
200	18482,10	621,11	701,85	850,66	35,86	3,35
250	21260,20	713,83	806,63	977,65	41,25	3,85
----- Прямая, зима -----						
160	17454,90	528,16	596,82	723,35	37,58	3,51
200	19731,60	596,76	674,34	817,31	42,48	3,97
250	22890,60	691,93	781,88	947,66	49,27	4,60
----- R=2000, лето -----						
160	16471,50	553,99	637,09	764,28	31,95	2,99
200	18482,10	621,11	714,28	856,87	35,86	3,35
----- R=2000, зима -----						
160	17454,90	528,16	607,38	728,64	37,58	3,51
200	19731,60	596,76	686,27	823,28	42,48	3,97
----- R=1200, лето -----						
160	16429,10	534,93	631,21	746,00	30,77	2,87
----- R=1200, зима -----						
160	17417,70	510,20	602,03	711,51	36,19	3,38
----- R=1000, лето -----						
160	16429,10	534,93	652,61	756,70	30,77	2,87
----- R=1000, зима -----						
160	17417,70	510,20	622,44	721,72	36,19	3,38

НАПРЯЖЕНИЯ НА ОСНОВНОЙ ПЛОЩАДКЕЗЕМЛЯННОГО ПОЛОТНА:

V, км/ч	ПРЯМАЯ		КРИВАЯ	
	ЛЕТО	ЗИМА	ЛЕТО	ЗИМА
	160	0,71	0,82	0,72
200	0,79	0,93	0,81	0,94
250	0,91	1,07	0,93	1,09

ДОПУСКАЕМЫЕ ИНТЕРВАЛЫ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПЛЕТИ

	дельта tp			дельта tg		
	V1	V2	V3	V1	V2	V3
	160	200	250	160	200	250
Прямая	109	105	99	101	96	89
R=2000	108	104		100	95	
R=1200	109			101		
R=1000	108			101		

ТАБЛИЦА ТЕМПЕРАТУР ЗАКРЕПЛЕНИЯ ПЛЕТИ

	V1, км/ч		V2, км/ч		V3, км/ч	
	160		200		250	
	mintз	maxтз	mintз	maxтз	mintз	maxтз
Прямая	17	79	17	75	17	69
R=2000	14	78	14	74		
R=1200	17	79				
R=1000	18	78				

ТАБЛИЦА ПРОДОЛЬНЫХ СИЛ

	V1, км/ч			V2, км/ч			V3, км/ч		
	160			200			250		
	Nтз	Nтл	Nк	Nтз	Nтл	Nк	Nтз	Nтл	Nк
Прямая	414505	382476	178788	399171	364292	178788	377897	339173	178788
R=2000	412415	381380	190200	396810	363064	190200			
R=1200	413473	384995	178788						
R=1000	409436	382879	174984						

Локомотив: Афрасиаб. Район: Ташкентский вилоят. Рельсы:Р65
 Шпалы - ВГ70. Эюра 1840/2000 шпал/км. Скрепления «PandrolFastclip».
 Балласт (35/20 см). Температура: минимальная: -30, максимальная: +64,
 Модуль упругости подрельсового основания: в прямой: летом 3000 кг/см²;
 зимой: 4500кг/см²; в кривой:летом 3400кг/см²; зимой 5100кг/см²

V, км/ч	Pрасч	Напряжения в элементах ВСП				
		СИГМАп-о	СИГМАп-к	СИГМАг-к	СИГМАш	СИГМАб
----- Прямая, лето -----						
160	16158,30	543,56	614,22	744,45	29,30	2,74
200	18085,10	607,89	686,91	832,55	32,80	3,06
250	20760,60	697,19	787,82	954,86	37,65	3,52
----- Прямая, зима -----						
160	17093,00	517,27	584,51	708,44	34,40	3,21
200	19271,30	582,90	658,68	798,33	38,78	3,62
250	22310,00	674,46	762,14	923,73	44,89	4,19
----- R=2000, лето -----						
160	16158,30	543,56	625,09	749,88	29,30	2,74
200	18085,10	607,89	699,07	838,63	32,80	3,06
----- R=2000, зима -----						
160	17093,00	517,27	594,85	713,61	34,40	3,21
200	19271,30	582,90	670,34	804,16	38,78	3,62
----- R=1200, лето -----						
160	16058,30	522,96	617,09	729,31	27,67	2,59
----- R=1200, зима -----						
160	16990,30	497,73	587,32	694,13	32,48	3,03
----- R=1000, лето -----						
160	16058,30	522,96	638,01	739,77	27,67	2,59
----- R=1000, зима -----						
160	16990,30	497,73	607,23	704,08	32,48	3,03

