

ГАЖК «Ўзбекистон Темир Йўллари» Ташкентский институт
инженеров железнодорожного транспорта

ШОДМОНОВ САНЖАРБЕК ФАХРИДИНОВИЧ

**ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ ПОДРЕЛЬСОВОГО
ОСНОВАНИЯ НА ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ЛИНИЯХ**

ГАЖК «УЗБЕКИСТОН ТЕМИР ЙУЛЛАРИ»

Специальность: 5А340203

«Строительство объектов инфраструктуры »

ДИССЕРТАЦИЯ

На соискание степени магистра

Работа рассмотрена и допускается к защите.

Зав.кафедрой «Строительство железных

дорог, путь и путевое хозяйство»

к.т.н. Абдукаримов А.М

«___» _____ 2012г.

Научный руководитель,

к.т.н., доцент

Овчинников А.Н

«___» _____ 2012г.

ТАШКЕНТ-2013

Оглавление

	стр.
Введение.....	3
1 Глава. Цели и задачи исследований.....	6
1.1. Общие сведения	6
1.2 Характеристики подрельсового основания на скоростных и высокоскоростных линиях	13
1.3 Железобетонные шпалы, изготавливаемые по Евростандарту EN 13230	14
1.4 Требования нормативных документов к железобетонным шпалам на скоростных и высокоскоростных участках ГАЖК «УТЙ»	19
2. Анализ конструкции железобетонной шпалы BF70 и расчет ее прочностных параметров	25
2.1 Геометрические характеристики сечений шпалы.....	25
2.2 Напряжения в бетоне и арматуре	31
2.3 Расчет железобетонных шпал BF70 на выносливость	35
2.4 Расчет железобетонных шпал на трещиностойкость	37
2.5 Расчет предельных поперечных сил по условию трещиностойкости бетона против образования трещин, наклонных к продольной оси шпалы	38
2.6 Испытания шпал BF70 на трещиностойкость и прочность	41
3. Расчет пути со шпалами BF70 и креплениями «Pandrolfastclip» на прочность и устойчивость при воздействии поезда «УЗБЕКИСТАН»	45
3.1 Общие положения	45
3.2 Расчетные усилия, передаваемые на рельс	45
3.3 Расчетные напряжения и деформации в элементах верхнегостроения пути.	50
3.4 Допускаемые напряжения	52
3.5 Напряженное состояние основной площадки земляного полотна	54
3.6 Выводы по результатам расчетов на прочность	56
3.7 Расчеты бесстыкового пути	57
3.8 Результаты расчетов на прочность и устойчивость	62
Общие выводы по диссертации	68
Литература	72
Приложения	76

ВВЕДЕНИЕ

Шпалы — традиционный и наиболее распространенный тип подрельсового основания. Основные материалы для них — дерево, железобетон и металл. В железнодорожном пути шпалы обычно укладываются на балластный слой верхнего строения пути и обеспечивают неизменность взаимного расположения рельсовых нитей, воспринимают давление непосредственно от рельсов или от промежуточных креплений и передают его на подшпальное основание (рис. 1).

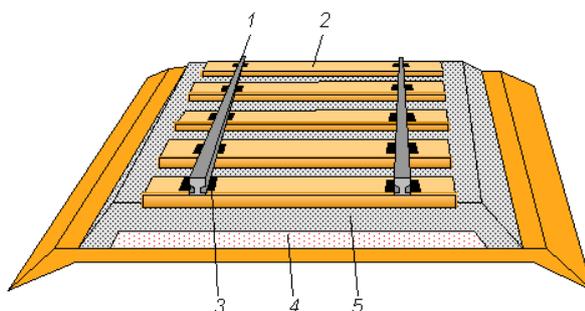


Рис. 1. Элементы верхнего строения пути: 1 – рельс; 2 – шпала; 3 – промежуточное рельсовое крепление; 4 – песчаная подушка; 5 – щебеночный балласт; 6 – земляное полотно

В целом шпалы служат для восприятия давления от рельсов и передачи его балластному слою; упругой переработки динамических воздействий на путь; обеспечения постоянства ширины колеи и совместно с балластом устойчивости рельсошпальной решетки в горизонтальной и вертикальной плоскостях.[13-18]

Первоначально шпалы были деревянными. Однако на основании многочисленных расчетов, опытно-конструкторских работ, экспериментальных и эксплуатационных исследований в настоящее время наиболее перспективным видом подрельсового основания в большинстве стран мира принята железобетонная шпала.[1-2-18]

Железобетонные шпалы имеют следующие достоинства [1]: сравнительно большой срок службы (40—50 лет), однородная упругость пути по длине, хорошая устойчивость в балласте против сдвига, возможность придания им целесообразной формы. Жесткие динамические нагрузки, ощутимые температурные перепады, увлажнение и высушивание, замораживание и оттаивание, воздействие органической среды и другие агрессивные факторы предъявляют исключительно высокие требования к надежности и долговечности этих изделий. В соответствии с этим шпалы должны обладать достаточной прочностью, упругостью, хорошо сопротивляться механическому износу и перемещениям, быть простыми по форме, иметь наибольший срок службы и наименьшую стоимость при изготовлении и содержании.

В составе железнодорожного пути железобетонные шпалы предназначены для применения на всех железнодорожных линиях и путях, по которым обращается типовой подвижной состав с нагрузками и скоростями, установленными для общей сети железных дорог, без ограничения по грузонапряженности. При этом в странах СНГ, в том числе и на ГАЖК «Узбекистонтемирйуллари», типовые железобетонные шпалы предназначены для применения с рельсами типов Р75, Р65 и Р50 на прямых участках пути и в кривых радиусом не менее 350 м. Число шпал на 1 км (эпюра) зависит от величины нагрузок на рельсы, грузонапряженности, скоростей движения поездов, типа рельсов, рода балластного слоя, плана и профиля пути. В странах СНГ приняты 3 эпюры: 1600 шт/км {на второстепенных путях}, 1840 и 2000 (в зависимости от плана линии и скорости движения). [7-8-9]

Современная железобетонная шпала - цельнобрусковая из предварительно напряженного железобетона, армированная высокопрочной проволокой [1-5]. Она представляет собой железобетонную балку переменного сечения. На таких балках имеются площадки для установки рельсов, а также отверстия под болты

рельсошпального скрепления (при забивании в отверстия деревянных пробок используются также костыльные и шурупные соединения). Современные типы шпал имеют анкера. Железобетонные шпалы изготавливаются с предварительным натяжением арматуры. Технология изготовления железобетонных шпал следующая: в специальную форму помещаются струны арматуры, которым сообщаются растягивающие усилия. Затем под действием вибратора форма заполняется бетоном. Когда бетон затвердевает, напряжения передаются на бетон. Такой способ изготовления шпал придает им трещиностойкость и предохраняет шпалу от раскола под подвижным составом.

Массовая укладка железобетонных шпал началась только в 60-х - 70-х годах прошлого столетия [1].

В Республике Узбекистан железобетонные шпалы (С-56-2, ШС-1, Ш1-1) в массовом порядке стали применяться также со второй половины прошлого века [4]. Многолетняя эксплуатация предварительно напряженных железобетонных шпал на железных дорогах мира доказала их надежность. Существуют участки железных дорог, на которых преднапряженные железобетонные шпалы прослужили более 40-50 лет и не имели каких-либо существенных повреждений. В мире в настоящее время уложено более одного миллиарда шпал.

Однако, в настоящее время шпалы С-56-2, ШС-1, Ш1-1 с жестким клеммно-болтовым рельсовым скреплением типа КБ морально устарели и на смену им приходят новые типы шпал с упругими (эластичными) типами рельсовых скреплений.

В связи с отмеченным настоящая диссертация посвящена исследованию и оптимизации работы современного типа шпал с упругими типами скреплений на ГАЖК «Узбекистон темир йуллари». Это положение определяет актуальность выполненного исследования.

ГЛАВА I. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ, ПОСТАНОВКА ВОПРОСА, ЗАДАЧИ И ЦЕЛИ ИССЛЕДОВАНИЙ

1.1 Общие сведения

Первые железобетонные железнодорожные шпалы были изготовлены в России в 1903 г. и испытаны в лаборатории Петербургского института инженеров путей сообщения, а затем уложены на одной из станций Финляндской железной дороги. С 1903 по 1927 гг. попытки применения железобетонных шпал в России неоднократно повторялись — к числу наиболее крупных опытов относится укладка 4-х тыс. шпал в 1922 г. на Южной дороге.

На первом этапе отработки конструкции шпалы железобетонной были проведены широкие эксплуатационные испытания двухшарнирных трёхблочных шпал, двухблочных с металлической соединительной поперечиной (таврового или трубчатого сечения) и цельнобрусковых шпал из предварительно напряжённого железобетона. Конструкционные особенности этих типов шпал:

- цельнобрусковые, представляющие из себя один монолитный брус для опирания двух рельсовых нитей (рис 2а);
- двухшарнирные, представляющие свободную шарнирную конструкцию из трех блоков, соединенных друг с другом, напряженной арматурой (рис 2б);
- двухблочные, состоящие из двух подрельсовых блоков из напряженного железобетона, жестко соединенных металлическим элементом (рис 2в);
- полушпалы, представляющие собой несвязанные друг с другом подрельсовые блоки, укладываемые отдельно под каждую рельсовую нить.

При этом наибольший вклад в разработку вопросов конструкции и рациональной системы эксплуатации железобетонных шпал внесли

следующие ученые: Г.М.Шахунянц, И.Ф.Вериго, В.Я.Шульга, М.А.Фришман, С.П.Першин, Золотарский А.Ф., Андреев Г.Е., Ю.Д.Волошко, В.И.Ангелейко, Евдокимов Б.А., Исаев Н.М., Крысанов Л.Г., Серебренников В.В., Федулов В.Ф., Клинов С.И. Среди ученых Республики Узбекистан можно назвать имена, таких ученых как Тарсин В.П., Иргашев Ш.А., Виноградов В.А., Овчинников А.Н. и др.

Многолетний опыт применения железобетонных шпал на различных железных дорогах с различными эксплуатационными параметрами определил цельнобрусковые железобетонные шпалы как наиболее оптимальную конструкцию. Это положение принимается в настоящее время большинством стран мира.

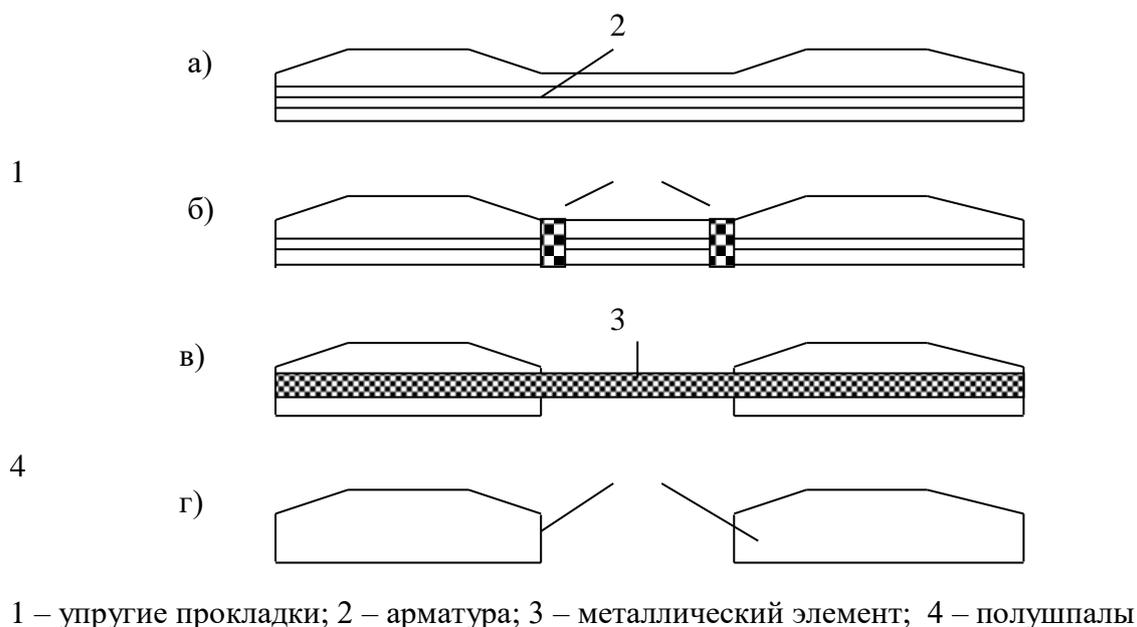


Рис. 2 Типы железобетонных шпал

При этом в большинстве стран мира подавляющее предпочтение также отдается моноблочным железобетонным шпалам [1,4,5] с предварительно напрягаемой арматурой (рис.3), хотя в ряде стран применяются и другие конструкции шпал (рис.4).

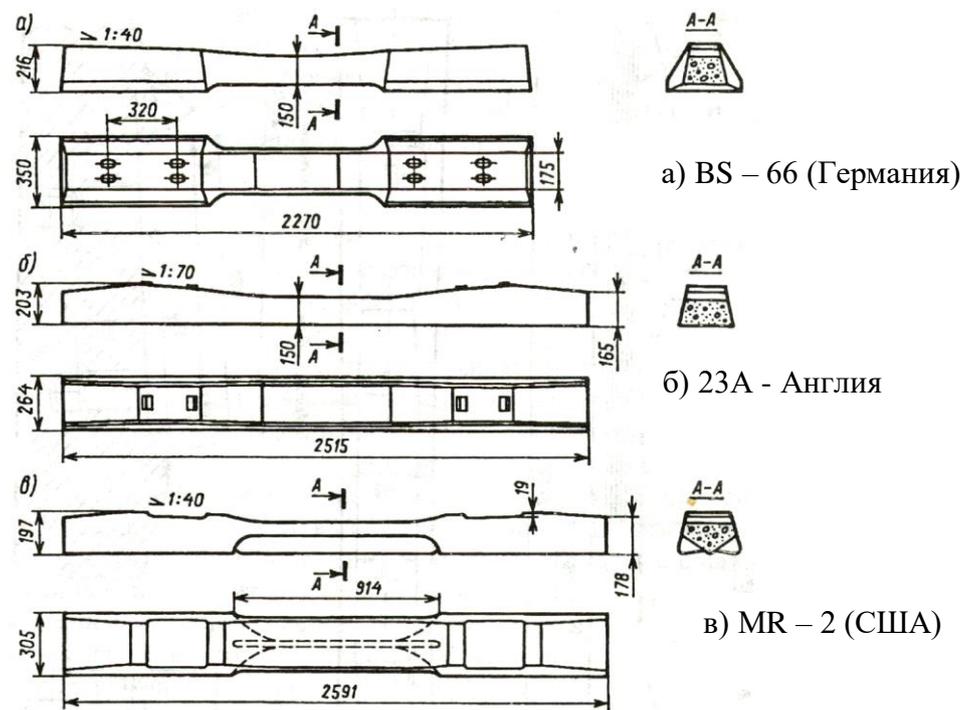


Рис.3 . Моноблочные железобетонные шпалы зарубежных стран

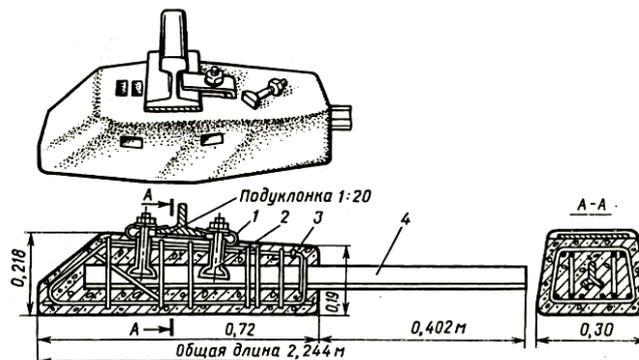


Рис. 4 . Двухблочная шпала типа RS (Франция)

Массовое применение железобетонных шпал на железных дорогах мира объясняется рядом присущих им ценных качеств, к которым относятся:

- высокая долговечность шпал при небольшой одиночной смене в процессе эксплуатации (расчетный срок их службы составляет не менее 50 лет по сравнению с 15 – 20 годами для пропитанных деревянных шпал);

- обеспечение повышенной устойчивости рельсовой колеи от боковых сдвигов и выброса вверх, т.е. увеличение стабильности пути, что способствует применению бесстыкового пути и расширению сферы его укладки;

- однородность физического состояния шпал на протяжении всего срока службы, положительно влияющая на обеспечение одинаковых характеристик упругости рельсового основания;

- возможность придания шпалам целесообразных геометрических форм с учетом действующих на шпалу сил.

Недостатком железобетонных шпал является большая масса, наличие электропроводности, высокая жесткость и сложность крепления рельсов к ним. Для повышения упругости под рельсы укладывают амортизирующие прокладки. Во избежание утечки электрического тока применяют рельсовые скрепления специальной конструкции с электроизоляционными деталями.[1-2-17-18]

Основные конструктивные особенности железобетонных шпал, основные характеристики материалов, применяемых при изготовлении железобетонных шпал и основные технологические характеристики их производства в различных странах мира приведены в табл.1-3.

Первые типовые цельнобрусковые шпалы С-55-1 и С-55-2 изготавливались в 1955-1956 гг. и были уложены на протяжении нескольких десятков километров. Основными недостатками этих шпал были: недостаточная толщина защитного слоя бетона, излишнее количество ненапряженной арматуры, большое ослабление подрельсовых частей шпалы деревянными дюбелями, расположенными попарно в одном поперечном сечении. Кроме того, в этих шпалах часто применялась гладкая арматура вместо арматуры периодического профиля 3 мм. Шпала рассчитана на применение отдельного скрепления типа К2 с клинчатыми подкладками, поскольку подрельсовые площадки шпалы подуклонки не имеют.

В 1956 г. с учетом всего накопленного опыта применения струнобетонных шпал была разработана струнобетонная шпала С-56, которая была затем утверждена как основной тип железобетонных шпал на перспективу (ГОСТ 10629 - 88).

На ГАЗК «Узбекистон темир йуллари» в настоящее время применяется два типа железобетонных шпал: Ш1-1-1 со скреплением КБ и шпалы типа ВФ70 со скреплением «Pandrol Fastclip» (рис. 5).

