

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ»**

25/13/2

Одобрено кафедрой
«Железнодорожный путь,
машины и оборудование»

ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ ПУТЬ

**Задание на курсовой проект
с методическими указаниями
для студентов V курса
специальности**

**270204.65 СТРОИТЕЛЬСТВО ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ,
ПУТЬ И ПУТЕВОЕ ХОЗЯЙСТВО**

2-е издание

Москва – 2012

Составитель — д-р техн. наук, проф. Б.Э. Глюзберг

Рецензент — д-р техн. наук, проф. В.О. Певзнер

ЗАДАНИЕ НА КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

Тема

«ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЕТЫ ВЕРХНЕГО СТРОЕНИЯ ПУТИ»

Содержание проекта

Курсовой проект состоит из 3 частей:

Часть 1. Определение класса железнодорожного пути, конструкции, типа и характеристик его верхнего строения.

Часть 2. Определение условий укладки бесстыкового пути.

Часть 3. Расчеты рельсовой колеи.

Исходные данные и правила выбора варианта

Исходные данные для выполнения курсового проекта приведены в табл. 1. Она состоит из двух групп, в каждой группе по 10 вариантов.

Варианты первой группы выбираются студентами, у которых сумма цифр учебного шифра нечетная, варианты второй группы — студентами, у которых сумма цифр учебного шифра четная (учитываются цифры, идущие после года приема и обозначения специальности).

Из десяти вариантов соответствующей группы студент выбирает для разработки данные по варианту, соответствующему последней цифре учебного шифра. Если последняя цифра нуль, то разрабатывается вариант 10.

Курсовые проекты, выполненные не по заданному варианту, не рассматриваются и не рецензируются.

Оформление курсового проекта

Курсовой проект должен состоять из пояснительной записки с необходимыми чертежами и схемами. Пояснительная записка должна быть выполнена разборчиво, без исправлений и помарок. В ней приводятся исходные данные, требуемые расчеты и даются обстоятельные, но краткие пояснения

Исходные

Наименование данных	Варианты первой группы									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ЧАСТЬ I										
Грузонапряженность, млн. ткм/км брутто в год	50	55	60	70	65	55	65	80	60	75
Максимальная скорость движения поездов, км/ч:										
пассажирских	100	120	100	120	120	110	120	110	110	120
грузовых	50	60	55	60	65	50	65	60	55	65
ЧАСТЬ II										
Тип рельсов	P50	P65	P65	P50	P65	P50	P65	P65	P50	P65
Род балласта	а	а	а	щ	а	а	щ	а	а	а
Радиус кривой, м	2000	1000	800	800	1200	800	600	600	1000	1200
Локомотив			ВЛ10				ВЛ80		ВЛ23	
Скорость движения, км/ч	100	80	80	60	110	100	80	100	80	100
t_{\max} max, °C	56	59	60	57	55	61	58	55	58	57
t_{\min} min, °C	-48	-41	-42	-42	-38	-40	-41	-43	-40	-38
$t_{\text{факт.}}$, °C	0	-1	-2	-3	-4	-5	0	-1	-2	-3
Длина плети, м	600	650	700	720	800	850	600	950	1000	1050
ЧАСТЬ III										
Радиус кривой R, мм	1000	900	800	950	1000	1100	1000	1150	1100	1200
Максимальная скорость движения поездов, по кривой, км/ч:										
грузовых	50	55	45	60	85	70	75	65	61	57
пассажирских	90	85	95	90	95	100	100	80	85	75
Приведенная скорость поездопотока, км/ч	45	50	40	55	55	60	55	50	50	45
Угол поворота линии β , град	28	30	32	26	28	30	32	34	36	30
Единица подвижного состава	ВЛ 23	ВЛ60		ЧС 4		ТЭ3		ЗТЭЮЛ		ВЛ 23
Зона скорости	Первая						Вторая			

Примечание: а — асбестовый балласт;