НАПРЯЖЕНИЯ НА ОСНОВНОЙ ПЛОЩАДКЕЗЕМЛЯННОГО ПОЛОТНА:

V, км/ч	ПРЯМАЯ		КРИВАЯ	
	ЛЕТО	ЗИМА	ЛЕТО	ЗИМА
	160	0,67	0,77	0,68
200	0,75	0,87	0,76	0,89
250	0,86	1,00	0,87	1,02

ДОПУСКАЕМЫЕ ИНТЕРВАЛЫ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПЛЕТИ

	дельта tp			дельта tg		
	V1	V2	V3	V1	V2	V3
	160	200	250	160	200	250
Прямая	110	106	100	101	97	90
R=2000	109	105		101	96	
R=1200	109			102		
R=1000	108			102		

ТАБЛИЦА ТЕМПЕРАТУР ЗАКРЕПЛЕНИЯ ПЛЕТИ

	V1, км/ч		V2, км/ч		V3, км/ч	
	160		200		250	
	mintз	maxтз	mintз	maxтз	mintз	maxтз
Прямая	17	80	17	76	17	70
R=2000	14	79	14	75		
R=1200	17	79				
R=1000	18	78				

ТАБЛИЦА ПРОДОЛЬНЫХ СИЛ

	V1, км/ч			V2, км/ч			V3, км/ч		
	160			200			250		
	Nтз	Nтл	Nк	Nтз	Nтл	Nк	Nтз	Nтл	Nк
Прямая	416939	385302	178788	402268	367875	178788	381803	343681	178788
R=2000	414893	384227	190200	399962	366673	190200			
R=1200	416383	388297	178788						
R=1000	412445	386228	174984						

Локомотив: Афрасиаб. Район: Ташкентский вилоят. Рельсы:Р65
 Шпалы - ВР70. Эюра 2000/2000 шпал/км. Скрепления «PandrolFastclip».
 Балласт: (35/20 см). Температура: минимальная: -30, максимальная: +64,
 Модуль упругости подрельсового основания: в прямой: летом 3000 кг/см²;
 зимой: 4500кг/см²; в кривой:летом 3400кг/см²; зимой 5100кг/см²

V, км/ч	Расч	Напряжения в элементах ВСП				
		СИГМАп-о	СИГМАп-к	СИГМАг-к	СИГМАш	СИГМАб
----- Прямая, лето -----						
160	15803,60	531,75	600,87	728,27	26,36	2,46
200	17636,40	592,94	670,02	812,08	29,42	2,75
250	20198,00	678,45	766,65	929,19	33,70	3,15
----- Прямая, зима -----						
160	16683,80	504,95	570,59	691,57	30,89	2,89
200	18751,40	567,25	641,00	776,90	34,72	3,24
250	21656,30	654,78	739,91	896,78	40,09	3,75
----- R=2000, лето -----						
160	15803,60	531,75	611,51	733,59	26,36	2,46
200	17636,40	592,94	681,88	818,01	29,42	2,75
----- R=2000, зима -----						
160	16683,80	504,95	580,69	696,62	30,89	2,89
200	18751,40	567,25	652,34	782,57	34,72	3,24
----- R=1200, лето -----						
160	16058,30	522,96	617,09	729,31	27,67	2,59
----- R=1200, зима -----						
160	16990,30	497,73	587,32	694,13	32,48	3,03
----- R=1000, лето -----						
160	16058,30	522,96	638,01	739,77	27,67	2,59
----- R=1000, зима -----						
160	16990,30	497,73	607,23	704,08	32,48	3,03