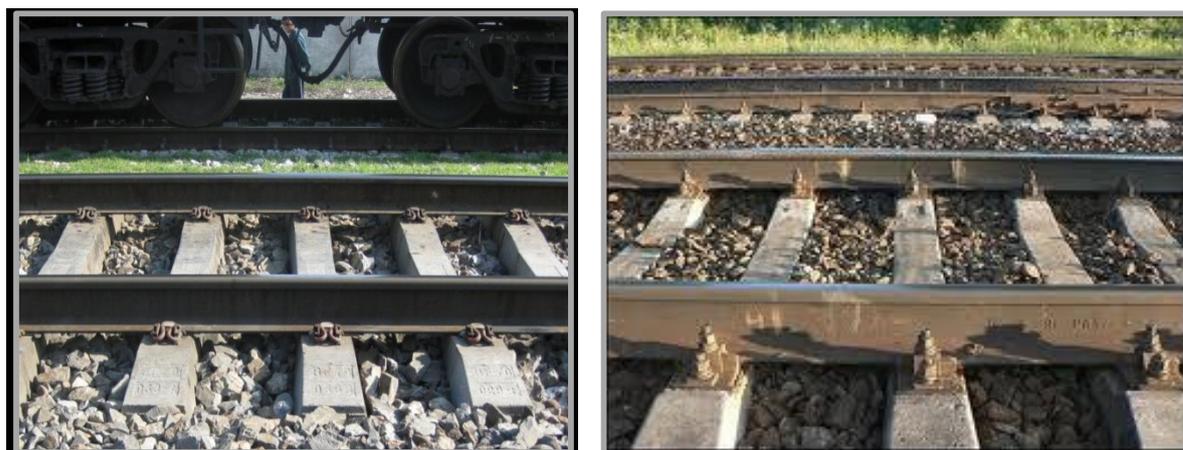


Рис. 5 Путь со скреплениями Pandrol Fastclip (слева) и КБ-65 (справа)

Таблица 1. Основные конструкционные особенности железобетонных шпал

Страна	Основной тип шпал.	Условное обозначение	Тип напрягаемой арматуры	Число проволок и диаметр арматуры	Масса шпалы, кг	Срок службы, лет	Общее кол-во уложенных шпал, тыс. штук
СНГ	цельнобрусковые	Ш1 44x3	проволочная	44x3мм	270	50	280 000
Узбекистан	цельнобрусковые	BF70	проволочная	16x5 мм	330	50	2500
Венгрия	цельнобрусковые	LX	проволочная	60x2,5мм	237	-	20338
Польша	цельнобрусковые	JNBK-7	пряди	8x7x2,5мм	210-245	-	-
Германия	цельнобрусковые	B50,B58,B70	стержневаязакаленная	8x6,9мм 4x9,7м 4x10мм	236-295	30	-
Англия	цельнобрусковые	F23	стержневая		278	50	-
Япония	цельнобрусковые	RT	проволочная и стержневая	32x2,6мм 4x12мм	143	-	60000
США	цельнобрусковые	E,MR-2,RT7	стержневая, проволочная	4x11м	280-408	30	600000
Франция	двухблочные	RS	проволочная	6-7мм	180	-	-
Швеция	цельнобрусковые	101	стержневая,проволочная	19мм 44x3мм	199	50	18066
Австралия	цельнобрусковые	-	-	-	-	50	600000
Бельгия	цельнобрусковые	-	-	-	-	40	9912
Чехия	цельнобрусковые	-	-	-	-	30	17000
Греция	цельнобрусковые	-	-	-	-	60	6150
Нидерланды	цельнобрусковые	-	-	-	-	40	-
Норвегия	цельнобрусковые	-	-	-	-	60	3000
Швейцария	цельнобрусковые	-	-	-	-	60	17000
Словакия	цельнобрусковые	-	-	-	-	30	-

Таблица 2 - Основные характеристики материалов для изготовления шпал

Страна	средний расход цемента, кг/м ³ бетона	Максимальная крупность щебня, мм	Водоцементное отношение	Отпускная прочность, МПа	Марка бетона по прочности на сжатие, МПа
СНГ	440-460	20	0.36	36	50
Узбекистан	490	20	0.30	40	60-70
Венгрия	450-550	-	-	37.5	50
Польша	470-490	-	-	42	50
Германия	380-390	38	0.38	40-45	60
Англия	380-390	19	0.38-0.42	28-35	50
Япония	450-470	25.4	0.35	40	60
США	375-450	19	0.3	35,5-57	65-73
Франция	350-360	40	0,36-0.39	-	40
Швеция	390-400	25	0.35	-	60

Таблица3 - Основные технологические характеристики производства шпал

Страны	Технологическая схема	Время ТВО, час	Режим ТВО/ t _{max} , °С	Продолжительность оборачиваемости форм, час.	Сила предварительного натяжения, кН
СНГ	поточно-агрегатная	11	2+3+4+2/80	12	364
Узбекистан	стендовая	11	2+3+4+2/60	12	367
Венгрия	поточно-конвейерная	11	/80	7.5-12	115
Польша	стендовая, поточно-конвейерная	14	3+2+4+5/85	12-16,5	360
Германия	поточно-агрегатная	8	/70	8-12	270
Англия	стендовая	-	без ТВО -	24	320
США	стендовая, конвейерная	12	/66	24	355
Франция	поточно-агрегатная	-	без ТВО	24	-
Швеция	стендовая	без ТВО	без ТВО	16-24	150

1.2 Железобетонные шпалы Ш-1-1, изготавливаемые по ГОСТ 10629 – 88/4/

Конструкция железобетонных шпал, эксплуатируемых в большинстве стран бывшего Советского Союза со второй половины XX века, постоянно совершенствовалась. В настоящее время она установлена в соответствии с ГОСТ 10629—88 (взамен ГОСТ 10629—78), вступившем в действие с 01.01.1990 г. (рис. 6).

Железобетонные шпалы по ГОСТ 10629 – 88 в зависимости от типа рельсового скрепления подразделяются на:

Ш1 – для скрепления КБ (Ш1-1 – с первым вариантом исполнения подрельсовой площадки; Ш1-2 – со вторым вариантом исполнения подрельсовой площадки);

Ш2 – для нераздельного клеммно – болтового скрепления типа БПУ (этот тип скрепления на ГАЖК «Узбекистон темир йуллари» не эксплуатируется).

Шпалы армированы проволокой периодического профиля диаметром 3 мм (44 шт.); сила натяжения одной проволоки 8,1 кН. Глубина подрельсовых выемок у этих шпал 25 мм. Для изготовления шпал применяют бетон марки не ниже 500. Масса шпалы около 265 кг.

Конструкция шпалы позволяет использовать ее при рельсах Р50, Р65 и Р75.

Особенность шпалы С-56-2 состоит в том, что ширина ее увеличивается к торцам. Это создает большую опорную площадь там, где давление на балласт у железобетонных шпал наибольшее. Кроме того, с уширением подошвы увеличивается площадь торца шпалы, что увеличивает устойчивость пути в поперечном направлении. Опорные подрельсовые площадки запроектированы с подуклонкой, что позволяет применять скрепления с плоской металлической подкладкой или совсем без подкладок. [3-5]

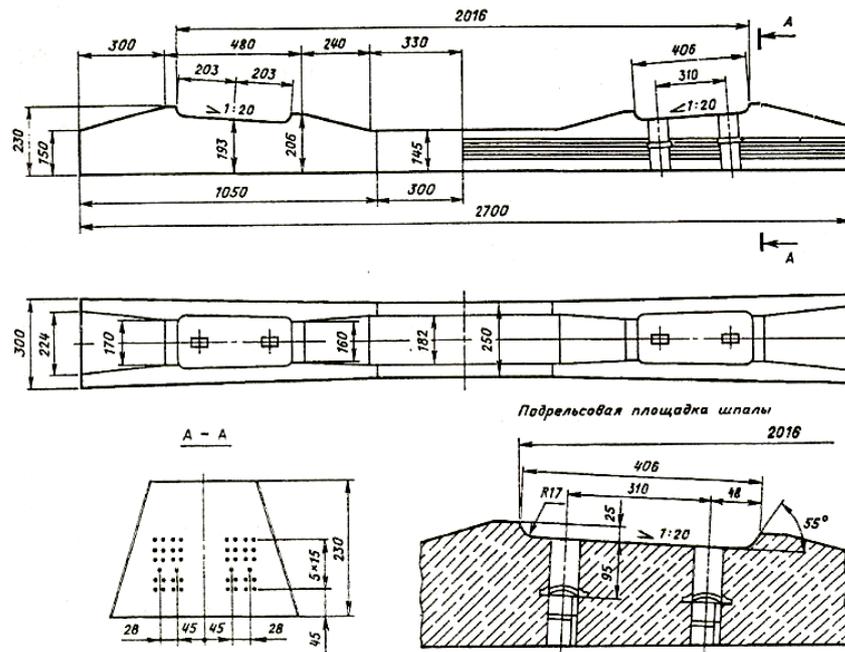


Рис.6 . Железобетонная шпала Ш1 – 1.

Следует отметить, что в процессе эксплуатации пути с железобетонными шпалами Ш1 – 1 достаточно интенсивно изнашиваются рельсовые крепления. Это побуждает заменять рельсошпальную решетку, укладывая старогоднюю на менее деятельные линии, а затем -на станционные и подъездные пути. Такая система многократной перекладки путевой решетки с железобетонными шпалами позволит обеспечить срок их службы больше 50 лет.

1.3 Железобетонные шпалы, изготавливаемые по Евростандарту EN 13230 – 1,2 /2,5/

Начиная с 2004 года на магистральных линиях ГАЖК «Узбекистон темир йуллари» в массовом порядке стали укладываться и эксплуатироваться железобетонные шпалы современного типа BF70 (рис. 77) с упругим (эластичным) промежуточным рельсовым креплением типа «Pandrol Fastclip» (Англия). Шпалы изготавливаются местным производителем в соответствии с Евростандартом EN 13230 – 1,2,

гармонизированном на территории Республики Узбекистан (O'zDStEN 13230 – 1,2).

В шпалах BF70 используется высокопрочная проволока Вр класса 1400 диаметром 5 мм, что позволило уменьшить количество проволок в шпале в 3 раза по сравнению со шпалами типа ШС1. Шпалы BF 70 имеют прочностные параметры шпал в среднем на 25-30% выше, чем у шпалы типа Ш-1. Это позволяет укладывать и эксплуатировать их на магистральных линиях любых классов, включая скоростные и высокоскоростные линии, а также участки с повышенных осевых нагрузках. При сборке, укладке и эксплуатации шпал BF70 применяется меньшая эюра:[5]

1720 шпал/км – в прямых участках пути;

1840 шпал/км – в кривых радиуса менее 2000 м.

Только за счет этого экономится значительные средства (около 14 000\$/км). Основные характеристики шпалы типа BF 70 приведены в табл. 4

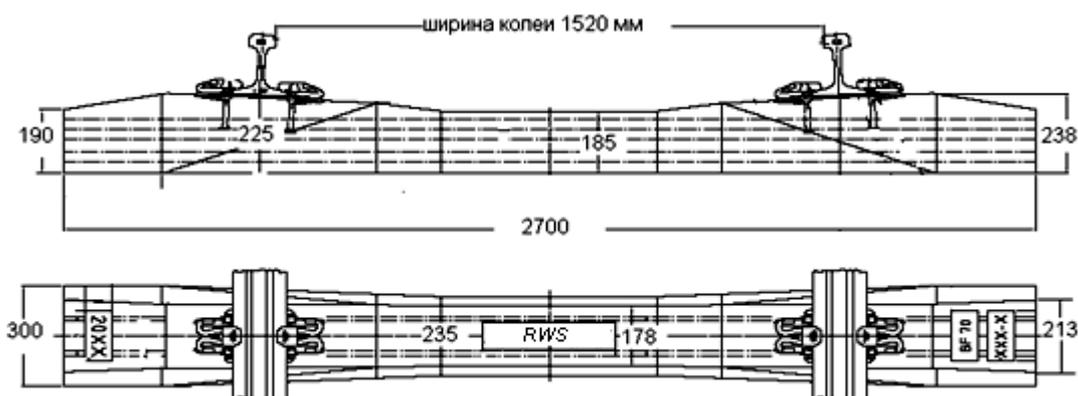


Рис. 7 Железобетонная шпала BF70 со креплением «PandrolFastclip»

Кроме того, существенно сокращаются затраты труда на сборку путевой решетки с эластичными типами креплений на путевых производственных базах, т.к. шпалы выходят с завода по их производству в комплекте со креплениями (рис8б). На путевых производственных базах

шпалы раскладываются по эюре и после установки рельсов клеммы переводятся в рабочее положение (рис.8в), после чего рельсошпальная решетка транспортируется к месту укладки. [15]

Таблица 4 - Основные характеристики шпалы типа BF 70

Количество шпал на 1 км на прямых участках	1720 шт.
Ширина рельсовой колеи	1520 мм*
Тип рельса (с шириной подошвы 150 мм)	P65, P75, UIC60
Уклон подрельсовых площадок	1/20
Длина шпалы	2700 мм
Площадь опирания (площадь нижней постели шпалы)	0,72 м ²
Скорости движения пассажирских поездов	до 250 км/ч**
Скорости движения грузовых поездов	до 100 км/ч**
Максимальная осевая нагрузка от колес подвижного состава	25 т/ось**
Класс бетона/марка бетона	не ниже В45/М600
Передаточная прочность бетона	не ниже 40 МПа
Марка бетона по морозостойкости	F200
Вид промежуточного рельсового крепления	PandrolFastclip, Vossloh W14, КБ65***
Расчетный срок службы шпал BF 70	не менее 50 лет

**Ширина колеи 1520 мм является универсальной для стран СНГ. Технология изготовления шпал BF 70 предусматривает возможность изменения этого параметра в любую сторону.*

***По желанию заказчика скорости движения и осевые нагрузки могут быть увеличены (за счет увеличения величины предварительного напряжения проволок)*

****Технология изготовления позволяет в кратчайшие сроки модифицировать производственную линию для выпуска шпал с любым типом креплений.*

а) нерабочее положение б) положение «парковки» в) рабочее положение

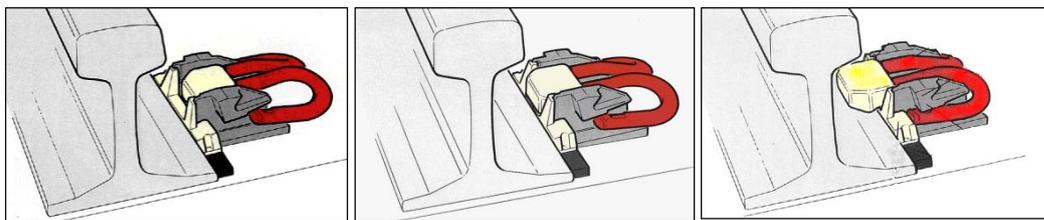


Рис. 8 Схема монтажа крепления «Pandrol Fastclip»

Следует также отметить, что при эксплуатации указанной конструкции железнодорожного пути расходы на его текущее содержание являются существенно более низкими, чем при применении традиционных креплений типа КБ. Это связано с тем, что расходы на содержание креплений «Pandrol Fastclip» в процессе эксплуатации практически отсутствуют, так как в конструкциях креплений использован принцип «установить и забыть».

Ниже приведены основные преимущества использования шпал BF70 относительно шпал Ш1-1:

- ❖ спроектированы и производятся по Евростандарту EN 13230 – 1,2 с использованием системы менеджмента качества согласно международному стандарту ISO 9001, что обеспечивает высочайшее качество шпал и их соответствие аналогичной продукции ведущих мировых производителей;
- ❖ по параметрам прочности и трещиностойкости шпалы BF70 на 25-30% превосходят шпалы Ш1-1, что позволяет использовать их на магистральных линиях любых классов, включая скоростные и высокоскоростные участки (200-250 км/ч) и линии с повышенными осевыми нагрузками (30 т/ось);

- ❖ укладываются и эксплуатируются в пути с меньшим количеством шпал на километр, за счет чего экономия составляет до \$17 000 на каждом километре;
- ❖ монтаж всех элементов эластичных креплений выполняется на заводе, что в 8-10 раз сокращает затраты труда при сборке путевой решетки, а также исключает возможность утери элементов креплений или их некомплектной поставки;
- ❖ применение крепления «Fastclip» позволяет выполнять быстрый монтаж/демонтаж подрельсового узла при помощи специального инструмента (входит в комплект поставки), обеспечивая защищенность от несанкционированного демонтажа; при этом отсутствие в шпале и в креплениях болтовых и шурупных соединений делает шпалу BF70 незаменимой, особенно в условиях пустынь, засоленных почв, а также на участках с повышенным снегозаносом и низкими температурами;
- ❖ минимизация расходов на текущее содержание пути, так как при эксплуатации практически отсутствуют затраты на обслуживание шпал BF70 и креплений;
- ❖ технологические преимущества изготовления шпал BF70: высокоточное дозирование компонентов бетона; индивидуальное и контролируемое натяжение каждой из проволок; использование специальных добавок, обеспечивающих марку бетона не ниже В45; высокая передаточная прочность (40 МПа); плавная передача преднапряжения на бетон и др.

1.4 Требования нормативных документов к железобетонным шпалам на скоростных и высокоскоростных участках ГАЖК «УТЙ»

1. ВСН 450-Н «Ведомственными техническими указаниями по проектированию и строительству. Железные дороги колеи 1520 мм»[7]

В настоящее время в соответствии с действующими на ГАЖК «Узбекистонтемирйуллари» ВСН 450-Н имеются приведенные ниже нормативы по укладке железобетонных шпал:

Пункт 5.10: Род и число шпал на главных путях в пределах станций, разъездов и обгонных пунктов должны соответствовать нормам, установленным для перегонов (табл. 5), на приемоотправочных путях, сортировочных горках и в сортировочных парках - по нормам не ниже IV категории. На горках с перерабатывающей способностью более 1500 вагонов в сутки род и число шпал следует принимать по нормам II категории. На прочих станционных путях следует укладывать деревянные шпалы II типа или старогодние железобетонные с числом не менее 1600 шт/км. В пределах закрестовинных кривых число шпал должно назначаться из расчета не менее 1840 шт/км, а на главных путях - 2000 шт/км.

Таблица 5 - Нормы по эпюре железобетонных шпал

Показатель	Мощность верхнего строения пути на железнодорожных линиях категорий						
	Высоко-скоростные	Скоростные	Особо-грузонапряженные	I	II	III	IV
Тип рельсов	P75-P65	P75-P65	P75-P65	P75-P65	P65	Старогодние P75-P65, новые P65	
Род шпал	Деревянные I типа или железобетонные						Дер. или жел. бет.

Показатель	Мощность верхнего строения пути на железнодорожных линиях категорий						
	Высокоскоростные	Скоростные	Особогрузонапряженные	I	II	III	IV
Число шпал на 1 km пути, шт.							
на прямых и кривых радиусом 1200 и более	2000	2000	2000	2000	1840	1840	1840
радиусом менее 1200 m	2000	2000	2000	2000	2000	2000	1840

При этом в действующих нормах (табл. 5) для скоростных и высокоскоростных участков не учтено, что шпалы ВФ70 имеют значительные преимущества перед стандартными шпалами Ш1-1, что, возможно, позволяет их применять с меньшей эпюрой шпал. Это надо подтвердить, как теоретическими расчетами, так и экспериментальными и эксплуатационными исследованиями. [7]

2. ВСН 448-Н «Инфраструктура высокоскоростной железнодорожной линии Ташкент – Самарканд. Общие технические требования» /8/.

Пункт 6.4.4: В пути должны быть уложены железобетонные шпалы с эпюрой **1840 штук на 1 km**. [8]

Пункт 6.4.5: Железобетонные шпалы должны укладываться на слой щебня фракции от 25 до 60 mm марки не ниже И20 и У75 по ГОСТ 7392.

3. Ведомственные технические указания по проектированию Железные дороги колеи 1520 мм[9]

Пункт 6.1: Мощност верхнего строения главных путей при проектировании новых железнодорожных линий и дополнительных главных путей надлежит устанавливать по нормам (таблица 6).

Таблица 6 Конструкция верхнего строения пути

Показатель	Мощность верхнего строения пути на железнодорожных линиях категорий						
	Высоко-скоростные	Скоростные	Особогрузонапряженные	I	II	III	IV
Тип рельсов	P75-P65	P75-P65	P75-P65	P75-P65	P65	Старогодние P75-P65 Новые P65	
Род шпал	Деревянные I типа или железобетонные					Дер. или ж.бетонные	
Число шпал на 1 км пути, шт.:							
на прямых и кривых радиусом 1200 м и более	2000	2000	2000	2000	1840	1840	1840
на кривых радиусом менее 1200 м	2000	2000	2000	2000	2000	2000	1840

4. *Н ЦРБ-393. Инструкция по техническому обслуживанию и эксплуатации сооружений, устройств, подвижного состава и организации движения на участках обращения скоростных пассажирских поездов [10].*

Пункт 12, параграф 2:

На участках пути, где осуществляется скоростное движение пассажирских поездов, должны применяться железобетонные шпалы. Эпюра шпал **1840 штук на 1 км** в прямых и кривых с радиусом более 1200 м и **2000 штук на 1 км** в кривых меньших радиусов. Допускается до усиления пути сохранение эпюры шпал **1840 штук на 1 км** во всех случаях.

Промежуточные рельсовые скрепления должны быть с упругими клеммами. Допускается до организации их серийного производства применение скреплений типа КБ с жесткими клеммами.