Таблица 1

данные

Варианты второй группы									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
65	55	60	80	65	45	70	65	55	95
100 70	120 60	110 60	110 70	110 80	120 75	120 70	120 65	100 55	120 60
Р65 а	Р50 а	Р50 а	Р65 а	Р65 щ	Р65 а	Р50 а	Р50 а	Р65 а	Р65 а
600	800	600	1000	2000	1200	600	800	1200	1000
		ВЛ23			ТЭ-3			2ТЭ10Л	
60	60	60	80	100	80	60	80	100	100
62	65	56	55	54	58	60	56	54	55
-34	-33	-39	-40	-38	-41	-31	-36	-33	-39
-4	-5	0	-1	-2	-3	-4	-5	0	-1
1100	1150	1200	600	650	700	750	800	850	900
1100	900	1300	1050	1000	1200	1300	1400	1500	1350
73 90	68 95	56 90	70 95	72 100	67 90	74 95	65 85	70 90	60 95
50	45	45	55	55	50	55	50	55	50
32	34	36	30	32	34	36	34	38	32
ВЛ23	ЧС4		2ТЭ10Л		ВЛ60		ВЛ23		ЧС4
Первая						Вторая			

щ — щебеночный балласт

и схемы по принципиальным вопросам. В тексте записки должны быть ссылки на чертежи и схемы.

Пояснительная записка аккуратно оформляется, брошюруется и подписывается студентом. Страницы нумеруются. В конце записки указывается перечень литературы, использованной студентом при выполнении проекта.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Часть I

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КЛАССА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ, КОНСТРУКЦИИ, ТИПА И ХАРАКТЕРИСТИК ЕГО ВЕРХНЕГО СТРОЕНИЯ

Современная система ведения путевого хозяйства основана на классификации пути в зависимости от грузонапряженности и скоростей движения поездов.

Железнодорожный путь классифицируется в зависимости от сочетаний грузонапряженности и максимальных допускаемых скоростей движения пассажирских и грузовых поездов.

По грузонапряженности пути разделяют на 5 групп, обозначаемых буквами (Б, В, Г, Д, Е) по допускаемым скоростям — на 7 категорий, обозначаемых цифрами (1...7). Классы пути обозначают цифрами.

Принадлежность пути соответствующему классу, группе и категории обозначается сочетанием буквы и цифр. Например, *1Б2* обозначает, что путь принадлежит 1 классу, входит в группу Б и категорию 2.

Классификация железнодорожного пути приведена в табл. 2.

При определении класса пути необходимо учитывать следующие дополнения.

1. На железнодорожных линиях федерального (общесетевого) значения пути должны быть не ниже 3 класса.

2. Непрерывная длина пути соответствующего класса, как правило, не должна быть менее длины участка движения с одинаковыми на всем протяжении грузонапряженностью и установленными скоростями пассажирских или грузовых поездов (в зависимости от того, какая из них соответствует более высокому классу), без учета отдельных километров и мест, по которым уменьшена установленная скорость из-за кривых малого радиуса, временно неудовлетворительного технического состояния пути или искусственных сооружений, либо по другим причинам.

3. В зависимости от количества пассажирских и пригородных графических поездов путь должен быть не ниже:

1 класса — более 100 поездов в сутки;

2 класса — 31–100 поездов в сутки;

3 класса — 6–30 поездов в сутки.

4. На двухпутных и многопутных участках классы путей устанавливаются одинаковыми с классом пути, имеющим большую грузонапряженность, при условии, если разница в грузонапряженности не превышает 30%. При большей разнице класс каждого из путей устанавливается по фактическому сочетанию грузонапряженности и установленной скорости.

Пути, предназначенные для движения подвижного состава с опасными грузами, не должны быть ниже 4 класса.

Класс путей седьмой категории (см. табл. 2) определяется установленными на этих путях скоростями:

Приемо-отправочные и другие станционные пути, предназначенные для сквозного пропуска поездов со скоростями 40 км/ч и более, подъездные пути со скоростями более 40 км/ч, а также горочные пути относятся к 3 классу. Станционные пути, не предназначенные для сквозного пропуска поездов, при установленных скоростях 40 км/ч, а также специальные пути, предназначенные для обращения подвижного состава с опасными грузами, сортировочные и подъездные пути со скоростями дви-

Таблица 2

Классы железнодорожных путей

Группа пути	Грузонапряженность, млн. т/км бр. на км в год	Категория пути – допустимые скорости движения поездов (числитель – пассажирских; знаменатель – грузовых)						7 Станционные, подъездные и прочие пути
		1	2	3	4	5	6	
		121-140 >80	101-120 >70	81-100 >60	61-80 >50	41-60 >40	40 и мнее	
Главные пути							5	
Б	Более 50	1	1	1	2	2		3
В	25-50	1	1	2	2	3		3
Г	10-25	1	2	3	3	3		3
Д	5-10	2	3	3	3	4		4
Е	5 и мнее	3	3	3	4	4	4	

Примечание: величины грузонапряженности, стоящие перед тире — исключительно; после тире — включительно.