НАПРЯЖЕНИЯ НА ОСНОВНОЙ ПЛОЩАДКЕЗЕМЛЯННОГО ПОЛОТНА:

V, км/ч	ПРЯМАЯ		КРИВАЯ	
	ЛЕТО	ЗИМА	ЛЕТО	ЗИМА
	160	0,62	0,72	0,62
200	0,69	0,80	0,69	0,80
250	0,79	0,93	0,80	0,93

ДОПУСКАЕМЫЕ ИНТЕРВАЛЫ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПЛЕТИ

	дельта tp			дельта tg		
	V1	V2	V3	V1	V2	V3
	160	200	250	160	200	250
Прямая	110	107	102	102	98	92
R=2000	110	106		102	97	
R=1200	109			102		
R=1000	108			102		

ТАБЛИЦА ТЕМПЕРАТУР ЗАКРЕПЛЕНИЯ ПЛЕТИ

	V1, км/ч		V2, км/ч		V3, км/ч	
	160		200		250	
	mintз maxтз		mintз maxтз		mintз maxтз	
Прямая	17	80	17	77	17	72
R=2000	14	80	14	76		
R=1200	17	79				
R=1000	18	78				

ТАБЛИЦА ПРОДОЛЬНЫХ СИЛ

	V1, км/ч			V2, км/ч			V3, км/ч		
	160			200			250		
	Nтз	Nтл	Nк	Nтз	Nтл	Nк	Nтз	Nтл	Nк
Прямая	419692	388502	178788	405766	371924	178788	386201	348759	178788
R=2000	417695	387451	190200	403521	370751	190200			
R=1200	416383	388297	178788						
R=1000	412445	386228	174984						

Локомотив: Афрасиаб. Район: Ташкентский вилоят. Рельсы:Р65
 Шпалы - ВР70. Эюра 1720/1840 шпал/км. Скрепления «PandrolFastclip».
 Балласт: (20/20 см). Температура: минимальная: -30, максимальная: +64,
 Модуль упругости подрельсового основания: в прямой: летом 3000 кг/см²;
 зимой: 4500кг/см²; в кривой:летом 3400кг/см²; зимой 5100кг/см²

V, км/ч	Расч	Напряжения в элементах ВСП				
		СИГМАп-о	СИГМАп-к	СИГМАг-к	СИГМАш	СИГМАб
----- Прямая, лето -----						
160	17151,00	535,15	604,72	732,93	35,83	3,35
200	19346,80	603,31	681,74	826,28	40,41	3,78
250	22389,50	697,74	788,45	955,62	46,76	4,37
----- Прямая, зима -----						
160	18656,60	507,34	573,30	694,85	44,57	4,16
200	21242,20	577,56	652,64	791,01	50,73	4,74
250	24847,60	675,46	763,27	925,10	59,33	---
----- R=2000, лето -----						
160	17151,00	535,15	615,42	738,28	35,83	3,35
200	19346,80	603,31	693,80	832,31	40,41	3,78
----- R=2000, зима -----						
160	18656,60	507,34	583,44	699,92	44,57	4,16
200	21242,20	577,56	664,19	796,79	50,73	4,74
----- R=1200, лето -----						
160	17036,70	518,59	611,94	723,22	34,09	3,19
----- R=1200, зима -----						
160	18545,00	491,83	580,36	685,90	42,43	3,97
----- R=1000, лето -----						
160	17036,70	518,59	632,68	733,59	34,09	3,19
----- R=1000, зима -----						
160	18545,00	491,83	600,03	695,74	42,43	3,97

НАПРЯЖЕНИЯ НА ОСНОВНОЙ ПЛОЩАДКЕЗЕМЛЯННОГО ПОЛОТНА:

V, км/ч	ПРЯМАЯ		КРИВАЯ	
	ЛЕТО	ЗИМА	ЛЕТО	ЗИМА
	160	1,00	1,23	1,01
200	1,13	1,39	1,14	1,41
250	1,30	1,48	1,31	1,58

ДОПУСКАЕМЫЕ ИНТЕРВАЛЫ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПЛЕТИ

	дельта tp			дельта tg		
	V1	V2	V3	V1	V2	V3
	160	200	250	160	200	250
Прямая	110	106	100	102	97	90
R=2000	110	105		102	97	
R=1200	110			102		
R=1000	109			102		

ТАБЛИЦА ТЕМПЕРАТУР ЗАКРЕПЛЕНИЯ ПЛЕТИ

	V1, км/ч		V2, км/ч		V3, км/ч	
	160		200		250	
	mintз	maxтз	mintз	maxтз	mintз	maxтз
Прямая	17	80	17	76	17	70
R=2000	14	80	14	75		
R=1200	17	80				
R=1000	18	79				

ТАБЛИЦА ПРОДОЛЬНЫХ СИЛ

	V1, км/ч			V2, км/ч			V3, км/ч		
	160			200			250		
	Nтз	Nтл	Nк	Nтз	Nтл	Nк	Nтз	Nтл	Nк
Прямая	419157	387581	178788	403463	369115	178788	381579	343531	178788
R=2000	417150	386522	190200	401178	367922	190200			
R=1200	417760	389502	178788						
R=1000	413869	387451	174984						

Локомотив: Афрасиаб. Район: Ташкентский вилоят. Рельсы:Р65. Шпалы - ВЕ70. Эюра 1840/2000 шпал/км. Скрепления «PandrolFastclip». Толщина балласта-20/20 см. Температура рельса: минимальная: -30, максимальная: +64. Модуль упругости подрельсового основания, кг/см²: в прямойлетом-3000, зимой-4500; в кривойлетом-3400кг/см²; зимой-5100.

V, км/ч	Ррасч	Напряжения в элементах ВСП				
		СИГМАп-о	СИГМАп-к	СИГМАг-к	СИГМАш	СИГМАб
----- Прямая, лето -----						
160	16158,30	543,56	614,22	744,45	29,30	2,74
200	18085,10	607,89	686,91	832,55	32,80	3,06
250	20760,60	697,19	787,82	954,86	37,65	3,52
----- Прямая, зима -----						
160	17093,00	517,27	584,51	708,44	34,40	3,21
200	19271,30	582,90	658,68	798,33	38,78	3,62
250	22310,00	674,46	762,14	923,73	44,89	4,19
----- R=2000, лето -----						
160	16158,30	543,56	625,09	749,88	29,30	2,74
200	18085,10	607,89	699,07	838,63	32,80	3,06
----- R=2000, зима -----						
160	17093,00	517,27	594,85	713,61	34,40	3,21
200	19271,30	582,90	670,34	804,16	38,78	3,62
----- R=1200, лето -----						
160	16058,30	522,96	617,09	729,31	27,67	2,59
----- R=1200, зима -----						
160	16990,30	497,73	587,32	694,13	32,48	3,03
----- R=1000, лето -----						
160	16058,30	522,96	638,01	739,77	27,67	2,59
----- R=1000, зима -----						
160	16990,30	497,73	607,23	704,08	32,48	3,03

НАПРЯЖЕНИЯ НА ОСНОВНОЙ ПЛОЩАДКЕЗЕМЛЯННОГО ПОЛОТНА:

V, км/ч	ПРЯМАЯ		КРИВАЯ	
	ЛЕТО	ЗИМА	ЛЕТО	ЗИМА
	160	0,84	0,97	0,85
200	0,94	1,10	0,95	1,11
250	1,07	1,26	1,09	1,28

ДОПУСКАЕМЫЕ ИНТЕРВАЛЫ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫПЛЕТИ

	дельта tp			дельта tg		
	V1	V2	V3	V1	V2	V3
	160	200	250	160	200	250
Прямая	110	106	100	101	97	90
R=2000	109	105	100	101	96	90
R=1200	109	106	100	102	98	91
R=1000	108	104	99	102	97	91