5. Специальные технические условия на проектирование
железнодорожной линии Ташкент – Самарканд

Таблица 7- Параметры проектирования для скоростей 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.	Число шпал на км	шт.	1840 / 2000	2000

Таким образом, в действующих в Республике Узбекистан нормативных документах нет единого подхода к выбору конструкции и типа подрельсового основания на ГАЖК «Узбекистонтемирйуллари». Также не учитываются особенности и значительные преимущества шпал BF70, изготавливаемых по Евростандарту, относительно традиционных шпал Ш1-1 (ГОСТ 10629-88), эксплуатируемых с жесткими скреплениями типа КБ.

В связи с отмеченным, приведенные в диссертационной работе разработки направлены на анализ, испытания и оптимизацию конструкции и системы использования железобетонных шпал типа BF70 с упругим (эластичным) промежуточным рельсовым скреплением типа «Pandrol Fastclip».[8]

Приведенные в диссертационной работе исследования

включают в себя следующие цели:

1. Анализ конструкции железобетонных шпал ВF70 и возможность их надежной и долгосрочной эксплуатации на скоростных и высокоскоростных линиях.
2. Оценка 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 воздействии электропоездов с электровозом «Узбекистан» и электропоезда «Афрасиаб».
3. Выбор оптимальных параметров укладки и эксплуатации шпал ВF70 со креплениями «Pandrol Fastclip» на скоростных и высокоскоростных линиях ГАЖК «Узбекистон темир йуллари».

Приведенные в диссертационной работе исследования

включают в себя следующие задачи:

1. Расчет прочностных параметров шпал ВF70 (прочность, выносливость, трещиностойкость).
2. Экспериментальные испытания железобетонных шпал по прочностным показателям и параметрам трещиностойкости.
3. Сравнительный анализ шпал Ш1-1 и ВF70.
4. Расчеты пути на прочность и устойчивость (с электровозом «Узбекистан» выполнены самостоятельно, а данные расчетов с электропоездом «Афрасиаб» взяты из статьи магистранта Аликперова С.).

Основное содержание диссертации изложено в следующих трудах:

1.ТашИИТ Научные труды республиканской научно-технической конференции с участием зарубежных ученых.

2.ТАДИ Сборник научных трудов конференции молодых ученых.

Общий объем диссертации составляет 98 страниц машинописного текста, включая 13 рисунков, 13 таблиц и 34 списков литературных источников.

ГЛАВА II. АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ ШПАЛЫ BF70 И РАСЧЕТ ЕЕ ПРОЧНОСТНЫХ ПАРАМЕТРОВ

Как видно из рис. 6 и 7 шпала BF70 при практически одинаковой длине и ширине имеет значительно большую высоту, чем шпала Ш1-1 и, соответственно, лучшую сопротивляемость вертикальным нагрузкам от подвижного состава. Для сравнительного анализа прочностных параметров этих шпал ниже выполнен расчет основных параметров железобетонных шпал BF70 и Ш1-1 [4,5], характеризующих их прочность, выносливость и трещиностойкость. Расчет включает в себя определение:

1. Предельных изгибающих моментов по условию:

- выносливости бетона в сжатых зонах шпалы;
- выносливости наиболее растянутой арматуры;
- трещиностойкости бетона в растянутых зонах шпалы;

2. Предельных поперечных сил по условию трещиностойкости на нейтральной оси приведенного сечения шпалы BF70.

Расчет выполнен по методике [1] и рабочим чертежам шпалы BF70 [2].

2.1 Геометрические характеристики сечений шпалы

При расчетах определены следующие основные характеристики поперечных сечений железобетонной шпалы типа BF70 (рис.9,10), предназначенной для эксплуатации на ГАЖК «Узбекистонтемирйуллари»:

1. Площадь поперечного сечения напряженной арматуры, мм²,

$$F_n = \sum n_i f_a ,$$

где $\sum n_i$ – общее число стержней (под термином стержень здесь и ниже понимается также проволока, канат или другой любой одиночный элемент арматуры);

f_a - площадь поперечного сечения одного стержня (ВрII диаметром 5 мм), мм².

Общая площадь F_n и вес P_n высокопрочных проволок Вр класса 1400 диаметром 5 мм в шпале ВФ70 составляют:

Для подрельсового сечения и сечения посередине шпалы:

$$F_n = 314,2 \text{ мм}^2;$$

2. Расстояние от низа поперечного сечения шпалы до центра тяжести преднапрягаемых проволок:

$$a_n = \frac{\sum n_i f_a y_i}{F_n},$$

где n_i – число стержней в данном горизонтальном ряду арматуры;

y_i – расстояние данного горизонтального ряда арматуры от низа сечения, мм.

Для подрельсового сечения и сечения посередине шпалы:

$$a_n = 90 \text{ мм.}$$

3. Площадь поперечного сечения бетона шпалы F , мм^2 , определяется по наружным размерам шпалы за вычетом внутренних пустот, каналов и вкладышей из материалов с резко отличными от бетона свойствами из материалов с резко отличными от бетона свойствами (например, деревянные или пластмассовые дюбели, попадающие в сечение).

$$\text{Подрельсовое сечение: } F = 520 \times 10^2 \text{ мм}^2;$$

$$\text{Середина шпалы: } F = 382 \times 10^2 \text{ мм}^2;$$

4. Площадь приведенного поперечного сечения шпалы, мм^2 ,

$$F_{\pi} = F + nF_n,$$

$$\text{Подрельсовое сечение: } F_{\pi} = 520 \times 10^2 + 6,15 \times 314,2 = 53\,932 \text{ мм}^2;$$

$$\text{При } n' = 10 \text{ получено } F_{\pi} = 520 \times 10^2 + 10 \times 314,2 = 55\,142 \text{ мм}^2;$$

$$\text{Середина шпалы: } F_{\pi} = 382 \times 10^2 + 6,15 \times 314,2 = 40\,132 \text{ мм}^2;$$

$$\text{При } n' = 10 \text{ получено } 382 \times 10^2 + 10 \times 314,2 = 41\,342 \text{ мм}^2;$$

где $n = \frac{E_a}{E_b}$. Величины E_a и E_b определяют в соответствии с модулями упругости соответственно арматуры и бетона.

$$n = 200\,000 / 32\,500 = 6,15$$

При расчете на выносливость вместо n принята величина n' в зависимости от проектной марки бетона ($n' = 10$).

5. Статический момент приведенной площади поперечного сечения шпалы относительно низа сечения определяют по формуле

$$S_{\Pi} = S + nF_n a_n,$$

где S – статический момент площади поперечного сечения бетона шпалы относительно низа сечения, мм^3 ; $S = (2a + b) \times h^2 / 6$;

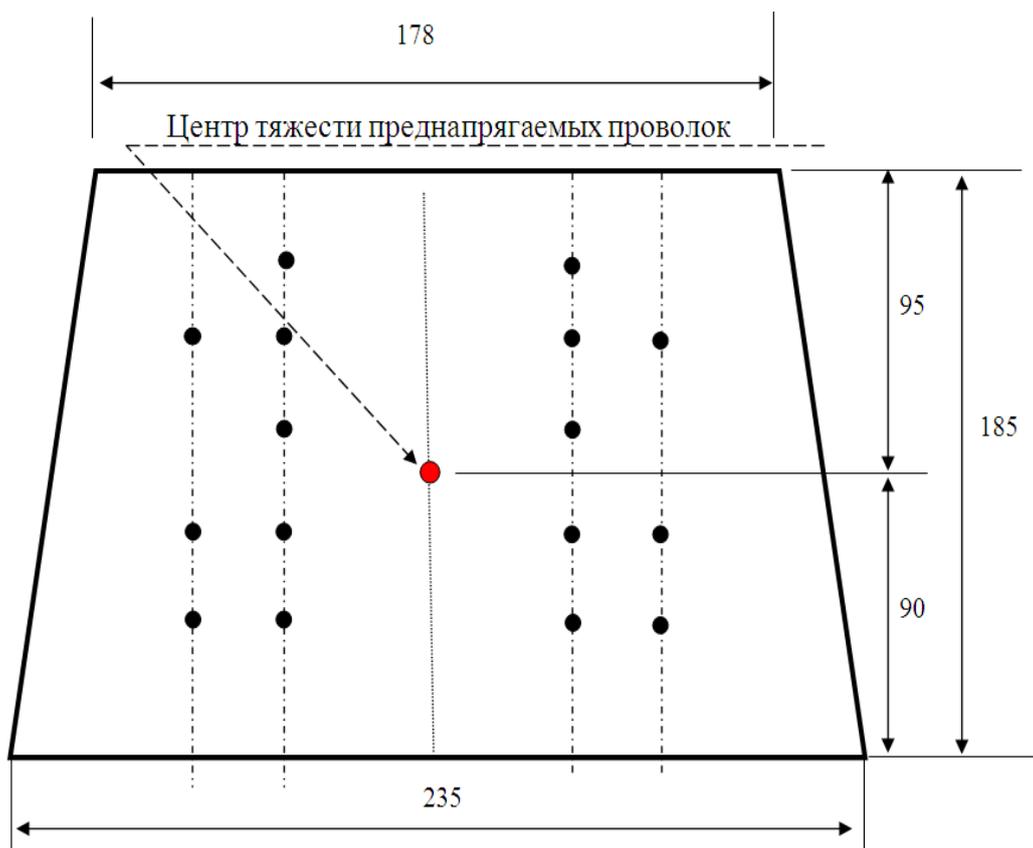


Рис. 9 Расположение арматуры в среднем сечении шпалы типа ВФ70

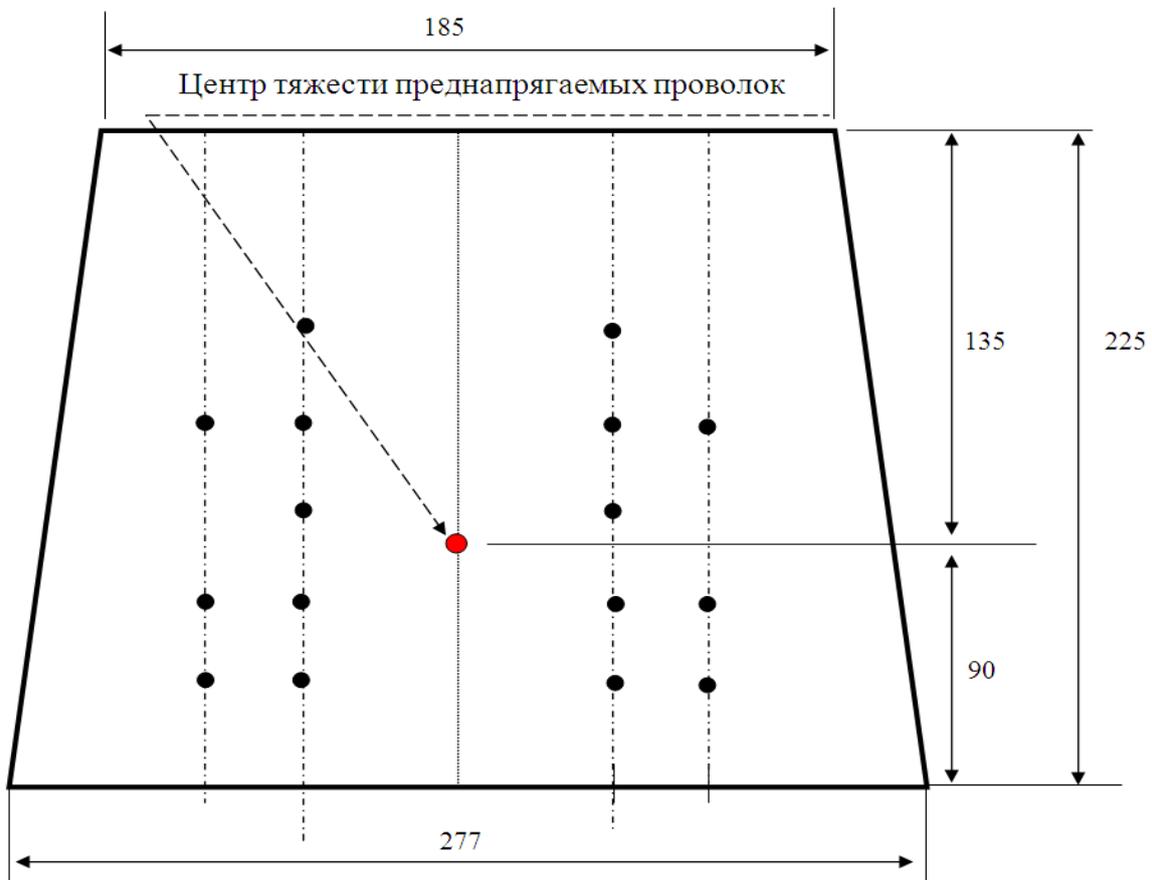


Рис. 10 Расположение арматуры в подрельсовом сечении шпалы типа BF70

Подрельсовое сечение: $S = (2 \times 185 + 277) \times 225^2 / 6 = 5459 \times 10^3 \text{ мм}^3$;

$S_{\text{п}} = 5459 \times 10^3 + 6,15 \times 314,2 \times 90 = 5633 \times 10^3 \text{ мм}^3$;

При $n' = 10$ получено: $S_{\text{п}} = 5459 \times 10^3 + 10 \times 314,2 \times 90 = 5742 \times 10^3 \text{ мм}^3$;

Среднее сечение шпалы:

$S = (2 \times 178 + 235) \times 185^2 / 6 = 3371 \times 10^3 \text{ мм}^3$;

$S_{\text{п}} = 3371 \times 10^3 + 314,2 \times 6,15 \times 90 = 3545 \times 10^3 \text{ мм}^3$;

При $n' = 10$ получено: $S_{\text{п}} = 3371 \times 10^3 + 314,2 \times 10 \times 90 = 3654 \times 10^3 \text{ мм}^3$;

6. Расстояние от низа поперечного сечения шпалы до центра тяжести площади приведенного поперечного сечения шпалы, мм, определяют по формуле

$$y_n = \frac{S_n}{F_n}.$$

Подрельсовое сечение: $y_{\text{п}} = 5633 \times 10^3 / 53\,932 = 104 \text{ мм}$;

при $n' = 10$ получено: $y_{\text{п}} = 5742 \times 10^3 / 55\,142 = 104 \text{ мм}$,

Среднее сечение шпалы: $y_{\text{п}} = (3545 \times 10^3) / (40\,132) = 88 \text{ мм}$;

при $n' = 10$ получено: $y_{\Pi} = 3654 \times 10^3 / 41\,342 = 88$ мм.

7. Эксцентриситет усилия предварительного обжатия относительно центра тяжести приведенного поперечного сечения шпалы, мм,

$$e_{OH} = y_{\Pi} - a_{H.}$$

Подрельсовое сечение: $e_{OH} = 90 - 88 = 2$ мм;

при $n' = 10$ получено: $e_{OH} = 90 - 88 = 2$ мм;

Среднее сечение: $e_{OH} = 104 - 90 = 14$ мм;

при $n' = 10$ получено: $e_{OH} = 104 - 90 = 14$ мм.

8. Момент инерции приведенного поперечного сечения шпалы относительно горизонтальной оси, проходящей через центр тяжести приведенного сечения, мм⁴,

$$I_{\Pi} = I + n \sum n_i f_a (y_{\Pi} - y_i)^2,$$

где I – момент инерции площади поперечного сечения бетона шпалы относительно центра тяжести поперечного сечения. Разница в положении центра тяжести поперечного сечения бетона шпалы и центра тяжести приведенного поперечного сечения шпалы не учитывается

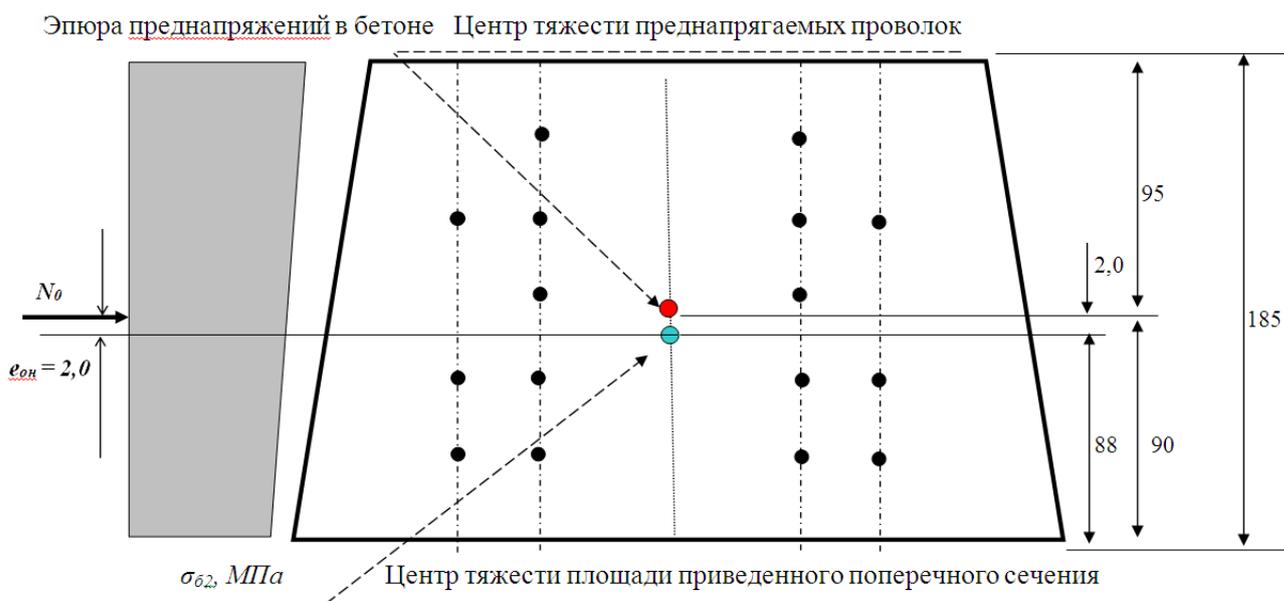


Рис. 11 Эксцентриситет усилия и эпюра напряжений предварительного обжатия в средней части шпалы типа ВФ70

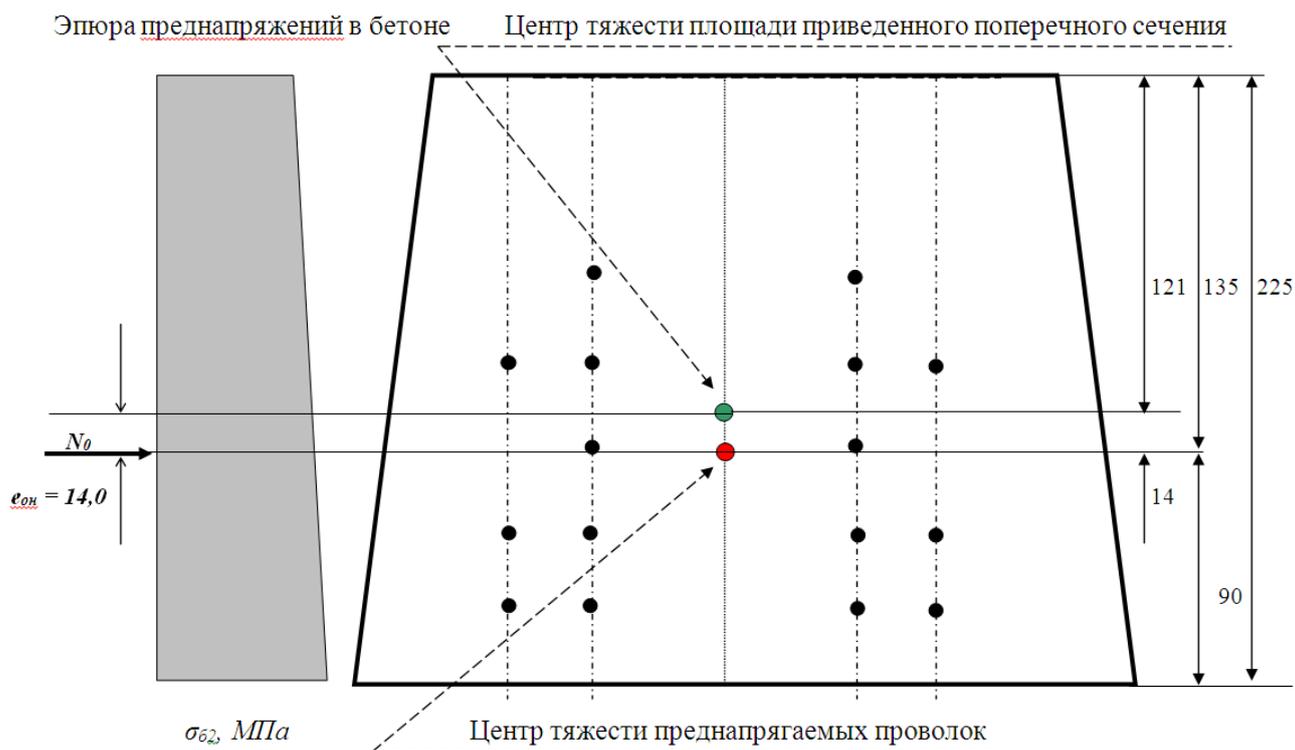


Рис. 12 Эксцентриситет усилия и эпюра напряжений предварительного обжатия в подрельсовом сечении шпалы типа ВФ70

$$I = [h^3x (a^2 + 4x a x b + b^2)] / [36 x (a + b)];$$

Подрельсовое сечение:

$$I = [225^3 x (185^2 + 4x185x277 + 277^2)] / [36x (185 + 277)] = 21638 x 10^4 \text{ мм}^4;$$

$$I_{\Pi} = 22050 x 10^4 \text{ мм}^4 ;$$

При $n' = 10$ получено: $I_{\Pi} = 22308 x 10^4 \text{ мм}^4;$

Среднее сечение шпалы:

$$I = [185^3 x (178^2 + 4x178x235 + 235^2)] / [36x (178 + 235)] = 10826 x 10^4 \text{ мм}^4;$$

$$I_{\Pi} = 11201 x 10^4 \text{ мм}^4 ;$$

При $n' = 10$ получено: $I_{\Pi}' = 11436 x 10^4 \text{ мм}^4.$

2.2 Напряжения в бетоне и арматуре

В расчете принято, что предварительно напряженные шпалы в эксплуатации работают только в стадии упругих деформаций. Поэтому

напряжения в шпале рассчитывают по известным правилам расчета упругих материалов.