жения 40 км/ч относятся к 4 классу. Остальные станционные и подъездные пути относятся к 5 классу.

Сортировочные и горочные пути на сортировочных станциях относятся к 4 классу.

Главные пути, где установлены скорости движения пассажирских поездов более 140 км/ч, относятся к внеклассным путям.

В зависимости от класса пути устанавливаются технические условия и нормативы на укладку и ремонт пути.

Предусмотрены три конструкции верхнего строения пути: бесстыковой путь на железобетонных шпалах и звеньевой путь на железобетонных и на деревянных шпалах.

При этом в регионах, где позволяют климатические условия, на путях 1-4 классов рекомендуется преимущественно применять бесстыковой путь, а на путях пятого класса — звеньевой путь на железобетонных шпалах.

В зависимости от класса устанавливаются типы и характеристики верхнего строения пути (см. табл. 3) *

Таблица 3

**Нормативы по конструкциям, типам и элементам пути
для путей различных классов**

Классы путей				
1	2	3	4	5
Конструкция верхнего строения пути				
Бесстыковой путь на железобетонных шпалах ¹⁾				Звеньевой путь на железобетонных шпалах
Типы и характеристика верхнего строения пути				
Рельсы Р65, новые, термоупрочненные, категории В и Т1	Рельсы Р65, новые, термоупрочненные, категории Т1 и Т2 ²⁾	Рельсы старогодные I группы годности; I и II группы годности репрофилированные ²⁾	Рельсы старогодные Р65 ³⁾ II и III группы годности	Рельсы старогодные Р65 ³⁾ III группы годности
Скрепления новые	Скрепления новые и старогодные (в т.ч. отремонтированные), укладываемые в объемах, устанавливаемые «Техническими условиями на ремонт и плановопредупредительную выправку пути»			
Шпалы железобетонные новые I сорта	Шпалы железобетонные старогодные ⁴⁾			
Балласт щебеночный ⁵⁾ с толщиной слоя: 40 см – под железобетонными шпалами; 35 см – под деревянными шпалами			Балласт щебеночный ⁵⁾ с толщиной слоя под шпалой: 30 см под железобетонными; 25 см – под деревянными	Балласт всех типов с толщиной слоя под шпалой не менее 20 см
Размеры балластной призмы – в соответствии с типовыми поперечными профилями				
Конструкция и типы стрелочных переводов				
Р65 новые, рельсовые элементы закаленные. Брусья железобетонные ⁶⁾			Рельсы и металлические части старогодные. Брусья железобетонные – новые и старогодные ⁶⁾	
Земляное полотно и искусственные сооружения				
Земляное полотно, искусственные сооружения и их обустройства должны удовлетворять максимальным допускаемым осевым нагрузкам и скоростям движения поездов в зависимости от групп и категорий путей.				

Примечания к табл. 3:

1. Применение звеньевого пути на деревянных шпалах согласовывается с Департаментом пути и сооружений МПС России, при этом на путях 1-3 классов деревянные шпалы должны быть I типа.

2. В зависимости от баланса на железной дороге старогодных рельсов I и II групп годности допускается по согласованию с Департаментом пути и сооружений укладка:

— на путях 2 класса групп Г и Д старогодных репрофиллированных рельсов I группы годности;

— на путях 3 класса — новых рельсов категорий T1 и T2.

3. Для звеньевого пути на деревянных шпалах — не легче Р50.

4. При недостатке старогодных железобетонных шпал: новые железобетонные 1 сорта — на путях 3 класса, новые 2-го сорта — на путях 4 и 5 классов; при недостатке новых железобетонных шпал 2-го сорта — новые шпалы 1-го сорта; при недостатке старогодных и новых железобетонных шпал — новые деревянные.

5. По согласованию с Департаментом пути и сооружений МПС России допускается на путях 3-5 классов укладка асбестового балласта.

6. По согласованию с Департаментом пути и сооружений МПС России допускается укладка деревянных брусьев.

На путях 1 и 2 классов укладываются рельсы Р65 (новые, термоупрочненные, категории В, T₁ и T₂, новые скрепления, шпалы новые железобетонные 1 сорта).