ТАБЛИЦА ТЕМПЕРАТУР ЗАКРЕПЛЕНИЯ ПЛЕТИ

	V1, км/ч		V2, км/ч		V3, км/ч	
	160		200		250	
	mintз maxтз		mintз maxтз		mintз maxтз	
Прямая	17	80	17	76	17	70
R=2000	14	79	14	75	14	70
R=1200	17	79	17	76	17	70
R=1000	18	78	18	74	18	69

ТАБЛИЦА ПРОДОЛЬНЫХ СИЛ

	V1, км/ч			V2, км/ч			V3, км/ч		
	160			200			250		
	Nтз	Nтл	Nк	Nтз	Nтл	Nк	Nтз	Nтл	Nк
Прямая	416939	385302	178788	402268	367875	178788	381803	343681	178788
R=2000	414893	384227	190200	399962	366673	190200	379135	342302	190200
R=1200	416383	388297	178788	401756	371324	178788	381171	347570	178788
R=1000	412445	386228	174984	397322	369012	174984	376039	344917	174984

Локомотив: Афрасиаб. Район: Ташкентский вилоят. Рельсы:Р65. Шпалы - ВЕ70. Эюра 2000/2000 шпал/км. Скрепления «PandrolFastclip».Толщина балласта-20/20 см. Температура рельса: минимальная: -30, максимальная: +64. Модуль упругости подрельсового основания, кг/см²: в прямойлетом-3000, зимой-4500; в кривойлетом-3400кг/см²; зимой-5100.

V, км/ч	Pрасч	Напряжения в элементах ВСП				
		СИГМАп-о	СИГМАп-к	СИГМАг-к	СИГМАш	СИГМАб
----- Прямая, лето -----						
160	15803,60	531,75	600,87	728,27	26,36	2,46
200	17636,40	592,94	670,02	812,08	29,42	2,75
250	20198,00	678,45	766,65	929,19	33,70	3,15
----- Прямая, зима -----						
160	16683,80	504,95	570,59	691,57	30,89	2,89
200	18751,40	567,25	641,00	776,90	34,72	3,24
250	21656,30	654,78	739,91	896,78	40,09	3,75
----- R=2000, лето -----						
160	15803,60	531,75	611,51	733,59	26,36	2,46
200	17636,40	592,94	681,88	818,01	29,42	2,75
----- R=2000, зима -----						
160	16683,80	504,95	580,69	696,62	30,89	2,89
200	18751,40	567,25	652,34	782,57	34,72	3,24
----- R=1200, лето -----						
160	16058,30	522,96	617,09	729,31	27,67	2,59
----- R=1200, зима -----						
160	16990,30	497,73	587,32	694,13	32,48	3,03
----- R=1000, лето -----						
160	16058,30	522,96	638,01	739,77	27,67	2,59
----- R=1000, зима -----						
160	16990,30	497,73	607,23	704,08	32,48	3,03

НАПРЯЖЕНИЯ НА ОСНОВНОЙ ПЛОЩАДКЕЗЕМЛЯННОГО ПОЛОТНА:

V, км/ч	ПРЯМАЯ		КРИВАЯ	
	ЛЕТО	ЗИМА	ЛЕТО	ЗИМА
160	0,77	0,90	0,77	0,90
200	0,86	1,00	0,86	1,01
250	0,98	1,16	0,99	1,16

ДОПУСКАЕМЫЕ ИНТЕРВАЛЫ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПЛЕТИ

	дельта tp			дельта tg		
	V1	V2	V3	V1	V2	V3
	160	200	250	160	200	250
Прямая	110	107	102	102	98	92
R=2000	110	106	101	102	97	91
R=1200	109	106	100	102	98	91
R=1000	108	104	99	102	97	91