При первоначальном натяжении арматуры на упоры в ней создается предварительное напряжение σ_0 , МПа. При механическом способе натяжения арматуры оно должно быть в пределах:

для проволочной арматуры $0,76 R_{ал} \geq \sigma_0 \geq 0,21 R_{ал}$;

для стержневой арматуры $0,95 R_{ал} \geq \sigma_0 \geq 0,32 R_{ал}$.

Принято для принятой проволочной арматуры типа ВрII $\sigma_0 = 1170$ Мпа,

т.е. $1170/1670 = 0,70 < 0,76$ (условие выполняется)

Общее начальное усилие предварительного натяжения арматуры, Н:

$$N_0 = F_n \sigma_0 = 314,2 \times 1170 = 367614 \text{ Н} = 367,6 \text{ кН.}$$

Начальное предварительное напряжение фактически существует только в самый первый момент после натяжения арматуры, так как сразу же возникают потери этого напряжения в МПа от ряда факторов.

1. Потери от релаксации напряжений арматуры, которые при механическом способе ее натяжения определяют по формулам:

- для проволочной арматуры : $\sigma_{n1} = (0,27 \frac{\sigma_0}{R_{ал}} - 0,1) \sigma_0$;

$$\sigma_{n1} = (0,27 \times 1170/1670 - 0,1) \times 1170 = 104 \text{ Мпа,}$$

- для стержневой арматуры: $\sigma_{n1} = 0,1 \sigma_{п0} - 20$.

2. Потери от температурного перепада (от разности температур Δt натянутой арматуры и упоров, воспринимающих усилие натяжения) при пропаривании или прогреве бетона $\sigma_{п2} = 1,2 \Delta t$. Потери от температурного перепада следует учитывать при стендовом способе производства железобетонных шпал. В этом случае арматура, находящаяся в свежееуложенном бетоне, при его пропаривании тоже нагревается и удлиняется, напряжения в ней падают, а положение упоров стенда, не подвергающихся нагреву, остается неизменным. В результате этого схватывание арматуры с бетоном происходит при пониженном ее

напряжении. При технологии, предлагаемой производства шпал СИСІ металлическая форма, воспринимающая натяжение арматуры, нагревается в камере вместе с бетоном, имеет ту же температуру, что и арматура, и поэтому потери напряжения $\sigma_{п2}$ в этом случае отсутствуют. При $\Delta t = 40^{\circ}\text{C}$ получено:

$$\sigma_{п2} = 1,2 \times 40 = 48 \text{ МПа};$$

3. Потери от деформации анкеров или смещения стержней в инвентарных зажимах

$$\sigma_{п3} = \frac{\lambda}{l} E_a,$$

где $\lambda = 1,25 + 0,15d$;

d – диаметр стержня, мм;

l - длина натягиваемого стержня (расстояние между наружными гранями формы или упоров стенда), мм.

$$\sigma_{п3} = (1,25 + 0,15 \times 5) \times 200\,000 / 110\,000 = 3,6 \text{ МПа};$$

4. Потери от трения арматуры, о поверхность бетона или огибающие приспособления. Потери $\sigma_{п4}$ от этих факторов следует учитывать при последующем натяжении арматуры на затвердевший бетон. При существующей технологии эти потери отсутствуют.

5. Потери от деформации стальной формы при натяжении на нее арматуры. Величину потерь напряжения $\sigma_{п5}$ от этого фактора при отсутствии точных данных о конструкции формы принимают равной 30 МПа (300 кгс/см²). При существующей технологии эти потери отсутствуют.[1]

В результате потерь начальное предварительное напряжение арматуры к моменту передачи напряжения на бетон снижается до величины

$$\sigma_{ан} = \sigma_0 - (\sigma_{п1} + \sigma_{п2} + \sigma_{п3} + \sigma_{п4} + \sigma_{п5}),$$

$$\sigma_{ан} = 1170 - (104 + 48 + 3,6) = 1014 \text{ МПа};$$

а общая сила предварительного натяжения арматуры – до величины

$$N_{он} = F_n \sigma_{ан}.$$

$$N_{он} = 314,2 \times 1014 = 318724 \text{ кг} \approx 319 \text{ тн}$$

При передаче этой силы на бетон в нем тоже возникают предварительные напряжения, величина которых на уровне центра тяжести напряжений арматуры составляет

$$\sigma_{бн} = \frac{N_{он}}{F_n} + \frac{N_{он} e_{он}^2}{I_n}.$$

$$\sigma_{бн} = 318724 / 55142 + 299872 \times 14^2 / 22050 \times 10^4 = 5,6 \text{ МПа}$$

Сразу же от этих напряжений в бетоне возникнут явления быстропотекающей ползучести. Потери предварительного напряжения арматуры вследствие этой ползучести бетона к моменту окончания процесса его обжатия составят

$$\sigma_{п6} = 42,5 \frac{\sigma_{бн}}{R_0}$$

$$\sigma_{п6} = 42,5 \times 5,6 / 40 = 6 \text{ МПа}$$

при условии, что $\frac{\sigma_{бн}}{R_0} \leq 0,6$, $(5,6 / 38 = 0,15 < 0,6)$

Таким образом, общие потери предварительного напряжения арматуры к моменту окончания процесса обжатия бетона, называемые «первыми», будут

$$\sigma_{п1} = \sigma_{п1} + \sigma_{п2} + \sigma_{п3} + \sigma_{п4} + \sigma_{п5} + \sigma_{п6}.$$

$$\sigma_{01} = 1170 - (104 + 48 + 3,6) - 6 = 1008,4 \text{ МПа}$$

Натяжение арматуры на уровне ее центра тяжести после окончания процесса обжатия бетона будет равно $N_{01} = F_n (\sigma_0 - \sigma_{п1}) = F_n \sigma_{01}$.

$$N_{01} = 314,2 \times 1008,4 = 316,84 \text{ кН}.$$

В дальнейшем процесс усадки и ползучести бетона продолжается, а следовательно, растут и потери предварительного напряжения арматуры от этих факторов, называемые «вторыми» потерями. Потери $\sigma_{п8}$ от усадки

тяжелого бетона, подвергавшегося тепловой обработке при атмосферном давлении, в зависимости от проектной марки бетона будут равны 40 МПа.

Потери $\sigma_{п9}$ от ползучести тяжелого бетона при указанной выше тепловой обработке определяют по формуле $\sigma_{п9} = 170 \frac{\sigma_{6н}}{R_0}$.

$$\sigma_{п9} = 170 \times 5,6/40 = 24 \text{ МПа}$$

В этом случае тоже должно выполняться условие $\frac{\sigma_{6н}}{R_0} \leq 0,6$, т.е. (5,6/40

= 0,14)

После всех потерь напряжения в арматуре на уровне ее центра тяжести будут

$$\sigma_{02} = \sigma_{01} - (\sigma_{п8} + \sigma_{п9}),$$

$$\sigma_{02} = 1008,4 - 40 - 24 = 944,4 \text{ МПа}$$

а общая сила предварительного обжатия бетона

$$N_{02} = F_n \sigma_{02}.$$

$$N_{02} = 314,2 \times 944,4 = 296730 \text{ МПа}$$

Установившиеся предварительные напряжения в бетоне:

$$\sigma_{62} = \frac{N_{02}}{F_n} + \frac{N_{02} e_{он}}{I_n} y ,$$

Подрельсовое сечение: $\sigma_{62} = 296730/(55 \ 142) + [296730 \times 14 / (22308 \times 10^4)]$

$$\times y =$$

$$= 5,4 + 0,019 \times y ;$$

Для верха сечения: $\sigma_{62} = 5,4 - 0,019 \times 121 = 3,1 \text{ МПа}$

Для низа сечения: $\sigma_{62} = 5,4 + 0,019 \times 104 = 7,4 \text{ МПа}$.

Среднее сечение шпалы: $\sigma_{62} = 296730/41342 + 296730 \times 2,0 / 11436 \times 10^4 \times y$

$$=$$

$$= 7,2 + 0,005 \times y.$$

Для верха сечения: $\sigma_{62} = 7,2 + 0,005 \times 97 = 7,7 \text{ МПа}$;

Для низа сечения: $\sigma_{62} = 7,2 - 0,005 \times 88 = 6,7 \text{ МПа}$

где y – расстояние от центра тяжести приведенного поперечного сечения шпалы до рассматриваемого слоя бетона.

Установившиеся предварительные напряжения в арматуре, находящейся в этом слое бетона $\sigma_{a2} = \sigma_{02} - n \sigma_{б2}$.

Подрельсовое сечение: $\sigma_{a2} = 944,4 - 10 \times 7,4 = 870,4$ МПа;

Среднее сечение: верх сечения $\sigma_{a2} = 944,4 - 10 \times 7,7 = 867$ МПа;

низ сечения : $\sigma_{a2} = 944,4 - 10 \times 6,7 = 877$ МПа;

2.3 Расчет железобетонных шпал ВФ70 на выносливость

Выносливость железобетонных шпал определяют исходя из следующих условий:

- для сжатого бетона $\sigma_{бmax} \leq m_{б2} R_{пр}$;

- для растянутой арматуры $\sigma_{amax} \leq m_{a1} R_a$.

Где $\sigma_{бmax}$ и σ_{amax} – максимальные напряжения от эксплуатационной нагрузки соответственно в сжатом бетоне и в растянутой арматуре.

При определении этих напряжений геометрические характеристики приведенного сечения шпалы принимают с коэффициентом n' .

Если в указанных выше условиях принять $\sigma_{бmax} = m_{б2} R_{пр}$ и $\sigma_{amax} = m_{a1} R_a$, то можно получить предельные значения изгибающих моментов $M_{сж}$ и M_a по выносливости шпалы в данном сечении.

Для сжатой зоны сечения

$$\sigma_{бmax} = \frac{M_{сж}}{I_n} y_{сж},$$

где $y_{сж}$ – расстояние от центра тяжести приведенного поперечного сечения шпалы до наиболее удаленного слоя бетона сжатой зоны (см. рис.11,12).

В рассматриваемом слое бетона уже имеется установившееся предварительное напряжение $\sigma_{б2}$, а наибольшее напряжение, которое может быть допущено в этом слое, согласно условию равно $m_{б2} R_{пр}$.

Следовательно, допустимая амплитуда изменения напряжения в данном слое бетона – от σ_{62} до $m_{62}R_{пр}$. Таким образом, предельное значение

$$M_{сж} = \frac{I_n}{y_{сж}} (m_{\sigma 2} R_{пр} - \sigma_{62}).$$

Подрельсовое сечение: $\sigma_{62} = 3,0$ МПа; $R_{пр} = 24,5$ МПа;

$$M_{сж} = 22308 \times 10^4 / 121 \times (0,79 \times 24,5 - 3,0) = 3021 \times 10^4 \text{ Нмм} = 30 \text{ кНм};$$

Среднее сечение шпалы: $\sigma_{62} = 6,7$ МПа; $R_{пр} = 24,5$ МПа;

$$M_{сж} = 11436 \times 10^4 / 88 \times (0,85 \times 24,5 - 6,7) = 18356179 \text{ Нмм} = 18,4 \text{ кНм}$$

Величина ρ в этом случае составляет $\rho_{\sigma} = \frac{\sigma_{62}}{m_{\sigma 2} R_{пр}}$,

В рассматриваемом случае она равна соответственно $\rho_{\sigma} = 0,18$ и $0,3$.

Поскольку в приведенном неизвестны и ρ_{σ} , и $m_{\sigma 2}$, то величину $m_{\sigma 2}$ определяют подбором и интерполяцией до тех пор, пока значение ρ_{σ} , соответствующее по этой таблице величине $m_{\sigma 2}$, не совпадает со значением ρ_{σ} . Для растянутой арматуры

$$\sigma_{amax} = n' \frac{M_a}{I_n} y_a,$$

где y_a – расстояние от центра тяжести приведенного поперечного сечения шпалы до наиболее удаленного ряда или стержня арматуры (см. рис 11,12).

В рассматриваемом стержне уже имеется установившееся предварительное напряжение σ_{a2} , а наибольшее напряжение, которое может быть допущено в этом стержне, согласно условию равно $m_{a1}R_a$. Следовательно, допустимая амплитуда изменения напряжения в данном стержне – от σ_{a2} до $m_{a1}R_a$. Таким образом, предельное значение

$$M_a = \frac{1}{n'} \frac{I_n}{y_a} (m_{a1} R_a - \sigma_{a2}).$$

Подрельсовое сечение: $M_a = 1/10 \times 22308 \times 10^4 / 69 \times (0,91 \times 1110 - 870) = 45,0$
кНм;

$$\rho_a = 87 / (0,91 \times 1110) = 0,86$$

Среднее сечение шпалы: $M_a = 1/10 \times 11436 \times 10^4 / 72 \times (0,91 \times 1110 - 867) =$
22,7 кНм;

$$\rho_a = 867 / 0,91 / 1100 = 0,86$$

Величина ρ_a в этом случае составляет

$$\rho_a = \frac{\sigma_{a2}}{m_{a1} R_a}$$

Как и в предыдущем случае, величину m_{a1} определяют подбором и интерполяцией.

2.4 Расчет железобетонных шпал на трещиностойкость

Железобетонные шпалы относятся к конструкциям 1-й категории трещиностойкости, в которых не допускается образование трещин при расчетных нагрузках. По этому шпалы рассчитывают из условия

$$\sigma_{\text{бmax}} \leq m_{\text{б2}} R_{\text{пII}},$$

где $\sigma_{\text{бmax}}$ – максимальное напряжение от расчетной эксплуатационной нагрузки в растянутой зоне бетона;

$m_{\text{б2}} = 0,75$, так как в этом случае всегда $\rho_{\text{б}} < 0,1$.

Если принять $\sigma_{\text{бmax}} = 0,75 R_{\text{пII}}$, то предельное значение изгибающего момента $M_{\text{тр}}$ по условию стойкости бетона против образования трещин, нормальных к продольной оси шпалы, при многократно повторяющейся нагрузке определяется выражением

$$M_{\text{тр}} = \frac{I_n}{y_p} (\sigma_{\text{б2}} + 0,75 R_{\text{пII}}),$$

где y_p – расстояние от центра тяжести приведенного поперечного сечения шпалы до наиболее удаленного растянутого слоя бетона. Геометрические характеристики приведенного сечения в этом случае также определяют с коэффициентом n' ;

$\sigma_{\text{б2}}$ – установившееся предварительное напряжением в рассматриваемом слое бетона.

Для подрельсового сечения:

Низ сечения: $M_{тр} = 22308 \times 10^4 / 104 \times (7,4 + 0,75 \times 2,2) = 19,4$ кНм;

Верх сечения: $M_{тр} = 22308 \times 10^4 / 121 \times (3,1 + 0,75 \times 2,2) = 8,8$ кНм.

Для среднего сечения шпалы:

Верх сечения: $M_{тр} = 11436 \times 10^4 / 97 \times [7,7 + 0,75 \times 2,2] = 11,0$ кНм;

Низ сечения: $M_{тр} = 11436 \times 10^4 / 88 \times [6,7 + 0,75 \times 2,2] = 10,8$ кНм.

2.5 Расчет предельных поперечных сил по условию трещиностойкости бетона против образования трещин, наклонных к продольной оси шпалы

Предельную поперечную силу $Q_{тр}$, которая может быть допущена по условию трещиностойкости бетона против образования трещин, наклонных к продольной оси шпалы, при многократно повторяющейся нагрузке, определяют из условия

$$\sigma_{г.р.} \leq m_{\sigma 2} R_{рП},$$

где $\sigma_{г.р.}$ – главные растягивающие напряжения на нейтральной оси приведенного сечения шпалы, определяемые по формуле

$$\sigma_{г.р.} = -\frac{\sigma_x}{2} + \sqrt{\frac{\sigma_x^2}{4} + \tau^2},$$

$\sigma_x = \sigma_{\sigma 2}$ – установившиеся предварительные сжимающие напряжения в бетоне на нейтральной оси приведенного сечения, МПа;

$\tau = \frac{Q_{тр} S_{нн}}{I_n b_n}$ – касательные напряжения в бетоне на нейтральной оси

приведенного сечения, МПа;

$S_{нн}$ – статический момент части приведенного сечения, расположенной выше нейтральной оси этого сечения, относительно нейтральной оси, мм³;

b_n – ширина сечения шпалы на уровне нейтральной оси, мм.

Все геометрические характеристики приведенного поперечного сечения шпалы определяют с коэффициентом n' .

После подстановки указанных величин получена формула для определения предельного значения поперечной силы:

$$Q_{тр} = \frac{I_n b_n}{S_{nn}} \sqrt{(0,75R_{пл})^2 + 0,75R_{пл}\sigma_{\sigma 2}}.$$

Подрельсовое сечение: $b_n = 185 + (277 - 185) \times (225 - 104)/225 = 208$ мм;

$$S = (2 \times 185 + 208) \times 121^2/6 = 1410 \times 10^3 \text{ мм}^3;$$

При $n' = 10$ получено: $S_{nn} = 1452 \times 10^3 \text{ мм}^3$;

$$Q_{тр} = 22308 \times 10^4 \times 208 / 1452 \times 10^3 \times \sqrt{(0,75 \times 2,2)^2 + 0,75 \times 2,2 \times 5,4} = 108971 \text{ Н} = 10,9 \text{ тН}$$

Среднее сечение шпалы: $b_n = 185 + (277 - 185) \times (225 - 104)/225 = 208$ мм;

$$S = (2 \times 178 + 208) \times 97^2/6 = 884 \times 10^3 \text{ мм}^3;$$

$$S_{nn} = 884 \times 10^3 + 10 \times 19,63 \times 4 [0,5 \times (100 - 88) + (130 - 88) + 0,5(160 - 88)] = 950 \times 10^3 \text{ мм}^3;$$

$$Q_{тр} = 11436 \times 10^4 \times 208 / 950 \times 10^3 \times \sqrt{(0,75 \times 2,2)^2 + 0,75 \times 2,2 \times 7,2} = 95,6 \text{ Н} = 9,56 \text{ тН}$$

Полученные расчетами величины предельных изгибающих моментов и поперечных сил приведены ниже в табл. 6.