Эпюра шпал: в прямых и кривых радиусами более 1200 м — 1840 шт/км, в кривых радиусами 1200 м и менее — 2000 шт/км.

Балласт щебеночный или асбестовый с толщиной слоя под деревянными шпалами 40 см.

На путях 3 класса укладываются рельсы Р65 новые или старогодные в соответствии с табл. 3. Скрепления и шпалы новые и старогодные, отремонтированные в соответствии с Техническими условиями на применение старогодных материалов верхнего строения. Эпюра и группа шпал такие же, как на путях 1 и 2 классов.

Балласт щебеночный или асбестовый с толщиной слоя под деревянными шпалами 35 см и под железобетонными шпалами 40 см.

На путях 4 класса укладываются старогодные рельсы II и III группы годности в соответствии с Техническими условиями на применение старогодных материалов верхнего строения. Крепления и шпалы старогодные, как правило, отремонтированные. Эюра шпал такая же, как на путях 1–3 классов. Допускается укладка новых шпал второго сорта. Допускается чередование деревянных и железобетонных шпал (по специальному согласованию с МПС).

Балласт щебеночный, асбестовый или гравийно-песчаный с толщиной слоя под деревянными шпалами 25 см и под железобетонными шпалами 30 см.

На путях 5 класса рельсы, крепления и шпалы — старогодные, рельсы III группы годности, в т.ч. непригодные к укладке в пути 3 и 4 классов. Рельсы не легче Р50.

Допускается чередование старогодных железобетонных и деревянных шпал по схемам, устанавливаемым службой пути дороги. Эюра шпал: в прямых и кривых радиусами более 650 м — 1440 шт/км; в кривых радиусами 650 м и менее — 1600 шт/км.

В части I курсового проекта необходимо согласно исходным данным табл. I определить класс пути, выбрать конструкцию, тип и характеристики верхнего строения пути.

Для выбранного типа верхнего строения пути на миллиметровой бумаге вычертить поперечный профиль балластной призмы из щебня.

Часть II

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСЛОВИЙ УКЛАДКИ БЕССТЫКОВОГО ПУТИ

Возможность укладки бесстыкового пути в конкретных условиях устанавливается сравнением допускаемой температурной амплитуды $[T]$ для данных условий с фактически наблюдавшейся в данной местности амплитудой колебаний температуры T_d .

Если по расчету $T_A \leq [T]$, то бесстыковой путь можно укладывать.

Значение T_A определяется как алгебраическая разность высшей $t_{\max \max}$ и наименьшей $t_{\min \min}$ температур рельса, наблюдавшихся в данной местности (при этом учитывается, что наибольшая температура рельса на открытых участках превышает на 20 °С наибольшую температуру воздуха):

$$T_A = t_{\max \max} - t_{\min \min}.$$

Амплитуда допускаемых изменений температур рельсов

$$[T] = [\Delta t_y] + [\Delta t_p] - [\Delta t_3],$$

- где $[\Delta t_3]$ — минимальный интервал температур, в котором окончательно закрепляются рельсовые плети, $[\Delta t_3] = 10$ °С;
 $[\Delta t_y]$ — допускаемое повышение температуры рельсов по сравнению с температурой их закрепления, определяемое устойчивостью против выброса пути при действии сжимающих продольных сил;
 $[\Delta t_p]$ — допускаемое понижение температуры рельсовых плетей по сравнению с температурой закрепления, определяемое их прочностью при действии растягивающих продольных сил.

2.1. Расчет повышений и понижений температуры рельсовых плетей, допустимых по условиям прочности и устойчивости

Допускаемое повышение температуры рельсовых плетей $[\Delta t_y]$ устанавливается на основании исследований устойчивости пути.

Для некоторых конструкций пути величины $[\Delta t_y]$ приведены в табл. 4.