ТАБЛИЦА ТЕМПЕРАТУР ЗАКРЕПЛЕНИЯ ПЛЕТИ

	V1, км/ч		V2, км/ч		V3, км/ч	
	160		200		250	
	mintз	maxтз	mintз	maxтз	mintз	maxтз
Прямая	17	80	17	77	17	72
R=2000	14	80	14	76	14	71
R=1200	17	79	17	76	17	70
R=1000	18	78	18	74	18	69

ТАБЛИЦА ПРОДОЛЬНЫХ СИЛ

	V1, км/ч			V2, км/ч			V3, км/ч		
	160			200			250		
	Nтз	Nтл	Nк	Nтз	Nтл	Nк	Nтз	Nтл	Nк
Прямая	419692	388502	178788	405766	371924	178788	386201	348759	178788
R=2000	417695	387451	190200	403521	370751	190200	383610	347417	190200
R=1200	416383	388297	178788	401756	371324	178788	381171	347570	178788
R=1000	412445	386228	174984	397322	369012	174984	376039	344917	174984

Локомотив: Афрасиаб. Район: Ташкентский вилоят. Рельсы:Р65. Шпалы - ВГ70. Эюра 2000/2000 шпал/км. Скрепления «PandrolFastclip».Толщина балласта-**щебень/защитный слой** 35/75 см. Температура рельса: мин. -30, макс.+64. Модуль упругости подрельсового основания, кг/см²: в прямомлетом-3000, зимой-4500; в кривойлетом-3400кг/см²; зимой-5100.

V, км/ч	Ррасч	Напряжения в элементах ВСП				
		СИГМАп-о	СИГМАп-к	СИГМАг-к	СИГМАш	СИГМАб
----- Прямая, лето -----						
160	15803,60	531,75	600,87	728,27	26,36	2,46
200	17636,40	592,94	670,02	812,08	29,42	2,75
250	20198,00	678,45	766,65	929,19	33,70	3,15
----- Прямая, зима -----						
160	16683,80	504,95	570,59	691,57	30,89	2,89
200	18751,40	567,25	641,00	776,90	34,72	3,24
250	21656,30	654,78	739,91	896,78	40,09	3,75
----- R=2000, лето -----						
160	15803,60	531,75	611,51	733,59	26,36	2,46
200	17636,40	592,94	681,88	818,01	29,42	2,75
----- R=2000, зима -----						
160	16683,80	504,95	580,69	696,62	30,89	2,89
200	18751,40	567,25	652,34	782,57	34,72	3,24
----- R=1200, лето -----						
160	16058,30	522,96	617,09	729,31	27,67	2,59
----- R=1200, зима -----						
160	16990,30	497,73	587,32	694,13	32,48	3,03
----- R=1000, лето -----						
160	16058,30	522,96	638,01	739,77	27,67	2,59
----- R=1000, зима -----						
160	16990,30	497,73	607,23	704,08	32,48	3,03

НАПРЯЖЕНИЯ НА ОСНОВНОЙ ПЛОЩАДКЕЗЕМЛЯННОГО ПОЛОТНА:

V, км/ч	ПРЯМАЯ		КРИВАЯ	
	ЛЕТО	ЗИМА	ЛЕТО	ЗИМА
	160	0,37	0,42	0,37
200	0,42	0,48	0,42	0,48
250	0,48	0,55	0,48	0,55

ДОПУСКАЕМЫЕ ИНТЕРВАЛЫ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫПЛЕТИ

	дельта tp			дельта tg		
	V1	V2	V3	V1	V2	V3
	160	200	250	160	200	250
Прямая	110	107	102	102	98	92
R=2000	110	106		102	97	
R=1200	109			102		
R=1000	108			102		

ТАБЛИЦА ТЕМПЕРАТУР ЗАКРЕПЛЕНИЯ ПЛЕТИ

	V1, км/ч	V2, км/ч	V3, км/ч			
	160	200	250			
	mintз	maxтз	mintз	maxтз	mintз	maxтз
Прямая	17	80	17	77	17	72
R=2000	14	80	14	76		
R=1200	17	79				
R=1000	18	78				