Таблица 6 - Сравнительные параметры по выносливости, трещиностойкости и предельным поперечным силам шпал Ш1 и ВФ70

№№	Наименование показателя	ШПАЛА Ш1*		ШПАЛА ВФ70	
		Посередине подрельсовой площадки	По середине шпалы	Посередине подрельсовой площадки	По середине шпалы
1	Предельный изгибающий момент, кН х м по условию:				
	- выносливости бетона в сжатой зоне	<u>16,6</u>	<u>- 9,0</u>	<u>30,2</u>	<u>- 18,4</u>
	- выносливости наиболее растянутой арматуры	<u>43,9</u>	<u>-18,8</u>	<u>45,0</u>	<u>- 22,7</u>
	- трещиностойкости бетона в растянутой зоне	<u>13,5</u>	<u>-9,2</u>	<u>19,4</u>	<u>-11,0</u>

2	Предельная поперечная сила, кН (тс) по условию трещиностойкости на нейтральной оси	94,0	60,0	109	96
---	--	------	------	-----	----

* Данные соответствуют результатам расчетов, приведенных в книге Золотарского А. Ф., Евдокимова Б. А., Исаева Н. М. и др «Железобетонные шпалы для рельсового пути», М., Транспорт, 1980г.

ВЫВОД ПО РЕЗУЛЬТАТАМ РАСЧЕТОВ

Установлены следующие преимущества шпал ВF70 относительно шпал типа Ш1 (ГОСТ 10629-88):

1. По критерию выносливости бетона в сжатых зонах показатели шпалы ВF70 превышают аналогичные показатели шпалы Ш1:

- в подрельсовом сечении – на 82%;
- в средней части шпалы – на 104 %.

2. По критерию выносливости наиболее растянутой арматуры показатели шпалы ВF70 превышают аналогичные показатели шпалы Ш1:

- в подрельсовом сечении – на 3%;
- в средней части шпалы – на 21 %.

3. По критерию трещиностойкости бетона в растянутых зонах показатели шпалы ВF70 превышают аналогичные показатели шпалы Ш1:

- в подрельсовом сечении – на 44%;
- в средней части шпалы – на 20 %.

4. Предельная поперечная сила, кН (тс) по условию трещиностойкости на нейтральной оси приведенного сечения шпалы ВF70 превышают аналогичные показатели шпалы Ш1: - *в подрельсовом сечении – на 16%;*

- в средней части шпалы – на 60 %.

В целом, по критериям выносливости и трещиностойкости шпалы BF70 существенно превышают аналогичные показатели шпалы Ш1, что определяет их более высокую надежность, а также возможность укладки и эксплуатации на скоростных и высокоскоростных линиях и на участках с повышенными осевыми нагрузками.

Выполненные расчеты подтверждаются испытаниями шпал на прочность и трещиностойкость (раздел 2.6).

2.6 Испытания шпал BF70 на трещиностойкость и прочность

Важнейшим параметром, определяющим возможность применения шпал BF70 на высокоскоростных участках является их сопротивляемость к возникновению трещин. В связи с этим для оценки трещиностойкости железобетонных шпал типа BF70 были выполнены их испытания в средней части и подрельсовом сечении (рис.13). Методика исследований соответствовала требованиям стандартов O'zDSt EN 13230- 1,2:2003. При этом нагружение шпал выполнялось до первой трещины (табл. 13).

Таблица 7 - Результаты испытаний шпал на трещиностойкость.

Параметры		Номера шпал					
		1	2	3	4	5	6
F _{сon} , кН	Норма	28					
	Факт	52,3	54,4	53,8	-	-	-
F _r , кН	Норма	128					
	Факт	-	-	-	306	294	302

Примечание. F_r - испытательная нагрузка при которой появляется первая трещина в подрельсовом сечении;

F_{сm} - испытательная нагрузка при которой появляется первая трещина в среднем сечении шпалы.



Рис. 13 Испытания железобетонных шпал ВF70 на заводе-производителе

Выводы по результатам испытаний:

1. В результате испытаний выявлен значительный запас прочности шпал ВF70 по критерию трещиностойкости, что позволяет укладывать эти шпалы на участках с повышенным динамическим воздействием.

2. Коэффициент запаса по трещиностойкости в средней части шпалы составляет $K_c = 1,94 - 1,97$, в подрельсовом сечении - $K_r = 2,2 - 2,5$.

3. Результаты контроля качества работы шпал ВF70, выполняемые как в аккредитованном испытательном подразделении ДП «RWS Optimum», так и непосредственно на эксплуатируемых участках, подтверждают высокую надежность, экономичность и перспективность их применения на магистральных линиях, включая скоростные и высокоскоростные участки (200-250 км/ч).

4. Испытания бетона шпал на прочность выполнялись на кубах бетона, подвергнутых тепловлажностной обработке на технологических линиях завода-производителя железобетонных шпал – ДП «RWS Optimum». Были испытаны 4 пары кубов бетона в возрасте 28 суток (рис. 13). В результате испытаний установлено, что прочность бетона шпал значительно превышает требуемые значения (53 МПа) и составляет в среднем 72,7 МПа. Коэффициент запаса составляет 1,37.

5. Испытания шпал на прочность и трещиностойкость подтвердили высокие показания по указанным критериям и возможность их применения на скоростных и высокоскоростных линиях ГАЖК «Узбекистонтемирйуллари».

6. Расчетами бесстыкового пути на прочность и устойчивость также следует подтвердить возможность уменьшения эпюры укладки шпал BF70 на участках скоростного и высокоскоростного движения электропоездов «Афрасиаб» и «Узбекистан». Эти расчеты выполнены ниже в разделе 3.

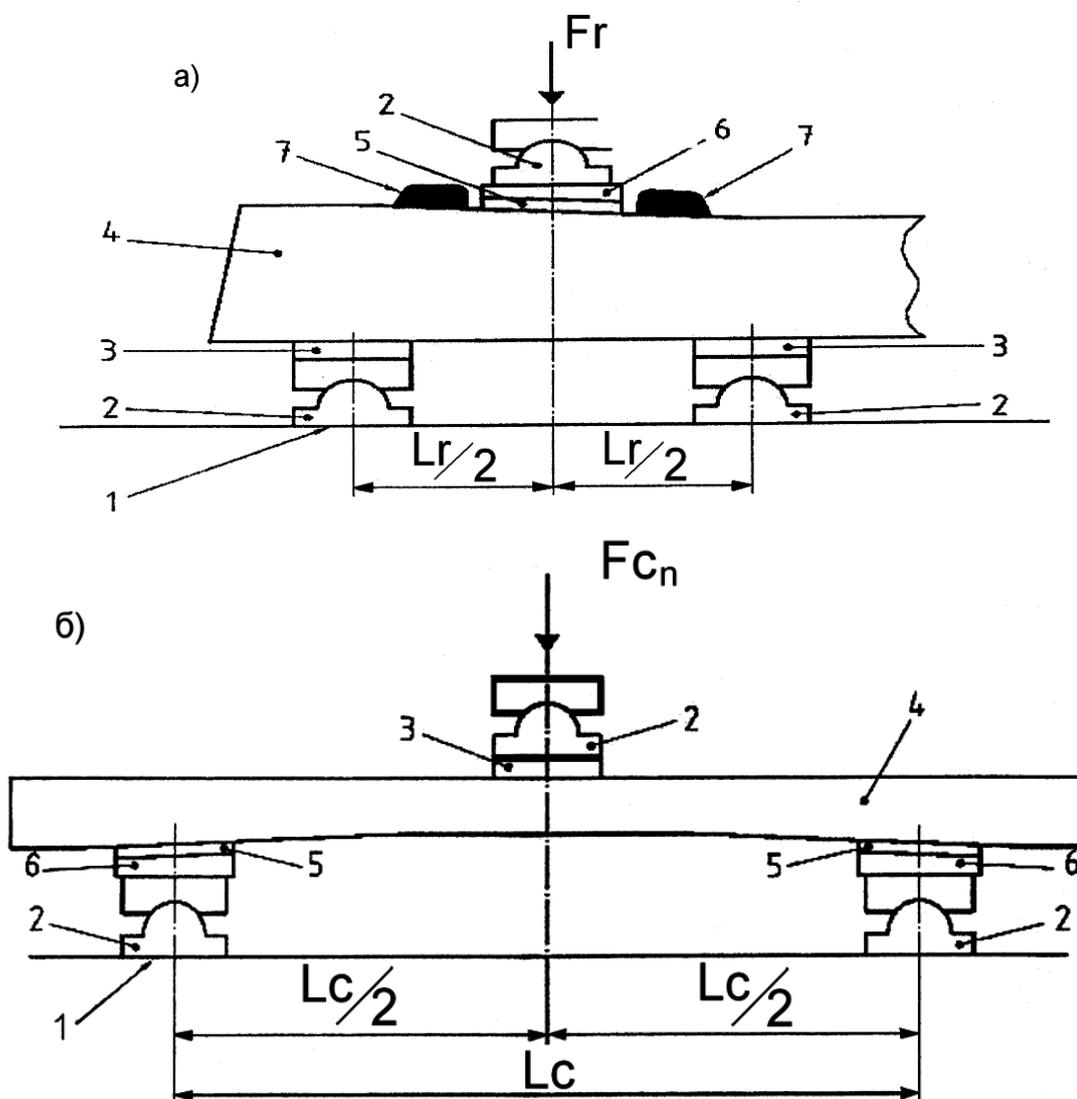


Рис. 13 Схема испытания шпал на трещиностойкость

а) подрельсовое сечение б) среднее сечение

1 – жёсткая опора; 2 – шарнирная опора; 3 – упругая прокладка;

4 – шпала BF 70; 5 – прокладка под рельс; 6 – клин; 7 – анкер.

F_r – испытательная нагрузка на подрельсовое сечение шпалы

$F_{сн}$ – испытательная нагрузка в среднем сечении шпалы;

$L_r = 60$ мм расчётное расстояние между опорами при испытаниях подрельсовых подрельсовых площадок.

$L_c = 1600$ мм расчётное расстояние между опорами при испытаниях средней части шпал.

ГЛАВА III. РАСЧЕТ ПУТИ СО ШПАЛАМИ BF70 И СКРЕПЛЕНИЯМИ «PANDROLFASTCLIP» НА ПРОЧНОСТЬ И УСТОЙЧИВОСТЬ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ПОЕЗДА «УЗБЕКИСТАН»

3.1 Общие положения

Расчет выполнен с целью определения оптимальных параметров укладки и эксплуатации бесстыкового пути со шпалами типа BF70 и рельсовым скреплением типа «Pandrol Fastclip» на ГАЖК «Узбекистон темир йуллари», включая скоростные и высокоскоростные линии. В данном разделе устанавливаются оптимальные эпюры укладки шпал BF70 на участках скоростного и высокоскоростного движения поездов.

Расчеты пути на прочность выполняются для летних и зимних условий эксплуатации при радиусах 500, 600, 700, 800, 100, 1200, 2000 и в прямой для скоростей движения скоростного электропоезда «Узбекистан» - 120, 140 и 160 км/ч.

Результаты выполненных расчетов на скоростном участке от воздействия электропоезда «Узбекистан» сравнены с аналогичными расчетами для электропоезда «Афрасиаб» на высокоскоростных участках со скоростями движения 160, 200 и 250 км/ч (расчеты магистранта Аликперова С).

3.2 Расчетные усилия, передаваемые на рельс

Расчетная величина силы взаимодействия колеса и рельса в сечении под колесом определяется с вероятностью неперевышения ее $\Phi = 0,99379$ и составляет:[15]

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

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

$$P_{CP} = P_{CT} + P_P^{CP} \quad (2)$$

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_{CT}); 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_{CT}) 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:

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

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:

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

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);

l - среднее расстояние между осями шпал (табл. 9);

U - модуль упругости подрельсового основания;

v - скорость движения экипажа;

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

Таблица 8 - Расчетные коэффициенты, учитывающие состояние подрельсового основания

Обозначение расчетного коэф- фициента	Величина расчетного коэффициента для пути на балласте			
	Песча-ном	Гравий- ном	асбестовом при шпалах	щебеночном при шпалах

			Железо- бетонных	Дере- вянных	Железо- бетонных	Дере- вянных
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

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

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 проходе колесом косинусоидальной неровности, отнесенный к единице глубины неровности; принимается $\xi = 1,47$, если соблюдается неравенство:

$$v \geq v_{кр},$$

где

$$v_{кр} = 0,182 \sqrt{\frac{Ug}{Kq_k}},$$

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

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

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

где $f_{ст}$ - статический прогиб рессорного комплекта.

3.3 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 ($P_{расч}$); воздействие от соседних осей учитывается коэффициентами линий влияния при величине давления этих осей на рельс, равной $P_{ср}$. 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

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

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

в рельсах:

по оси подошвы

$$\sigma_{\Pi-O} = \frac{M}{W}, \quad (11)$$

кромочные по подошве

$$\sigma_{\Pi-K} = f\sigma_{\Pi-O}, \quad (12)$$

кромочные в головке

$$\sigma_{\Gamma-K} = m_{\Gamma-K}\sigma_{\Pi-O}, \quad (13)$$

по верхней постели шпалы под подкладкой

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

в балластном слое по нижней части шпалы

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

В приведенных выше формулах приняты следующие обозначения:

W - момент сопротивления рельса;

f - коэффициент учета горизонтального изгиба и кручения рельса;

$m_{\Gamma-K}$ - коэффициент перехода от осевых напряжений в подошве рельса к кромочным напряжениям в подошве рельса:

$$m_{\Gamma-K} \cong \frac{Z_{\Gamma}}{Z_{\Pi}} + (f - 1) \frac{b_{\Gamma}}{b_{\Pi}},$$

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

b_{Π} , b_{Γ} - ширина соответственно подошвы и головки рельса в расчетном уровне;

ω - площадь подрельсовой подкладки;

Ω_{α} - опорная площадь полушпалы с учетом изгиба.

3.4 Допускаемые напряжения

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

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

Численные значения оценочных критериев приведены в табл. 11.

Таблица 11 - 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
$[\sigma_k]$	Локомотив «Узбекистон»	1900	200	2400	3400
	Вагоны	1500	1600	2000	3000
$[\sigma_{ш}]$	Локомотив «Узбекистон»	12	16	20	30
	Вагоны	11	15	18	27
$[\sigma_6]$	Локомотив «Узбекистон»	4.0	4.2	4.5	5.0
	Вагоны	2.6	3.0	3.5	4.0
$[\sigma_3]$	Локомотив «Узбекистон»	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: $[\sigma_k]$ — для типовых нетермообработанных рельсов в прямых и кривых радиусом более 1000 м. Для термоупрочненных рельсов значения $[\sigma_k]$ увеличиваются на 14 %.

В кривых с $R \leq 1000$ м $[\sigma_k] = 2400$ 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; $[\sigma_k] = 40$ 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.

3.5 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 груженные), 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:

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

δ_o - 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:

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

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:

$$\delta_{hc}' = \frac{r_1}{\pi} A \delta_{oc}', \quad \delta_{hc}'' = \frac{r_1}{\pi} A \delta_{oc}''$$

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

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

$\delta_{bc}^I; \delta_{bc}^{II}$ - соответственно напряжения в балластном слое под первой и второй соседними шпалами от поездной нагрузки:

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

$Q_c^I; Q_c^{II}$ - 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_n сравнивается с допускаемым напряжением для грунта основной площадки земляного полотна (табл. 11).

3.6 Выводы по результатам расчетов на прочность

Самостоятельные расчеты были выполнены для пассажирского электровоза «Узбекистан» для скоростей движения 100 – 120 – 160 км/ч (приложение 1).

Расчеты для электропоезда «Афрасиаб» расчеты были взяты из диссертации АликпероваС.

При этом были приняты следующие начальные условия, соответствующие эксплуатационным параметрам ГАЖК «Узбекистонтемирйуллари»:

1. Локомотив: Узбекистан
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

8. Путь и подвижной состав находятся в исправном состоянии, отвечающем требованиям ПТЭ; колеса подвижного состава при движении не отрываются от поверхности катания рельсов (рассматривается безударное движение).

3.7 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 [15].

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

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

для температур работы бесстыковой плети выше температуры закрепления

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

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;

δ_{II-K} - растягивающие напряжения в кромочных волокнах подошвы рельса от изгиба под поездной нагрузкой. Для районов с минимальными температурами не ниже -20°C расчетные параметры состояния железнодорожного пути принимаются для подсчета δ_{II-K} по летним условиям работы, а для районов с минимальными температурами рельса ниже -20°C - по зимним условиям работы;

$\delta_{Г-K}$ - сжимающие напряжения в кромочных волокнах головки рельса от изгиба под поездной нагрузкой. Подсчитываются по формуле (2.13) 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 допускаемые 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

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

Допускаемые 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. Допускаемое 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;

$[N_K]$ - допускаемая 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

$$T_A \leq [T_A], \quad (16)$$

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 (16) 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

$$\text{mint}_3 = t_{\text{maxmax}} - \Delta t_C$$

максимальная температура закрепления

$$\text{max}_3 = \Delta t_P + t_{\text{minmin}}.$$

В этих формулах включены температуры:

t_{maxmax} - максимальная летняя температура рельса;

t_{minmin} - минимальная зимняя температура рельса.

В случае несоблюдения условия (16) необходимо решить вопрос о переходе к более мощному типу верхнего строения пути.

3.8 Результаты расчетов на прочность и устойчивость

Расчет выполнен с целью определения оптимальных параметров укладки и эксплуатации бесстыкового пути со шпалами типа ВФ70 и креплениями типа «PandrolFastclip» на ГАЖК «Узбекистонтемирйуллари» при максимальных скоростях движения пассажирского электровоза «УЗБЕКИСТАН» 160 км/час.

Таблица 12 - Исходные данные для расчета

1. Тип локомотива	«УЗБЕКИСТАН»
2. Расчетная скорость движения, v , км/ч	100,120,160
3. Тип рельса / износ, мм	Р65 / 9
4. Тип шпал	ВФ70
5. Эюра шпал, $\mathcal{E}_{ш}$,шт/км: (прямая/кривая) 1680/1720;1720/1840;1840/2000	
6. Тип креплений	PandrolFastclip
7. Толщина балласта (щебень/песок), см	20/20; 20/35
8. Нагрузка от колеса на рельс, $R_{ст}$, кг	10500
9. Диаметр колес, см	125,0
10. Неподдресоренный вес на одно колесо, q_k , кг	2600
11. Статический прогиб рессорной системы, $f_{ст}$, мм	38,9/136,7
12. 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
13. Наибольшая расчетная глубина изолированной неровности на колесе, e_0 , см	0,047
14. Расстояние между осями шпал, l , см	
на прямой	55
на кривой	50
15. Характеристика рельса:	
16. Площадь поперечного сечения, F , см ²	76,08
17. Момент инерции рельса, I_B , см ⁴	2998
18. Момент сопротивления, W_{II} , см ³	404
19. z_{II} , см	7,42
20. $z_{Г}$, см	9,68
21. Площадь полушпалы, Ω , см ²	2975
22. Опорная площадь подрельсовой прокладки, ω , см ²	225
23. Коэффициент учета боковых сил, f	
- на прямом участке	1,13
- в кривых	1,21-1,69
24. Расчетная минимальная температура рельса, t_{min}	-30 ⁰ С
25. Расчетная максимальная температура рельса, t_{max}	+64 ⁰ С

Расчеты пути на прочность выполнены на ЭВМ для летних и зимних условий эксплуатации в прямых и кривых участках пути при скоростях движения пассажирских поездов 100; 120 и 160 км/ч.