Допускаемое понижение температуры рельсовых плетей определяется расчетом прочности рельсов, основанным на условии, что сумма растягивающих напряжений, возникающих от воздействия подвижного состава и от изменений тем-

Таблица 4

Тип рель- сов	Эпора шпал	Повышение температуры рельсовой плиты $[\Delta t_r], ^\circ\text{C}$, допускаемое по условию устойчивости пути					
		в прямом участке	в кривых радиусом, м				
			2000	1200	1000	800	600
При железобетонных шпалах							
1. Со щебнем из скальных пород							
Р65	2000	58	53	50	49	47	42
	1840	54	50	47	46	44	40
	1600	47	43	41	40	38	35
Р50	2000	63	58	55	54	51	47
	1840	57	52	49	48	46	42
	1600	50	46	43	42	40	36
2. С асбестовым балластом							
Р65	2000	55	52	49	47	44	40
	1840	52	48	45	43	41	37
	1600	46	42	39	37	36	32
Р50	2000	60	55	52	51	49	45
	1840	55	51	48	47	45	42
	1600	49	45	42	41	39	35
3. Со щебнем из валунов и гальки							
Р65	2000	46	41	38	36	34	30
	1840	42	38	35	33	31	27
	1600	36	33	30	29	27	24
Р50	2000	52	46	43	41	38	34
	1840	47	42	39	38	35	31
	1600	41	37	34	33	30	27

пературы, не должна превышать допускаемого напряжения материала рельсов

$$K_n \sigma_k + \sigma_r \leq [\sigma],$$

где K_n — коэффициент запаса прочности ($K_n = 1,3$ для рельсов первого срока службы; $K_n = 1,4$ для рельсов, пропустивших нормативный тоннаж);

- σ_k — напряжение в кромках подошвы рельса под нагрузкой от колес подвижного состава, МПа;
- σ_t — напряжение в поперечном сечении рельса от действия растягивающих температурных сил, возникающих при понижении температуры рельса по сравнению с его температурой при закреплении, МПа;
- $[\sigma]$ — допускаемое напряжение (для новых незакаленных рельсов $[\sigma] = 350$ МПа, для новых термоупрочненных — 400 МПа).

Напряжение в подошве рельса σ_k определяется по правилам расчета верхнего строения пути на прочность.

Температурное напряжение, возникающее в рельсе в связи с несостоявшимся изменением его длины при изменении температуры,

$$\sigma_t = \alpha E \Delta t = 2,5 \Delta t,$$

- где α — коэффициент линейного расширения ($\alpha = 0,0000118$ 1/град);
- E — модуль упругости рельсовой стали ($E = 210$ ГПа = $2,1 \cdot 10^5$ МПа);
- Δt — разность между температурой, при которой определяется напряжения, и температурой закрепления плети, °С.

Наибольшее допускаемое по условию прочности рельса понижение температуры рельсовой плети по сравнению с ее температурой при закреплении

$$[\Delta t_p] = \frac{[\sigma] - K_n \sigma_k}{\alpha E} = \frac{[\sigma] - K_n \sigma_k}{2,5}.$$

В табл. 5 [6] приведены допускаемые по условию прочности понижения $[\Delta t_p]$ температуры рельсовых плетей по сравнению с температурой их закрепления для бесстыкового пути с неупрочненными рельсами первого срока службы на железобетонных шпалах и щебеночном или асбестовом балласте в зависимости от типа обращающихся локомотивов и реализуемой скорости движения.

Для других вариантов верхнего строения указанные данные принимают со следующими поправками. При термоуп-

роченных рельсах первого срока службы значение $[\Delta t_p]$ увеличивают на 20 °С по сравнению с данными табл. 5.

При старогодных рельсах в главных путях и приемо-отправочных путях сквозного прохода $[\Delta t_p]$ уменьшают на 5 °С по сравнению с данными табл. 5.

2.2. Расчет интервалов закреплений плетей

Расчетный интервал закрепления плетей

$$\Delta t_3 = [\Delta t_y] + [\Delta t_p] - T_A.$$

Границы интервала закрепления, т.е. самую низкую $\min t_3$ и наибольшую $\max t_3$ температуры закрепления, определяют по формулам:

$$\begin{aligned} \min t_3 &= t_{\max \max} - [\Delta t_y]; \\ \max t_3 &= t_{\min \min} + [\Delta t_p]. \end{aligned}$$

При укладке плетей длиной более 800 м нижняя граница интервала закрепления должна быть не менее чем на 8 °С выше нижней границы, установленной для плетей обычной длины.

2.3. Расчет данных для принудительного ввода плетей в оптимальную температуру закрепления

В случаях необходимости укладки рельсовых плетей при температуре рельсов ниже оптимальной, следует прибегнуть к способу принудительного ввода их в оптимальную температуру закрепления. Такой способ применяется и перед сваркой эксплуатируемых плетей, ранее уложенных и закрепленных при температуре ниже оптимальной.