ТАБЛИЦА ПРОДОЛЬНЫХ СИЛ

	V1, км/ч			V2, км/ч			V3, км/ч		
	160			200			250		
	Nтз	Nтл	Nк	Nтз	Nтл	Nк	Nтз	Nтл	Nк
Прямая	419692	388502	178788	405766	371924	178788	386201	348759	178788
R=2000	417695	387451	190200	403521	370751	190200			
R=1200	416383	388297	178788						
R=1000	412445	386228	174984						

Локомотив: Афрасиаб. Район: Ташкентский вилоят. Рельсы:Р65. Шпалы - ВГ70. Эюра 2000/2000 шпал/км. Скрепления «PandrolFastclip».Толщина балласта-**щебень/защитный слой** 35/50 см. Температура рельса: мин. -30, макс.+64. Модуль упругости подрельсового основания, кг/см²: в прямомлетом-2000, зимой-3000; в кривойлетом-2200кг/см²; зимой-3300.

V, км/ч	Ррасч	Напряжения в элементах ВСП				
		СИГМАп-о	СИГМАп-к	СИГМАг-к	СИГМАш	СИГМАб
----- Прямая, лето -----						
160	15069,00	562,61	635,75	770,54	22,60	2,11
200	16695,90	622,78	703,74	852,95	25,05	2,34
250	18959,30	706,46	798,30	967,55	28,46	2,66
----- Прямая, зима -----						
160	15803,60	531,75	600,87	728,27	26,36	2,46
200	17636,40	592,94	670,02	812,08	29,42	2,75
250	20198,00	678,45	766,65	929,19	33,70	3,15
----- R=2000, лето -----						
160	15069,00	562,61	647,00	776,17	22,60	2,11
200	16695,90	622,78	716,20	859,18	25,05	2,34
----- R=2000, зима -----						
160	15803,60	531,75	611,51	733,59	26,36	2,46
200	17636,40	592,94	681,88	818,01	29,42	2,75
----- R=1200, лето -----						
160	15230,20	555,10	655,02	774,13	23,43	2,19
----- R=1200, зима -----						
160	15996,30	525,01	619,52	732,18	27,35	2,56
----- R=1000, лето -----						
160	15230,20	555,10	677,22	785,24	23,43	2,19
----- R=1000, зима -----						
160	15996,30	525,01	640,52	742,68	27,35	2,56

НАПРЯЖЕНИЯ НА ОСНОВНОЙ ПЛОЩАДКЕЗЕМЛЯННОГО ПОЛОТНА:

V, км/ч	ПРЯМАЯ		КРИВАЯ	
	ЛЕТО	ЗИМА	ЛЕТО	ЗИМА
	160	0,40	0,46	0,40
200	0,44	0,51	0,44	0,51
250	0,50	0,58	0,51	0,58

ДОПУСКАЕМЫЕ ИНТЕРВАЛЫ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫПЛЕТИ

	дельта tp			дельта tg		
	V1	V2	V3	V1	V2	V3
	160	200	250	160	200	250
Прямая	109	105	100	100	96	90
R=2000	108	105		100	95	
R=1200	108			100		
R=1000	107			99		

ТАБЛИЦА ТЕМПЕРАТУР ЗАКРЕПЛЕНИЯ ПЛЕТИ

	V1, км/ч	V2, км/ч	V3, км/ч			
	160	200	250			
	mintз	maxтз	mintз	maxтз	mintз	maxтз
Прямая	17	79	17	75	17	70
R=2000	14	78	14	75		
R=1200	17	78				
R=1000	18	77				

ТАБЛИЦА ПРОДОЛЬНЫХ СИЛ

	V1, км/ч			V2, км/ч			V3, км/ч		
	160			200			250		
	Nтз	Nтл	Nк	Nтз	Nтл	Nк	Nтз	Nтл	Nк
Прямая	413702	380140	178788	400024	363840	178788	380911	341170	178788
R=2000	411599	379027	190200	397678	362608	190200			
R=1200	410015	379430	178788						
R=1000	405860	377234	174984						