В результате расчетов были получены следующие параметры: 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 ($\sigma_б$ и $\sigma_{опзп}$); допускаемые интервалы изменения температуры плети бесстыкового пути по условию прочности рельса Δt_p и Δt_c ; температурный интервал закрепления плетей ($mint_z$ - max_tz); температурные силы в плетях P_t . Для примера ниже приведены полученные величины $P_{расч}$ и напряжений (табл. 13) при: $\mathcal{E}_{ш}=1720/1840$ шпал/км; $U_{пр-л}=2000$ кг/см²; $U_{пр-з}=3000$ кг/см²; $U_{кр-л}=2200$ кг/см²; $U_{кр-з}=3300$ кг/см²; толщина балласта $a_б=35/20$ см, минимальный радиус: 500 м (для $v=100$ км/ч), 700 м (для $v=120$ км/ч), 1200 м (для $v=160$ км/ч).

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

V, км/ч	P _{расч}	Напряжения в элементах ВСП				
		$\sigma_{п-о}$	$\sigma_{п-к}$	$\sigma_{г-к}$	$\sigma_{ш}$	$\sigma_б$
----- Прямая, лето -----						
100	16526,80	602,15	680,43	824,69	28,22	2,64
120	17660,00	643,84	727,54	881,79	30,20	2,82
160	20033,50	731,17	826,22	1001,40	34,35	3,21
----- Прямая, зима -----						
100	17340,90	577,31	652,37	790,68	33,03	3,09
120	18631,10	620,28	700,92	849,53	35,53	3,32
160	21339,70	710,50	802,86	973,09	40,78	3,81
----- R=1200, лето -----						
100	16403,90	585,40	755,16	848,58	26,85	2,51
120	17506,10	625,01	806,27	906,01	28,69	2,68
160	19820,80	708,21	913,60	1026,61	32,57	3,04
----- R=1200, зима -----						
100	17204,60	560,93	723,60	813,11	31,43	2,94
120	18457,40	601,69	776,18	872,20	33,75	3,15
160	21096,10	687,55	886,93	996,65	38,65	3,61
----- R=700, лето -----						
100	16403,90	585,40	825,41	883,71	26,85	2,51
120	17506,10	625,01	881,27	943,51	28,69	2,68
----- R=700, зима -----						
100	17204,60	560,93	790,91	846,77	31,43	2,94
120	18457,40	601,69	848,39	908,31	33,75	3,15
----- R=500, лето -----						
100	16403,90	585,40	895,66	918,83	26,85	2,51

R=500, зима						
100	17204,60	560,93	858,22	880,43	31,43	2,94

Таблица Напряжения на основной площадке земляного полотна

V, км/ч	σ _{опзп} ПРЯМАЯ		σ _{опзп} КРИВАЯ	
	ЛЕТО	ЗИМА	ЛЕТО	ЗИМА
100	0,71	0,80	0,72	0,82
120	0,75	0,86	0,77	0,88
160	0,86	0,99	0,88	1,01

Полученные данные были сравнены с их допускаемыми величинами (табл.

4), в результате чего были сделаны следующие выводы:

- Для $\mathcal{E}_{ш} = 1680/1720$ и $1720/1840$ шпал/км при толщине балласта $a_6=35/20$ см и $U_{пр-л}=2000$ кг/см²; $U_{пр-з}=3000$ кг/см²:
 - напряжения в рельсах значительно ниже допускаемых величин;
 - напряжения в подрельсовых прокладках критичны, так как они практически равны допустимым напряжениям ($\Delta=1-3\%$);
 - напряжения на основной площадке земляного полотна критичны, так как они практически равны допустимым напряжениям;
 - напряжения в балластном слое не являются критичными, т.к. они меньше допустимых ($\Delta=7-14\%$)
- При толщине балласта $a_6=20/20$ см для $\mathcal{E}_{ш} = 1680/1720$ и $1720/1840$ шпал/км и $\mathcal{E}_{ш} = 1840/2000$ шпал/км:
 - напряжения в рельсах ниже допускаемых величин;
 - напряжения в подрельсовых прокладках и на основной площадке земляного полотна значительно превышают допустимые напряжения;
 - напряжения в балластном слое не являются критичными, т.к. они меньше допустимых напряжений.

3. Возможность применения эпюры $\mathcal{E}_{\text{ш}} = 1680/1720$ шт./км может быть установлена после определения фактической величины U_i .

В результате расчетов также установлено, что при обращении электровоза «Узбекистан» со скоростями до 160 км/ч:

- толщина балласта должна быть не менее $a_b=35/20$ см. Данные ГАЖК «Узбекистонтемирийуллари» свидетельствуют о наличии большого количества участков с фактической толщиной балласта менее 35/20 см (например, 20/20 см) (табл.); такие участки подлежат реконструкции с увеличением толщины балласта;

- напряжения в элементах пути существенно зависят от величины модуля упругости подрельсового основания, фактическая величина которого должна устанавливаться в каждом конкретном случае при проведении соответствующих экспериментальных исследований.

Таблица 13 – Толщина балласта на направлении Ташкент - Самарканд

СПРАВКА

По фактической толщине балласта на скоростном участке Ташкент-Самарканд (согласно телеграммы №263 от 03.11.10г.)

№ п.п.	Четный путь			Не четный путь		
	км	ПК	толщина см.	км	ПК	толщина см.
1	3369	6	16	3369	6	46
2		7	22		7	48
3		8	19		8	44
4		9	19		9	46
5		10	19		10	44
6	3370	1	23	3370	1	43
7		2	21		2	47
8		3	24		3	46
9		4	30		4	50
10		5	36		5	55
11		6	29		6	48
12		7	36		7	53
13		8	33		8	39
14		9	35		9	41
15		10	31		10	36
16	3371	1	13	3371	1	27
		2	16		2	36
		3	10		3	30
		4	8		4	18
		5	6		5	16
		6	6		6	10
		7	1		7	14
		8	4		8	25
		9	6		9	23
		10	10		10	18
	3372	1	10	3372	1	20
		2	9		2	20
		3	27		3	12
		4	30		4	13
		5	11		5	7
		6	19		6	7
		7	20		7	7
		8	20		8	8
		9	14		9	6
		10	19		10	10
	3373	1	20	3373	1	15
		2	23		2	52
		3	20		3	49
		4	22		4	25
		5	19		5	33
		6	19		6	19
		7	14		7	12
		8	22		8	17
		9	24		9	22
		10	18		10	19
	3374	1	19	3374	1	20
		2	19		2	16
		3	20		3	10
		4	24		4	13

		5	26		5	18
		6	16		6	20
		7	19		7	15
		8	18		8	20
		9	17		9	21
		10	16		10	18
	3375	1	18	3375	1	25
		2	23		2	27
		3	20		3	23
		4	21		4	29
		5	24		5	17
		6	22		6	21
		7	20		7	16
		8	18		8	20
		9	22		9	19
		10	23		10	18
	3376	1	16	3376	1	19
		2	18		2	16
		3	20		3	18
		4	16		4	14
		5	12		5	10
		6	17		6	13
		7	19		7	16
		8	20		8	18
		9	18		9	17
		10	11		10	13
	3377	1	18	3377	1	19
		2	20		2	19
		3	18		3	17
		4	20		4	19
		5	17		5	17
		6	19		6	18
		7	10		7	12
		8	11		8	8
		9	17		9	5
		10	14		10	10
	3378	1	15	3378	1	13
		2	13		2	10
		3	20		3	17
		4	16		4	19
		5	18		5	18
		6	20		6	19
		7	20		7	21
		8	18		8	13
		9	16		9	18
		10	21		10	22
	3379	1	25	3379	1	21
		2	22		2	21
		3	25		3	26
		4	26		4	26
		5	27		5	26
		6	18		6	18
		7	22		7	17
		8	7		8	19

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ ПО ДИССЕРТАЦИИ

1. Настоящая диссертация посвящена исследованию и оптимизации работы современного типа шпал ВF70 с упругими типами креплений «Pandrol Fastclip» на скоростных и высокоскоростных участках ГАЖК «Узбекистон темир йуллари». Это положение определяет актуальность выполненного исследования.

2. Установлено, что в действующих нормативных документах для скоростных и высокоскоростных участков нет единого подхода к параметрам укладки и эксплуатации железобетонных шпал. Также в нормативах не учтено, что шпалы ВF70 имеют значительные преимущества перед традиционными шпалами Ш1-1.

3. Был выполнен анализ конструкции железобетонной шпалы ВF70 и расчет ее прочностных параметров (прочность, выносливость, трещиностойкость) и произведен сравнительный анализ шпал Ш1-1 и ВF70 по следующим критериям:

3.1 Предельные изгибающие моменты по условию:

- выносливости бетона в сжатых зонах шпалы;
- выносливости наиболее растянутой арматуры;
- трещиностойкости бетона в растянутых зонах шпалы;

3.2 Предельных поперечных сил по условию трещиностойкости на нейтральной оси приведенного сечения шпалы ВF70.

В результате расчетов было установлено, что по всем перечисленным в пункте 3 параметрам шпалы ВF70 значительно превосходят шпалы Ш 1-1 (в среднем на 30-40%).

4. В результате испытаний шпал на трещиностойкость в аккредитованной лаборатории был выявлен значительный запас шпал ВF70 по критерию трещиностойкости. Коэффициент запаса по трещиностойкости в средней части шпалы составляет $K_{ср} = 1,94 - 1,97$, в подрельсовом сечении - $K_{подр} = 2,2 - 2,5$.

5. В результате испытаний бетона шпал на прочность установлено, что прочность бетона шпал значительно превышает требуемые значения (53 МПа) и составляет в среднем 72,7 МПа. Коэффициент запаса составляет от 1,32 до 1,54.

6. Выполненные расчеты и экспериментальные исследования подтвердили значительные преимущества шпалы BF70 относительно шпал Ш1-1 и определили возможность исследования уменьшения эпюры их укладки на участках скоростного и высокоскоростного движения поездов. Для этого были выполнены комплексные расчеты пути со шпалами BF70.

7. В диссертации впервые выполнен расчет бесстыкового пути со шпалами BF70 и креплениями «Pandrol Fastclip» на прочность и устойчивость при воздействии поезда «Узбекистан» на скоростных участках. Расчет был сравнен с результатами аналогичных расчетов под воздействием электропоезда «Афрасиаб» на высокоскоростных участках (магистрант Аликперов С), (скорости – до 160 км/ч). Расчеты выполнены с целью определения оптимальных параметров укладки и эксплуатации бесстыкового пути со шпалами BF70 на ГАЖК «Узбекистон темир йуллари», включая скоростные и высокоскоростные линии.

8. В результате расчетов установлено, что воздействие электропоезда «Узбекистан» на скоростных участках при скоростях 160 км/ч достаточно близко к аналогичным показателям от воздействия электропоезда «Афрасиаб» на высокоскоростных участках при скоростях до 250 км/ч. И в том и другом случае динамическая сила воздействия от колеса на рельс находится в пределах 21 - 23 т.

9. Данные ГАЖК «Узбекистон темир йуллари» свидетельствуют о наличии большого количества участков со шпалами BF70, где фактическая толщина балласта менее 35/20 см (**например, 20/20 см**), *табл. 13*.

10. В результате расчетов установлено, что при такой толщине балласта ($a_6=20/20$ см) и для $\mathcal{E}_{ш} = 1680/1720$ и $1720/1840$ шпал/км и $\mathcal{E}_{ш} = 1840/2000$ шпал/км:

- напряжения в рельсах ниже допускаемых величин;
- напряжения в балластном слое не являются критичными, т.к. они меньше допустимых напряжений.
- напряжения в подрельсовых прокладках и на основной площадке земляного полотна значительно превышают допустимые напряжения. Такие участки требуют немедленной реконструкции с увеличением толщины балластного слоя независимо от эюры шпал.

11. При толщине балласта $a_6=35/20$ см и эюре шпал $\mathcal{E}_{ш} = 1680/1720$ и $1720/1840$ шпал/км и при $U_{пр-л}=2000$ кг/см²; $U_{пр-з}=3000$ кг/см²:

- напряжения в рельсах значительно ниже допускаемых величин;
- напряжения в подрельсовых прокладках критичны, так как они практически равны допустимым напряжениям ($\Delta=1-3\%$);
- напряжения на основной площадке земляного полотна критичны, так как они практически равны допустимым напряжениям;
- напряжения в балластном слое не являются критичными, т.к. они меньше допустимых ($\Delta=7-14\%$).

Такие участки возможно эксплуатировать при $\mathcal{E}_{ш} = 1680/1720$ и $1720/1840$ шпал/км при постоянном контроле всех параметров рельсовой колеи и земляного полотна.

12. При толщине балласта $a_6=35/20$ см и $U_{пр-л}=3000$ кг/см²; $U_{пр-з}=4500$ кг/см², для $\mathcal{E}_{ш} = 1680/1720$ и $1720/1840$ шпал/км, $\mathcal{E}_{ш} = 1840/2000$ шпал/км и $\mathcal{E}_{ш} = 2000/2000$ шпал/км:

- напряжения в рельсах ниже допускаемых величин;
- напряжения в балластном слое не являются критичными, т.к. они меньше допустимых напряжений.
- напряжения в подрельсовых прокладках и на основной площадке земляного полотна значительно превышают допустимые напряжения;

Такие участки требуют реконструкции с увеличением толщины балластного слоя независимо от эюры шпал.

13. В результате выполненного исследования установлена значительная зависимость напряжений в элементах верхнего строения пути от модуля упругости подрельсового основания. Поэтому важно установить фактическую величину этого показателя на конкретных участках ГАЖК «УТЙ» со шпалами ВФ70 и креплениями.

14. При $U_{\text{пр-л}}=2000$ кг/см²; $U_{\text{пр-з}}=3000$ кг/см²; $U_{\text{кр-л}}=2200$ кг/см²; $U_{\text{кр-з}}=3300$ кг/см² **на скоростных участках** при воздействии электропоездов «Узбекистан» и «Афрасиаб» возможен переход с эюры шпал $\mathcal{E}_{\text{ш}} = 2000/2000$ шпал/км на эюру шпал $\mathcal{E}_{\text{ш}} = 1720/1840$ шпал/км (или $\mathcal{E}_{\text{ш}} = 1840/2000$ шпал/км). При этом экономия составит от 160 до 280 шпал на каждый километр (от 17 000 до 30 000 тыс. долларов США на км).

15. При $U_{\text{пр-л}}=2000$ кг/см²; $U_{\text{пр-з}}=3000$ кг/см²; $U_{\text{кр-л}}=2200$ кг/см²; $U_{\text{кр-з}}=3300$ кг/см² **на высокоскоростных участках** при воздействии электропоезда «Афрасиаб» также возможен переход с эюры шпал $\mathcal{E}_{\text{ш}} = 2000/2000$ шпал/км на эюру шпал $\mathcal{E}_{\text{ш}} = 1720/1840$ шпал/км (или при контроле состояния рельсовой колеи и земляного полотна на эюру $\mathcal{E}_{\text{ш}} = 1840/2000$ шпал/км). При этом экономия также составит от 160 до 280 шпал на каждый километр (от 17 000 до 30 000 тыс. долларов США на км).

Приведенные выше выводы определяют систему рационального использования шпал ВФ70 с упругими типами креплений «Pandrol Fastclip» на скоростных и высокоскоростных участках ГАЖК «Узбекистон темир йуллари» и рекомендуются к внедрению.

Список использованных источников

1. Золотарский А. Ф., Евдокимов Б. А., Исаев Н. М. и др., 1980г. Железобетонные шпалы для рельсового пути. М., Транспорт, 1980.
2. Технологическая инструкция по производству предварительно напряженных железобетонных моноблочных шпал ТИ 64–21468397-01:2007. Рабочие чертежи шпалы BF70. Ташкент, ДП «RWS Optimum», 2007.
3. Овчинников А.Н. Экспериментальные испытания железобетонных шпал типа BF70 на трещиностойкость. Ташкент, ТАСИ, 2007 г.
4. ГОСТ 10629-88 "Шпалы железобетонные предварительно напряженные для железных дорог колеи 1520 мм." Технические условия. Москва, 1988.
5. O'zDSt EN 13230-1,2:2003. Шпалы и брусья бетонные для применения на железнодорожных путях. Ташкент, Государственный комитет РУз по архитектуре и строительству, 2003.
6. Методика оценки воздействия подвижного состава на пути по условиям обеспечения его надежности. №ЦПТ-52/14. Утв. 16.06.2000 г.
7. ВСН 450-Н «Ведомственными техническими указаниями по проектированию и строительству. Железные дороги колеи 1520 мм». Ташкент, ГАЖК «УТЙ», 2012.
8. ВСН 448-Н «Инфраструктура высокоскоростной железнодорожной линии Ташкент – Самарканд. Общие технические требования». Ташкент, ГАЖК «УТЙ», 2012.
9. ВСН «Ведомственные технические указания по проектированию. Железные дороги колеи 1520 мм». Ташкент, ГАЖК «УТЙ»
10. НЦРБ-393. Инструкция по техническому обслуживанию и эксплуатации сооружений, устройств, подвижного состава и организации движения на участках обращения скоростных пассажирских поездов. МПС, 1996.

11. Лехно И. Б. и др. Путевое хозяйство: Учебник для вузов ж.-д. трансп./ И. Б. Лехно, С. М. Бельфер, Э. В. Воробьев и др.; Под ред. И. Б. Лехно.- М.: Транспорт, 1990. – 472с.
12. Технологические процессы ремонта бесстыкового пути на железобетонных шпалах. М., Транспорт , 1973. – 320 с.
13. Крейнис З.Л., Коршикова Н.П. Техническое обслуживание и ремонт железнодорожного пути: Учебник для техникумов и колледжей железнодорожного транспорта. М.: УМК МПС России, 2001.- 768 с.
14. Тихомиров В. И. Содержание и ремонт железнодорожного пути / Учебник для техникумов. – М.: Транспорт, 1987. – 336 с.
15. Овчинников А. Н. Шпалы ВФ70 с упругими креплениями на дорогах Узбекистана / А. Овчинников, А. Расулев, З. Фазилова// Путь и путевое хозяйство.- 2008.- N 7.- с.35-36.
16. Гасанов А. И. Несущая способность подрельсового основания в сложных условиях / Путь и путевое хозяйство.- 2008.- N 7.- с.37-38.
17. Щахунянц Г. М. Железнодорожный путь. Изд. 3, перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1987.
18. Крейнис З. Л., Селезнева Н. Е. Бесстыковый путь. Как ремонтировать Бесстыковый путь: Учеб.пособие / под ред. З. Л. Крейниса – М.: Маршрут, 2005. – 123 с.
19. Каменский В. П., Шац Э. Я. Содержание железнодорожного пути в кривых. – М.: Транспорт, 1987. – 189 с.
20. Нишанбаев Ш. Применение упругих креплений на железобетонных шпалах: Дис. магистра. – Т., 2002.
21. Блохин К. А., Пашинин С. Л. Ремонт железнодорожного пути. М.: Транспорт, 1987. – 360 с.
22. Устройство, ремонт и текущее содержание железнодорожного пути: /Учебник для ПТУ/ С. В. Амелин, М. П. Смирнов. В. И. Рязанцев, В. И. Ярохно/; под ред. С. В. Амелина. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1991. – 272 с.