Если укладка плетей производилась при температуре выше оптимальной, то с наступлением оптимальной температуры производится разрядка температурных напряжений.

Принудительный ввод плетей в оптимальную температуру выполняется с использованием гидравлических натяжных устройств или нагревательных установок и обязательным вывешиванием их на роликовые опоры или пластины.

Таблица 5

Тип рельсов	Скорость, км/ч	Допускаемое по условию прочности рельсов понижение температуры $[\Delta t_p]$, °С					
		в прямом участке	в кривых радиусом, м				
			2000	1200	1000	800	600
Электровоз ВЛ 10							
Р65	60	90	86	87	86	84	82
	80	83	78	80	79	77	74
	100	76	70	72	71	69	66
Р50	60	72	67	68	67	65	62
	80	63	56	58	57	54	51
	100	52	45	48	46	43	39
Электровоз ВЛ 80							
Р65	60	92	86	86	83	81	79
	80	84	78	78	75	73	71
	100	76	70	70	67	65	63
Р50	110	73	66	66	63	61	59
	60	73	67	67	63	62	59
	80	63	56	56	52	50	47
	100	53	45	45	41	38	35
	110	48	39	40	36	32	29
Электровоз ВЛ 23							
Р65	60	85	84	86	85	85	82
	80	77	75	78	77	76	73
	100	68	66	69	68	67	64
Р50	60	65	63	65	65	64	60
	80	53	51	54	53	52	48
	100	40	38	42	41	40	35
Тепловоз ТЗ-3							
Р65	60	91	88	88	87	84	81
	80	83	80	81	80	77	73
	100	75	72	73	72	68	64
Р50	60	72	69	69	67	64	59
	80	62	58	58	57	53	47
	100	51	47	47	46	41	35
Тепловоз 2ТЭ10Л							
Р65	60	86	83	83	82	81	78
	80	79	75	76	75	73	69
	100	71	67	68	67	65	61
Р50	60	66	62	62	60	59	54
	80	56	51	52	50	48	43
	100	45	39	41	39	37	31

Перед началом работ с использованием натяжных устройств должны быть выполнены расчеты по определению изменения длины плети ΔL и прилагаемого растягивающего усилия N , необходимого для удлинения плети (или полуплети).

Удлинение плети, мм, определяется по формуле:

$$\Delta L = \alpha L \Delta t,$$

где L — длина плети;

Δt — перепад между температурой первоначального закрепления или температурой рельсовых плетей при укладке и планируемой температурой закрепления

$$\Delta t = t_{\text{онт}} - t_{\text{факт}}.$$

При длинах плетей до 1250 м производится растяжение сразу всей плети. При больших длинах плетей или при наличии в пределах участка работ кривых, тем более S-образных, принудительный ввод их в оптимальную температуру производится полуплетями.

Необходимые усилия для создания расчетных удлинений в плетях N_i определяются из условия:

$$N_i = \alpha E F \Delta t,$$

где F — площадь поперечного сечения рельса, см² (65,99 — для рельса Р50 и 82,65 — для рельса Р65).

Для обеспечения неподвижности уравнительных рельсов с обеих сторон от удлиняемой плети должны находиться анкерные участки. Рельсовые стыки, расположенные в пределах анкерных участков и прилегающие к ним, должны обеспечивать нормативное стыковое сопротивление продольному перемещению рельсов $R_{\text{н}} = 400$ кН (для рельсов типа Р65), что достигается затяжкой гаек стыковых болтов с крутящим моментом, равным 600 Нм, а гайки клеммных болтов должны быть затянуты с крутящим моментом 150–200 Нм.

Длина анкерного участка, м, определяется по формуле:

$$L_{ан} \geq N_r/r,$$

где r — погонное сопротивление рельсов (при замерзшем балласте принимается $r = 25$ кН/м) или шпал (при незамерзшем балласте $r = 7$ кН/м — при неуплотненном балласте и $r = 12$ кН/м — при уплотненном) продольному перемещению в пределах анкерного участка.

В части II курсового проекта необходимо проверить возможность укладки бесстыкового пути с железобетонными шпалами в условиях, указанных в табл. 1 исходных данных, а также определить допустимое повышение и понижение температур рельсов $[\Delta t_p]$ и $[\Delta t_r]$, рассчитать интервал Δt_3 , самую низкую $\min t_3$ и самую высокую $\max t_3$ температуры закрепления, рассчитать параметры для принудительного ввода плетей в оптимальную температуру закрепления.

По результатам расчета необходимо начертить диаграмму температурного режима плетей (см. рис. 1).

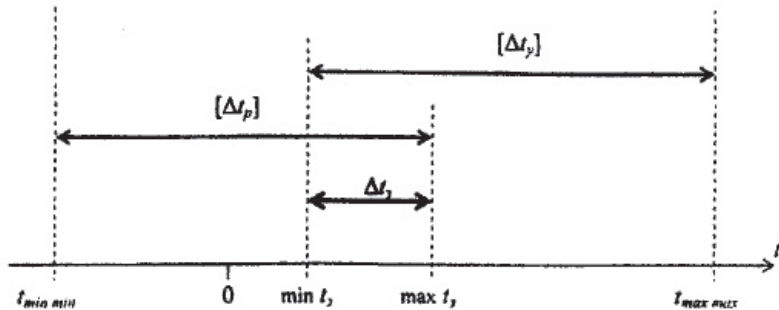


Рис. 1. Диаграмма температурного режима плетей

Часть III

РАСЧЕТЫ РЕЛЬСОВОЙ КОЛЕИ

- 3.1. Определение возвышения наружного рельса в кривой.
- 3.2. Расчет основных элементов для разбивки переходной кривой.
- 3.3. Определение ширины колеи в кривой.

3.1. Определение возвышения наружного рельса в кривой

Возвышение устраивается в кривых участках пути радиусом 4000 м и менее. Максимальная величина возвышения не должна превышать 150 мм.

Перерасчету подлежат возвышения в кривых, в которых наблюдается повышенный износ рельсов по одной из ниток, интенсивные расстройствa по ширине колеи и направлению в плане, допускаемые скорости по возвышению и его отводу не соответствуют друг другу, начало и конец отводов по кривизне и возвышению не совпадают более чем на 10 м, реализуемые скорости на 10–15% отличаются от максимальных, установленных дорожным приказом, или от ранее принятых при расчете возвышения, в том числе и из-за введения длительных ограничений скорости, а также в кривых на участках запланированных капитальных работ.

Величина возвышения в круговой кривой определяется начальником дистанции пути и утверждается начальником железной дороги.

Величина возвышения в кривой, мм, определяется по следующим формулам:

для пассажирского поезда

$$h_{p \text{ пас}} = 12,5 \frac{V^2 \text{ макс пас}}{R} - 115; \quad (1)$$

для грузового поезда

$$h_{p \text{ гр}} = 12,5 \frac{V^2 \text{ макс гр}}{R} - 50; \quad (2)$$

для потока поезда

$$h_{p \text{ пот}} = 12,5 \frac{\overline{V^2}_{\text{пр}}}{R}. \quad (3)$$

где $V_{\text{макс пас}}$ и $V_{\text{макс гр}}$ — максимальные скорости, км/ч соответственно пассажирского и грузового поезда, установленные в кривой по приказу начальника дороги;

$\bar{V}_{пр}$ — приведенная скорость поездопотока, км/ч;

R — радиус кривой, м.

Из полученных величин возвышения принимается большее и округляется до значения, кратного 5 мм.

Точное значение приведенной скорости поездопотока $\bar{V}_{пр}$ для расчета возвышения по формуле (3) определяется по формуле

$$\bar{V}_{пр} = \sqrt{\frac{\sum_1^n Q_i V_i^2}{\sum_1^n Q_i}},$$

где n — число поездов, отобранных из общего поездопотока для определения приведенной скорости потока;

Q_i — масса 1-го поезда;

V_i — фактическая скорость движения i -го поезда.

На перегонах без резких переломов профиля допускается определение $\bar{V}_{пр}$ по формуле

$$\bar{V}_{пр} = K \frac{V_{хп} \Gamma_{пас} + V_{хг} \Gamma_{гр}}{\Gamma_{пас} + \Gamma_{гр}},$$

где K — коэффициент перехода к приведенной скорости от скоростей, взятых по режимным картам вождения поездов или полученным по тяговым расчетам;

$V_{хп}$ и $V_{хг}$ — ходовые скорости пассажирских и грузовых поездов;
 $\Gamma_{пас}$ и $\Gamma_{гр}$ — годовые грузонапряженности брутто в пассажирском и грузовом движении по отчетным данным.