23. Путь хозяйство: Учебник для вузов ж.-д. транспорта/ Альбрехт В. Г., Лидерс Г. В. и др.; Под ред. М. А. Чернышева. – М.: Трансжелдориздат, 1959.- 435 с.
24. Устройство, содержание и ремонт железнодорожного пути: Учебник для техн. школ ж. – д. транспорта/ 4-е перераб. изд. – М.: Транспорт, 1974.
25. Фришман М. А. и др. Конструкция железнодорожного пути и его содержание/ М. А. Фришман. Н. А. Пономаренко. С. И. Финицкий. –2-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1987.- 351 с.
26. Рельсы железнодорожные новые сварные. Технические условия ТУ 0921-057-01124328-98 (взамен ТУ 32 ЦП-560-93). Рельсы железнодорожные старогодные отремонтированные сварные. Технические условия ТУ 0921-077-01124328-99 (взамен ТУ 32 ЦП-561-93) / МПС России. М.:Транспорт, 1999. 55с.
27. Технические указания по устройству, укладке, содержанию и ремонту бесстыкового пути / МПС России. М.:Транспорт, 2000. 96 с.
28. Технические условия на работы по ремонту и планово-предупредительной выправке пути / МПС России. М.:Транспорт, 1998. 188 с.
29. Руководство по установке рельсовых скреплений
30. Современные рельсовые скрепления./ЖДМ – online / Информационная служба журнала <Железные дороги мира>. – 1998.- N 5. / Kramer. Railway Track & Structures, 1998, N 6, p 41 – 47.
31. Рельсовые скрепления для современных условий эксплуатации /ЖДМ – online / Информационная служба журнала <Железные дороги мира>. – 2002.- N 11. / Т. Judge. RailwayTrack&Structures, 2000, № 6, p. 49 – 53
32. Новые конструкции рельсовых скреплений /ЖДМ – online / Информационная служба журнала <Железные дороги мира>. – 2003.- N 10. / Т. Judge. RailwayTrack&Structures, 2002, № 6, p. 49 – 52.

33. Рельсовые крепления железных дорог Северной Америки /ЖДМ – online / Информационная служба журнала <Железные дороги мира>. – 2004.- N 9. / Railway Track & Structures, Track Buyer`s Guide, 2004, p. 24 –27
Верхнее строение пути железных дорог Северной Америки – устройство и содержание /ЖДМ – online / Информационная служба журнала <Железные дороги мира>. – 2003.- N 11. / Railway Track & Structures. Track Buyer's Guide, 1998, p. 7- 21, 23- 38, 41- 50, 59-72.

НАПРЯЖЕНИЯ НА ОСНОВНОЙ ПЛОЩАДКЕ
ЗЕМЛЯННОГО ПОЛОТНА:

V, км/ч	ПРЯМАЯ		КРИВАЯ	
	ЛЕТО	ЗИМА	ЛЕТО	ЗИМА
100	0,71	0,80	0,71	0,81
120	0,76	0,86	0,76	0,87
160	0,86	0,99	0,87	1,00

ДОПУСКАЕМЫЕ ИНТЕРВАЛЫ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ
ПЛЕТИ БЕССТЫКОВОГО ПУТИ ПО УСЛОВИЯМ ПРОЧНОСТИ
РЕЛЬСА

	дельта t_p			дельта t_g		
	V1	V2	V3	V1	V2	V3
	100	120	160	100	120	160
Прямая	106	104	99	99	96	90
R=2000	104	101	96	98	95	89
R=1200	102	100	94	97	94	88
R=1000	101	98		97	94	
R=800	100	97		96	93	
R=700	99	96		95	92	
R=600	98			95		
R=500	95			94		

ТАБЛИЦА ТЕМПЕРАТУР ЗАКРЕПЛЕНИЯ ПЛЕТИ

	V1, км/ч		V2, км/ч		V3, км/ч	
	100	120	120	160	160	
	mintз	maxтз	mintз	maxтз	mintз	maxтз
Прямая	17	76	17	74	17	69
R=2000	14	74	14	71	14	66
R=1200	17	72	17	70	17	64
R=1000	18	71	18	68		
R=800	20	70	20	67		
R=700	22	69	22	66		
R=600	24	68				
R=500	27	65				

ТАБЛИЦА ПРОДОЛЬНЫХ СИЛ

	V1, км/ч			V2, км/ч			V3, км/ч		
	100			120			160		
	Nтз	Nтл	Nк	Nтз	Nтл	Nк	Nтз	Nтл	Nк
Прямая	416462	387116	183864	406603	375881	183864	385905	352349	183864
R=2000	407172	382279	195600	396615	370705	195600	374452	346464	195600
R=1200	400374	380157	183864	389275	368401	183864	365939	343748	183864
R=1000	395807	377776	179952	384363	365853	179952			
R=800	391239	375396	172128	379452	363306	172128			
R=700	386672	373016	164304	374540	360759	164304			
R=600	382104	370636	156480						
R=500	372969	365876	144744						

Локомотив: Узбекистан, Рельсы: Р65, шпалы ВФ70 – 1680/1720 шт/км

Модуль упругости подрельсового основания:

в прямой: - летом: 3000

- зимой: 4500

в кривой: - летом: 3400

- зимой: 5100

Балласт 35/20 см

V, км/ч	Pрасч	Напряжения в элементах ВСП				
		Оп-о	Оп-к	Ог-к	Ош	Об
----- Прямая, лето -----						
100	17464,50	581,43	657,02	796,32	34,07	3,18
120	18781,90	625,31	706,60	856,41	36,68	3,43
160	21545,50	717,35	810,61	982,47	42,16	3,94
----- Прямая, зима -----						
100	18453,20	560,48	633,35	767,63	40,17	3,75
120	19954,50	605,73	684,47	829,59	43,47	4,06
160	23113,40	700,92	792,04	959,97	50,41	4,71
----- R=1200, лето -----						
100	17622,10	570,77	736,29	827,38	34,73	3,25
120	18965,10	614,15	792,25	890,26	37,41	3,50
160	21787,20	705,29	909,83	1022,38	43,06	4,02
----- R=1200, зима -----						
100	18646,60	549,62	709,00	796,71	40,99	3,83
120	20176,10	594,30	766,64	861,48	44,38	4,15
160	23401,10	688,50	888,16	998,04	51,53	4,81
----- R=1000, лето -----						
100	17622,10	570,77	759,12	838,79	34,73	3,25
120	18965,10	614,15	816,82	902,54	37,41	3,50
----- R=1000, зима -----						
100	18646,60	549,62	730,99	807,70	40,99	3,83
120	20176,10	594,30	790,41	873,37	44,38	4,15
----- R=800, лето -----						
100	17622,10	570,77	781,96	850,21	34,73	3,25
120	18965,10	614,15	841,38	914,82	37,41	3,50
----- R=800, зима -----						
100	18646,60	549,62	752,97	818,70	40,99	3,83
120	20176,10	594,30	814,19	885,25	44,38	4,15
----- R=700, лето -----						
100	17622,10	570,77	804,79	861,62	34,73	3,25
120	18965,10	614,15	865,95	927,11	37,41	3,50
----- R=700, зима -----						
100	18646,60	549,62	774,96	829,69	40,99	3,83
120	20176,10	594,30	837,96	897,14	44,38	4,15
----- R=600, лето -----						
100	17622,10	570,77	827,62	873,04	34,73	3,25
----- R=600, зима -----						
100	18646,60	549,62	796,94	840,68	40,99	3,83
----- R=500, лето -----						
100	17622,10	570,77	873,28	895,87	34,73	3,25
----- R=500, зима -----						
100	18646,60	549,62	840,91	862,67	40,99	3,83

НАПРЯЖЕНИЯ НА ОСНОВНОЙ ПЛОЩАДКЕ
ЗЕМЛЯННОГО ПОЛОТНА:

V, км/ч	ПРЯМАЯ		КРИВАЯ	
	ЛЕТО	ЗИМА	ЛЕТО	ЗИМА
100	0,81	0,93	0,82	0,94
120	0,88	1,01	0,88	1,02
160	1,01	1,17	1,02	1,18

ДОПУСКАЕМЫЕ ИНТЕРВАЛЫ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ
ПЛЕТИ БЕССТЫКОВОГО ПУТИ ПО УСЛОВИЯМ ПРОЧНОСТИ
РЕЛЬСА

	дельта tp			дельта tg		
	V1	V2	V3	V1	V2	V3
	100	120	160	100	120	160
Прямая	107	104	99	99	95	89
R=2000	105	102	96	97	94	87
R=1200	103	100	94	97	94	87
R=1000	102	99		96	93	
R=800	101	98		96	92	
R=700	100	96		95	92	
R=600	99			95		
R=500	96			93		

ТАБЛИЦА ТЕМПЕРАТУР ЗАКРЕПЛЕНИЯ ПЛЕТИ

	V1, км/ч		V2, км/ч		V3, км/ч	
	100		120		160	
	mintз	maxтз	mintз	maxтз	mintз	maxтз
Прямая	17	77	17	74	17	69
R=2000	14	75	14	72	14	66
R=1200	17	73	17	70	17	64
R=1000	18	72	18	69		
R=800	20	71	20	68		
R=700	22	70	22	66		
R=600	24	69				
R=500	27	66				

ТАБЛИЦА ПРОДОЛЬНЫХ СИЛ

	V1, км/ч			V2, км/ч			V3, км/ч		
	100			120			160		
	Ntз	Nтл	Nк	Ntз	Nтл	Nк	Ntз	Nтл	Nк
Прямая	407279	375042	178788	397166	363155	178788	375888	338219	178788
R=2000	398409	370441	190200	387581	358208	190200	364796	332543	190200
R=1200	392313	368898	178788	380912	356460	178788	356874	330325	178788
R=1000	387965	366640	174984	376210	354030	174984			
R=800	383616	364382	167376	371507	351601	167376			
R=700	379267	362124	159768	366805	349171	159768			
R=600	374919	359866	152160						
R=500	366221	355350	140748						

Локомотив: Узбекистан, Рельсы: Р65, шпалы ВФ70 – 1720/1840 шт/км

Модуль упругости подрельсового основания:

в прямой: - летом: 2000

- зимой: 3000

в кривой: - летом: 2200

- зимой: 3300

Балласт 35/20 см

V, км/ч	Pрасч	Напряжения в элементах ВСП				
		Оп-о	Оп-к	ОГ-к	Ош	Об
----- Прямая, лето -----						
100	16526,80	602,15	680,43	824,69	28,22	2,64
120	17660,00	643,84	727,54	881,79	30,20	2,82
160	20033,50	731,17	826,22	1001,40	34,35	3,21
----- Прямая, зима -----						
100	17340,90	577,31	652,37	790,68	33,03	3,09
120	18631,10	620,28	700,92	849,53	35,53	3,32
160	21339,70	710,50	802,86	973,09	40,78	3,81
----- R=1200, лето -----						
100	16403,90	585,40	755,16	848,58	26,85	2,51
120	17506,10	625,01	806,27	906,01	28,69	2,68
160	19820,80	708,21	913,60	1026,61	32,57	3,04
----- R=1200, зима -----						
100	17204,60	560,93	723,60	813,11	31,43	2,94
120	18457,40	601,69	776,18	872,20	33,75	3,15
160	21096,10	687,55	886,93	996,65	38,65	3,61
----- R=1000, лето -----						
100	16403,90	585,40	778,58	860,29	26,85	2,51
120	17506,10	625,01	831,27	918,51	28,69	2,68
----- R=1000, зима -----						
100	17204,60	560,93	746,04	824,33	31,43	2,94
120	18457,40	601,69	800,25	884,24	33,75	3,15
----- R=800, лето -----						
100	16403,90	585,40	802,00	872,00	26,85	2,51
120	17506,10	625,01	856,27	931,01	28,69	2,68
----- R=800, зима -----						
100	17204,60	560,93	768,47	835,55	31,43	2,94
120	18457,40	601,69	824,32	896,27	33,75	3,15
----- R=700, лето -----						
100	16403,90	585,40	825,41	883,71	26,85	2,51
120	17506,10	625,01	881,27	943,51	28,69	2,68
----- R=700, зима -----						
100	17204,60	560,93	790,91	846,77	31,43	2,94
120	18457,40	601,69	848,39	908,31	33,75	3,15
----- R=600, лето -----						
100	16403,90	585,40	848,83	895,42	26,85	2,51
----- R=600, зима -----						
100	17204,60	560,93	813,35	857,99	31,43	2,94
----- R=500, лето -----						
100	16403,90	585,40	895,66	918,83	26,85	2,51
----- R=500, зима -----						
100	17204,60	560,93	858,22	880,43	31,43	2,94

НАПРЯЖЕНИЯ НА ОСНОВНОЙ ПЛОЩАДКЕ
ЗЕМЛЯННОГО ПОЛОТНА:

V, км/ч	ПРЯМАЯ		КРИВАЯ	
	ЛЕТО	ЗИМА	ЛЕТО	ЗИМА
100	0,71	0,80	0,72	0,82
120	0,75	0,86	0,77	0,88
160	0,86	0,99	0,88	1,01

ДОПУСКАЕМЫЕ ИНТЕРВАЛЫ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ
ПЛЕТИ БЕССТЫКОВОГО ПУТИ ПО УСЛОВИЯМ ПРОЧНОСТИ
РЕЛЬСА

	дельта tp			дельта tg		
	V1	V2	V3	V1	V2	V3
	100	120	160	100	120	160
Прямая	106	104	98	97	94	88
R=2000	104	101	95	96	93	86
R=1200	102	100	94	96	93	87
R=1000	101	98		95	92	
R=800	100	97		95	92	
R=700	99	96		94	91	
R=600	98			93		
R=500	95			92		

ТАБЛИЦА ТЕМПЕРАТУР ЗАКРЕПЛЕНИЯ ПЛЕТИ

	V1, км/ч		V2, км/ч		V3, км/ч	
	100	120	120	160	160	
	mintз	maxтз	mintз	maxтз	mintз	maxтз
Прямая	17	76	17	74	17	68
R=2000	14	74	14	71	14	65
R=1200	17	72	17	70	17	64
R=1000	18	71	18	68		
R=800	20	70	20	67		
R=700	22	69	22	66		
R=600	24	68				
R=500	27	65				

ТАБЛИЦА ПРОДОЛЬНЫХ СИЛ

	V1, км/ч			V2, км/ч			V3, км/ч		
	100			120			160		
	Nтэ	Nтл	Nк	Nтэ	Nтл	Nк	Nтэ	Nтл	Nк
Прямая	403517	369429	178788	393912	358134	178788	373747	334476	178788
R=2000	394381	364665	190200	384096	353040	190200	362504	328690	190200
R=1200	389426	364703	178788	379024	353344	178788	357117	329488	178788
R=1000	384988	362387	174984	374264	350871	174984			
R=800	380550	360072	167376	369503	348399	167376			
R=700	376112	357756	159768	364742	345926	159768			
R=600	371673	355440	152160						
R=500	362797	350808	140748						

Локомотив: Узбекистан, Рельсы: Р65, шпалы ВФ70 – 1720/1840 шт/км

Модуль упругости подрельсового основания:

в прямой: - летом: 2000

- зимой: 3000

в кривой: - летом: 2200

- зимой: 3300

Балласт 20/20 см

V, км/ч	Расч	Напряжения в элементах ВСП				
		Оп-о	Оп-к	ОГ-к	Ош	Об
----- Прямая, лето -----						
100	16526,80	602,15	680,43	824,69	28,22	2,64
120	17660,00	643,84	727,54	881,79	30,20	2,82
160	20033,50	731,17	826,22	1001,40	34,35	3,21
----- Прямая, зима -----						
100	17340,90	577,31	652,37	790,68	33,03	3,09
120	18631,10	620,28	700,92	849,53	35,53	3,32
160	21339,70	710,50	802,86	973,09	40,78	3,81
----- R=1200, лето -----						
100	16403,90	585,40	755,16	848,58	26,85	2,51
120	17506,10	625,01	806,27	906,01	28,69	2,68
160	19820,80	708,21	913,60	1026,61	32,57	3,04
----- R=1200, зима -----						
100	17204,60	560,93	723,60	813,11	31,43	2,94
120	18457,40	601,69	776,18	872,20	33,75	3,15
160	21096,10	687,55	886,93	996,65	38,65	3,61
----- R=1000, лето -----						
100	16403,90	585,40	778,58	860,29	26,85	2,51
120	17506,10	625,01	831,27	918,51	28,69	2,68
----- R=1000, зима -----						
100	17204,60	560,93	746,04	824,33	31,43	2,94
120	18457,40	601,69	800,25	884,24	33,75	3,15
----- R=800, лето -----						
100	16403,90	585,40	802,00	872,00	26,85	2,51
120	17506,10	625,01	856,27	931,01	28,69	2,68
----- R=800, зима -----						
100	17204,60	560,93	768,47	835,55	31,43	2,94
120	18457,40	601,69	824,32	896,27	33,75	3,15
----- R=700, лето -----						
100	16403,90	585,40	825,41	883,71	26,85	2,51
120	17506,10	625,01	881,27	943,51	28,69	2,68
----- R=700, зима -----						
100	17204,60	560,93	790,91	846,77	31,43	2,94
120	18457,40	601,69	848,39	908,31	33,75	3,15
----- R=600, лето -----						
100	16403,90	585,40	848,83	895,42	26,85	2,51
----- R=600, зима -----						
100	17204,60	560,93	813,35	857,99	31,43	2,94
----- R=500, лето -----						
100	16403,90	585,40	895,66	918,83	26,85	2,51
----- R=500, зима -----						
100	17204,60	560,93	858,22	880,43	31,43	2,94

НАПРЯЖЕНИЯ НА ОСНОВНОЙ ПЛОЩАДКЕ
ЗЕМЛЯННОГО ПОЛОТНА:

V, км/ч	ПРЯМАЯ		КРИВАЯ	
	ЛЕТО	ЗИМА	ЛЕТО	ЗИМА
	100	0,85	0,97	0,86
120	0,91	1,05	0,92	1,07
160	1,03	1,20	1,05	1,22

ДОПУСКАЕМЫЕ ИНТЕРВАЛЫ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ
ПЛЕТИ БЕССТЫКОВОГО ПУТИ ПО УСЛОВИЯМ ПРОЧНОСТИ
РЕЛЬСА

	дельта t_p			дельта t_g		
	V1	V2	V3	V1	V2	V3
	100	120	160	100	120	160
Прямая	106	104	98	97	94	88
R=2000	104	101	95	96	93	86
R=1200	102	100	94	96	93	87
R=1000	101	98		95	92	
R=800	100	97		95	92	
R=700	99	96		94	91	
R=600	98			93		
R=500	95			92		

ТАБЛИЦА ТЕМПЕРАТУР ЗАКРЕПЛЕНИЯ ПЛЕТИ

	V1, км/ч		V2, км/ч		V3, км/ч	
	100	120	120	160	160	
	mintз	maxтз	mintз	maxтз	mintз	maxтз
Прямая	17	76	17	74	17	68
R=2000	14	74	14	71	14	65
R=1200	17	72	17	70	17	64
R=1000	18	71	18	68		
R=800	20	70	20	67		
R=700	22	69	22	66		
R=600	24	68				
R=500	27	65				

ТАБЛИЦА ПРОДОЛЬНЫХ СИЛ

	V1, км/ч			V2, км/ч			V3, км/ч		
	100			120			160		
	Nтз	Nтл	Nк	Nтз	Nтл	Nк	Nтз	Nтл	Nк
Прямая	403517	369429	178788	393912	358134	178788	373747	334476	178788
R=2000	394381	364665	190200	384096	353040	190200	362504	328690	190200
R=1200	389426	364703	178788	379024	353344	178788	357117	329488	178788
R=1000	384988	362387	174984	374264	350871	174984			
R=800	380550	360072	167376	369503	348399	167376			
R=700	376112	357756	159768	364742	345926	159768			
R=600	371673	355440	152160						
R=500	362797	350808	140748						

Локомотив: Узбекистан, Рельсы: Р65, шпалы ВФ70 – 1720/1840 шт/км

Модуль упругости подрельсового основания:

в прямой: - летом: 3000

- зимой: 4500

в кривой: - летом: 3400

- зимой: 5100

Балласт 20/20 см

V, км/ч	Pрасч	Напряжения в элементах ВСП				
		Оп-о	Оп-к	Ог-к	Ош	Об
----- Прямая, лето -----						
100	17340,90	577,31	652,37	790,68	33,03	3,09
120	18631,10	620,28	700,92	849,53	35,53	3,32
160	21339,70	710,50	802,86	973,09	40,78	3,81
----- Прямая, зима -----						
100	18310,50	556,19	628,49	761,75	38,93	3,64
120	19779,90	600,47	678,53	822,39	42,08	3,93
160	22874,50	693,73	783,91	950,12	48,72	4,55
----- R=1200, лето -----						
100	17269,30	559,38	721,60	810,87	31,80	2,97
120	18534,10	600,23	774,30	870,09	34,17	3,19
160	21198,40	686,29	885,31	994,83	39,15	3,66
----- R=1200, зима -----						
100	18239,90	537,75	693,70	779,51	37,48	3,50
120	19677,60	579,76	747,88	840,40	40,45	3,78
160	22717,90	668,57	862,46	969,15	46,75	4,37
----- R=1000, лето -----						
100	17269,30	559,38	743,98	822,06	31,80	2,97
120	18534,10	600,23	798,31	882,09	34,17	3,19
----- R=1000, зима -----						
100	18239,90	537,75	715,21	790,27	37,48	3,50
120	19677,60	579,76	771,07	852,00	40,45	3,78
----- R=800, лето -----						
100	17269,30	559,38	766,35	833,24	31,80	2,97
120	18534,10	600,23	822,32	894,10	34,17	3,19
----- R=800, зима -----						
100	18239,90	537,75	736,72	801,02	37,48	3,50
120	19677,60	579,76	794,26	863,59	40,45	3,78
----- R=700, лето -----						
100	17269,30	559,38	788,73	844,43	31,80	2,97
120	18534,10	600,23	846,33	906,10	34,17	3,19
----- R=700, зима -----						
100	18239,90	537,75	758,23	811,78	37,48	3,50
120	19677,60	579,76	817,45	875,19	40,45	3,78
----- R=600, лето -----						
100	17269,30	559,38	811,10	855,62	31,80	2,97
----- R=600, зима -----						
100	18239,90	537,75	779,74	822,53	37,48	3,50
----- R=500, лето -----						
100	17269,30	559,38	855,85	877,99	31,80	2,97
----- R=500, зима -----						
100	18239,90	537,75	822,76	844,04	37,48	3,50

НАПРЯЖЕНИЯ НА ОСНОВНОЙ ПЛОЩАДКЕ
ЗЕМЛЯННОГО ПОЛОТНА:

V, км/ч	ПРЯМАЯ		КРИВАЯ	
	ЛЕТО	ЗИМА	ЛЕТО	ЗИМА
100	0,97	1,13	0,99	1,15
120	1,05	1,22	1,07	1,24
160	1,20	1,41	1,22	1,43

ДОПУСКАЕМЫЕ ИНТЕРВАЛЫ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ
ПЛЕТИ БЕССТЫКОВОГО ПУТИ ПО УСЛОВИЯМ ПРОЧНОСТИ
РЕЛЬСА

	дельта t _p			дельта t _g		
	V1	V2	V3	V1	V2	V3
	100	120	160	100	120	160
Прямая	107	105	99	99	96	89
R=2000	105	102	96	98	95	88
R=1200	104	101	95	98	95	88
R=1000	103	100		97	94	
R=800	102	99		97	94	
R=700	101	97		96	93	
R=600	99			96		
R=500	97			94		

ТАБЛИЦА ТЕМПЕРАТУР ЗАКРЕПЛЕНИЯ ПЛЕТИ

	V1, км/ч		V2, км/ч		V3, км/ч	
	100	120	120	160	160	
	mint _з	maxt _з	mint _з	maxt _з	mint _з	maxt _з
Прямая	17	77	17	75	17	69
R=2000	14	75	14	72	14	66
R=1200	17	74	17	71	17	65
R=1000	18	73	18	70		
R=800	20	72	20	69		
R=700	22	71	22	67		
R=600	24	69				
R=500	27	67				

ТАБЛИЦА ПРОДОЛЬНЫХ СИЛ

	V1, км/ч			V2, км/ч			V3, км/ч		
	100			120			160		
	Nтэ	Nтл	Nк	Nтэ	Nтл	Nк	Nтэ	Nтл	Nк
Прямая	408239	376157	178788	398341	364516	178788	377496	340076	178788
R=2000	399438	371589	190200	388839	359608	190200	366518	334454	190200
R=1200	395341	372164	178788	384623	360450	178788	361959	335775	178788
R=1000	391086	369951	174984	380035	358075	174984			
R=800	386831	367738	167376	375448	355701	167376			
R=700	382576	365525	159768	370861	353326	159768			
R=600	378322	363312	152160						
R=500	369812	358886	140748						

Локомотив: Узбекистан, Рельсы: Р65, шпалы ВФ70 – 1840/2000 шт/км

Модуль упругости подрельсового основания:

в прямой: - летом: 2000

- зимой: 3000

в кривой: - летом: 2200

- зимой: 3300

Балласт 35/20 см

V, км/ч	Pрасч	Напряжения в элементах ВСП				
		Оп-о	Оп-к	Ог-к	Ош	Об
----- Прямая, лето -----						
100	16235,10	591,40	668,28	809,97	25,90	2,42
120	17304,80	630,75	712,74	863,86	27,65	2,58
160	19549,70	713,34	806,07	976,97	31,31	2,93
----- Прямая, зима -----						
100	17003,50	566,08	639,66	775,29	30,27	2,83
120	18219,10	606,56	685,42	830,74	32,47	3,03
160	20777,50	691,77	781,70	947,44	37,10	3,47
----- R=1200, лето -----						
100	16059,50	573,00	739,17	830,62	24,17	2,26
120	17086,20	609,90	786,77	884,10	25,75	2,41
160	19248,80	687,63	887,04	996,77	29,08	2,72
----- R=1200, зима -----						
100	16806,80	547,99	706,91	794,36	28,23	2,64
120	17971,10	585,88	755,78	849,27	30,22	2,82
160	20431,70	665,94	859,06	965,33	34,42	3,22
----- R=1000, лето -----						
100	16059,50	573,00	762,09	842,08	24,17	2,26
120	17086,20	609,90	811,17	896,30	25,75	2,41
----- R=1000, зима -----						
100	16806,80	547,99	728,83	805,32	28,23	2,64
120	17971,10	585,88	779,21	860,99	30,22	2,82
----- R=800, лето -----						
100	16059,50	573,00	785,01	853,54	24,17	2,26
120	17086,20	609,90	835,56	908,50	25,75	2,41
----- R=800, зима -----						
100	16806,80	547,99	750,75	816,28	28,23	2,64
120	17971,10	585,88	802,65	872,71	30,22	2,82
----- R=700, лето -----						
100	16059,50	573,00	807,93	865,00	24,17	2,26
120	17086,20	609,90	859,96	920,69	25,75	2,41
----- R=700, зима -----						
100	16806,80	547,99	772,67	827,24	28,23	2,64
120	17971,10	585,88	826,08	884,43	30,22	2,82
----- R=600, лето -----						
100	16059,50	573,00	830,86	876,46	24,17	2,26
----- R=600, зима -----						
100	16806,80	547,99	794,59	838,20	28,23	2,64
----- R=500, лето -----						
100	16059,50	573,00	876,70	899,38	24,17	2,26
----- R=500, зима -----						
100	16806,80	547,99	838,43	860,12	28,23	2,64

НАПРЯЖЕНИЯ НА ОСНОВНОЙ ПЛОЩАДКЕ
ЗЕМЛЯННОГО ПОЛОТНА:

V, км/ч	ПРЯМАЯ		КРИВАЯ	
	ЛЕТО	ЗИМА	ЛЕТО	ЗИМА
100	0,68	0,77	0,70	0,79
120	0,72	0,82	0,75	0,85
160	0,82	0,94	0,84	0,97

ДОПУСКАЕМЫЕ ИНТЕРВАЛЫ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ
ПЛЕТИ БЕССТЫКОВОГО ПУТИ ПО УСЛОВИЯМ ПРОЧНОСТИ
РЕЛЬСА

	дельта t_p			дельта t_g		
	V1	V2	V3	V1	V2	V3
	100	120	160	100	120	160
Прямая	107	104	99	98	95	89
R=2000	104	102	96	97	94	88
R=1200	103	101	95	97	94	88
R=1000	102	99		96	93	
R=800	101	98		96	93	
R=700	100	97		95	92	
R=600	99			94		
R=500	96			93		

ТАБЛИЦА ТЕМПЕРАТУР ЗАКРЕПЛЕНИЯ ПЛЕТИ

	V1, км/ч		V2, км/ч		V3, км/ч	
	100		120		160	
	mintз	maxтз	mintз	maxтз	mintз	maxтз
Прямая	17	77	17	74	17	69
R=2000	14	74	14	72	14	66
R=1200	17	73	17	71	17	65
R=1000	18	72	18	69		
R=800	20	71	20	68		
R=700	22	70	22	67		
R=600	24	69				
R=500	27	66				

ТАБЛИЦА ПРОДОЛЬНЫХ СИЛ

	V1, км/ч 100			V2, км/ч 120			V3, км/ч 160		
	Nтэ	Nтл	Nк	Nтэ	Nтл	Nк	Nтэ	Nтл	Nк
Прямая	406029	372342	178788	396979	361682	178788	377933	339307	178788
R=2000	397071	367663	190200	387380	356691	190200	366986	333662	190200
R=1200	392728	368258	178788	383061	357678	178788	362631	335391	178788
R=1000	388392	365991	174984	378425	355265	174984			
R=800	384056	363724	167376	373790	352852	167376			
R=700	379720	361457	159768	369154	350439	159768			
R=600	375384	359190	152160						
R=500	366712	354656	140748						

Локомотив: Узбекистан, Рельсы: Р65, шпалы ВФ70 – 1840/2000 шт/км

Модуль упругости подрельсового основания:

в прямой: - летом: 3000

- зимой: 4500

в кривой: - летом: 3400

- зимой: 5100

Балласт: 35/20 см

V, км/ч	Ррасч	Напряжения в элементах ВСП				
		Оп-о	Оп-к	Ог-к	Ош	Об
----- Прямая, лето -----						
100	17003,50	566,08	639,66	775,29	30,27	2,83
120	18219,10	606,56	685,42	830,74	32,47	3,03
160	20777,50	691,77	781,70	947,44	37,10	3,47
----- Прямая, зима -----						
100	17921,10	544,47	615,25	745,69	35,60	3,33
120	19303,10	586,12	662,32	802,74	38,38	3,59
160	22221,80	674,09	761,72	923,22	44,23	4,13
----- R=1200, лето -----						
100	16867,30	546,40	704,86	792,06	28,57	2,67
120	18042,50	584,36	753,83	847,08	30,59	2,86
160	20526,70	664,60	857,34	963,40	34,86	3,26
----- R=1200, зима -----						
100	17777,10	524,25	676,28	759,94	33,59	3,14
120	19109,60	563,19	726,51	816,38	36,13	3,38
160	21938,90	645,85	833,14	936,21	41,52	3,88
----- R=1000, лето -----						
100	16867,30	546,40	726,72	802,99	28,57	2,67
120	18042,50	584,36	777,20	858,77	30,59	2,86
----- R=1000, зима -----						
100	17777,10	524,25	697,25	770,43	33,59	3,14
120	19109,60	563,19	749,04	827,65	36,13	3,38
----- R=800, лето -----						
100	16867,30	546,40	748,57	813,91	28,57	2,67
120	18042,50	584,36	800,58	870,46	30,59	2,86
----- R=800, зима -----						
100	17777,10	524,25	718,22	780,91	33,59	3,14
120	19109,60	563,19	771,57	838,91	36,13	3,38
----- R=700, лето -----						
100	16867,30	546,40	770,43	824,84	28,57	2,67
120	18042,50	584,36	823,95	882,14	30,59	2,86
----- R=700, зима -----						
100	17777,10	524,25	739,19	791,40	33,59	3,14
120	19109,60	563,19	794,09	850,18	36,13	3,38
----- R=600, лето -----						
100	16867,30	546,40	792,29	835,77	28,57	2,67
----- R=600, зима -----						
100	17777,10	524,25	760,16	801,88	33,59	3,14
----- R=500, лето -----						
100	16867,30	546,40	836,00	857,63	28,57	2,67
----- R=500, зима -----						
100	17777,10	524,25	802,10	822,85	33,59	3,14

НАПРЯЖЕНИЯ НА ОСНОВНОЙ ПЛОЩАДКЕ
ЗЕМЛЯННОГО ПОЛОТНА:

V, км/ч	ПРЯМАЯ		КРИВАЯ	
	ЛЕТО	ЗИМА	ЛЕТО	ЗИМА
100	0,77	0,87	0,79	0,91
120	0,82	0,94	0,85	0,98
160	0,94	1,09	0,97	1,13

ДОПУСКАЕМЫЕ ИНТЕРВАЛЫ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ
ПЛЕТИ БЕССТЫКОВОГО ПУТИ ПО УСЛОВИЯМ ПРОЧНОСТИ
РЕЛЬСА

	дельта tp			дельта tg		
	V1	V2	V3	V1	V2	V3
	100	120	160	100	120	160
Прямая	108	106	100	100	97	91
R=2000	106	103	98	99	96	89
R=1200	105	102	97	99	96	90
R=1000	104	101		98	95	
R=800	103	100		98	95	
R=700	102	99		97	94	
R=600	100			97		
R=500	98			95		

ТАБЛИЦА ТЕМПЕРАТУР ЗАКРЕПЛЕНИЯ ПЛЕТИ

	V1, км/ч		V2, км/ч		V3, км/ч	
	100	120	120	160	160	
	mintз	maxtz	mintз	maxtz	mintз	maxtz
Прямая	17	78	17	76	17	70
R=2000	14	76	14	73	14	68
R=1200	17	75	17	72	17	67
R=1000	18	74	18	71		
R=800	20	73	20	70		
R=700	22	72	22	69		
R=600	24	70				
R=500	27	68				

ТАБЛИЦА ПРОДОЛЬНЫХ СИЛ

	V1, км/ч			V2, км/ч			V3, км/ч		
	100			120			160		
	Nтэ	Nтл	Nк	Nтэ	Nтл	Nк	Nтэ	Nтл	Nк
Прямая	410859	379202	178788	401548	368233	178788	381886	345149	178788
R=2000	402243	374723	190200	392273	363434	190200	371219	339675	190200
R=1200	398786	375885	178788	388850	365001	178788	367758	341992	178788
R=1000	394638	373723	174984	384394	362689	174984			
R=800	390490	371561	167376	379938	360377	167376			
R=700	386342	369400	159768	375482	358065	159768			
R=600	382194	367238	152160						
R=500	373897	362915	140748						

Локомотив: Узбекистан, Рельсы: Р65, шпалы ВФ70 - 1840/2000 шт/км

Модуль упругости подрельсового основания:

в прямой: - летом: 3000

- зимой: 4500

в кривой: - летом: 3400

- зимой: 5100

Балласт: 20/20 см

V, км/ч	Расч	Напряжения в элементах ВСП				
		Оп-о	Оп-к	Ог-к	Ош	Об
----- Прямая, лето -----						
100	17003,50	566,08	639,66	775,29	30,27	2,83
120	18219,10	606,56	685,42	830,74	32,47	3,03
160	20777,50	691,77	781,70	947,44	37,10	3,47
----- Прямая, зима -----						
100	17921,10	544,47	615,25	745,69	35,60	3,33
120	19303,10	586,12	662,32	802,74	38,38	3,59
160	22221,80	674,09	761,72	923,22	44,23	4,13
----- R=1200, лето -----						
100	16867,30	546,40	704,86	792,06	28,57	2,67
120	18042,50	584,36	753,83	847,08	30,59	2,86
160	20526,70	664,60	857,34	963,40	34,86	3,26
----- R=1200, зима -----						
100	17777,10	524,25	676,28	759,94	33,59	3,14
120	19109,60	563,19	726,51	816,38	36,13	3,38
160	21938,90	645,85	833,14	936,21	41,52	3,88
----- R=1000, лето -----						
100	16867,30	546,40	726,72	802,99	28,57	2,67
120	18042,50	584,36	777,20	858,77	30,59	2,86
----- R=1000, зима -----						
100	17777,10	524,25	697,25	770,43	33,59	3,14
120	19109,60	563,19	749,04	827,65	36,13	3,38
----- R=800, лето -----						
100	16867,30	546,40	748,57	813,91	28,57	2,67
120	18042,50	584,36	800,58	870,46	30,59	2,86
----- R=800, зима -----						
100	17777,10	524,25	718,22	780,91	33,59	3,14
120	19109,60	563,19	771,57	838,91	36,13	3,38
----- R=700, лето -----						
100	16867,30	546,40	770,43	824,84	28,57	2,67
120	18042,50	584,36	823,95	882,14	30,59	2,86
----- R=700, зима -----						
100	17777,10	524,25	739,19	791,40	33,59	3,14
120	19109,60	563,19	794,09	850,18	36,13	3,38
----- R=600, лето -----						
100	16867,30	546,40	792,29	835,77	28,57	2,67
----- R=600, зима -----						
100	17777,10	524,25	760,16	801,88	33,59	3,14
----- R=500, лето -----						
100	16867,30	546,40	836,00	857,63	28,57	2,67
----- R=500, зима -----						
100	17777,10	524,25	802,10	822,85	33,59	3,14

НАПРЯЖЕНИЯ НА ОСНОВНОЙ ПЛОЩАДКЕ
ЗЕМЛЯННОГО ПОЛОТНА:

V, км/ч	ПРЯМАЯ		КРИВАЯ	
	ЛЕТО	ЗИМА	ЛЕТО	ЗИМА
100	0,92	1,06	0,95	1,09
120	0,99	1,14	1,01	1,17
160	1,12	1,31	1,16	1,35

ДОПУСКАЕМЫЕ ИНТЕРВАЛЫ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ
ПЛЕТИ БЕССТЫКОВОГО ПУТИ ПО УСЛОВИЯМ ПРОЧНОСТИ
РЕЛЬСА

	дельта t_p			дельта t_g		
	V1	V2	V3	V1	V2	V3
	100	120	160	100	120	160
Прямая	108	106	100	100	97	91
R=2000	106	103	98	99	96	89
R=1200	105	102	97	99	96	90
R=1000	104	101		98	95	
R=800	103	100		98	95	
R=700	102	99		97	94	
R=600	100			97		
R=500	98			95		

ТАБЛИЦА ТЕМПЕРАТУР ЗАКРЕПЛЕНИЯ ПЛЕТИ

	V1, км/ч		V2, км/ч		V3, км/ч	
	100		120		160	
	mintз	maxтз	mintз	maxтз	mintз	maxтз
Прямая	17	78	17	76	17	70
R=2000	14	76	14	73	14	68
R=1200	17	75	17	72	17	67
R=1000	18	74	18	71		
R=800	20	73	20	70		
R=700	22	72	22	69		
R=600	24	70				
R=500	27	68				

ТАБЛИЦА ПРОДОЛЬНЫХ СИЛ

	V1, км/ч			V2, км/ч			V3, км/ч		
	100			120			160		
	Nтз	Nтл	Nк	Nтз	Nтл	Nк	Nтз	Nтл	Nк
Прямая	410859	379202	178788	401548	368233	178788	381886	345149	178788
R=2000	402243	374723	190200	392273	363434	190200	371219	339675	190200
R=1200	398786	375885	178788	388850	365001	178788	367758	341992	178788
R=1000	394638	373723	174984	384394	362689	174984			
R=800	390490	371561	167376	379938	360377	167376			
R=700	386342	369400	159768	375482	358065	159768			
R=600	382194	367238	152160						
R=500	373897	362915	140748						