Коэффициент K определяется для одной-двух кривых участка сравнением скоростей по скоростемерным лентам и соответственно по режимным картам или тяговым расчетам.

Для среднесетевых условий коэффициент перехода к режимным картам составляет 0,92, а к тяговым расчетам — 0,85.

В зависимости от конкретных параметров пути в кривой, в том числе от интенсивности износа обеих рельсовых нитей, полученная расчетом величина возвышения при необходимости может корректироваться в пределах, не допускающих превышения нормативов предельных непогашенных ускорений, которые для пассажирских поездов составляют $0,7 \text{ м/с}^2$, а для грузовых $\pm 0,3 \text{ м/с}^2$.

Проверку производят по формуле

$$\alpha_{\text{нп}} = \frac{V^2 p \min_{\text{гр}}}{13R} - 0,00613h.$$

Рекомендуемое значение расчетной минимальной скорости грузовых поездов $V_{\text{р min гр}} = 45 \text{ км/ч}$. Если $\alpha_{\text{нп}} < -0,3 \text{ м/с}^2$, то должен быть проверен уровень реализуемых максимальных скоростей грузовых и пассажирских поездов в кривой, что может быть сделано по специальной методике, утвержденной МПС, с учетом закладываемых в график движения резервов времени хода по участку пути. Максимальные скорости движения по кривой в приказе по дороге следует привести в соответствие с реализуемыми, не допуская избытка величины возвышения в кривой.

В кривых, расположенных на участках рекуперативного торможения, рекомендуется для компенсации действия продольных сжимающих сил увеличивать полученное расчетом возвышение на величину до 20%, а в кривых, расположенных на руководящих подъемах и близких к ним, для компенсации продольных растягивающих сил уменьшать полученное расчетом возвышение на величину до 15%. При этом должны соблюдаться нормативы по предельным непогашенным ускорениям.

В разделе 3.1. на основе исходных данных табл. 1 необходимо определить расчетное возвышение наружного рельса в кривой.

3.2. Расчет основных элементов для разбивки переходной кривой

Длина переходной кривой l_0 зависит от принятого уклона отвода возвышения i , скорости движения, допустимой величины нарастания горизонтальных ускорений, допустимой скорости подъема колеса по наружному рельсу и т.д.

Допускаемое в различных эксплуатационных условиях значения отвода возвышения i , скорости подъема колеса по наружному рельсу, величины нарастания непогашенных поперечных ускорений ψ , величины непогашенных ускорений $\alpha_{\text{нп}}$ приводятся в нормативных документах.

В курсовом проекте допускается применять следующие нормативы: $i = 0,001$; $\alpha_{\text{нп}} = 0,7 \text{ м/с}^2$; $\psi = 0,6 \text{ м/с}^3$, скорость подъема колеса по наружному рельсу — $28 \text{ мм/с} = 1/10 \text{ км/ч}$.

Из условия непревышения допустимого уклона i отвода возвышения наружного рельса

$$l_{01} = h_0/i.$$

При скорости подъема колеса по наружному рельсу $28 \text{ мм/с} = 1/10 \text{ км/ч}$ $h_0/l_0 = 1/(10 V_{\text{max}})$. Отсюда

$$l_{02} = 10 h_0 V_{\text{max}}.$$

При $\psi = 0,4 \text{ м/с}^3$

$$l_{03} = \alpha_{\text{нп}} V_{\text{max}}/(3,6\psi).$$

Наибольшая из l_{01} , l_{02} и l_{03} длина переходной кривой сравнивается со значением длины переходной кривой l'_0 , устанавливаемой СТНЦ-01-95 в зависимости от заданной величины радиуса R , категории линии и зоны скорости.

На новых скоростных железных дорогах, а также линиях I и II категорий длины переходных кривых l определяются из условия

$$l'_0 \geq \frac{hV_{\text{max}}}{100},$$

где V_{\max} — скорость движения км/ч, наиболее быстроходного поезда в данной кривой;

h — возвышение наружного рельса, мм.

В трудных и особо трудных условиях, а также при проектировании дополнительных главных путей и усиления (реконструкции) существующих линий допускается принимать

$$l'_0 \geq \frac{h v_{\max}}{125}.$$

На особо грузонапряженных линиях, а также линиях III и IV категорий длину переходных кривых следует устанавливать по табл. 6 (выписка из табл. 6 СТН Ц-01-95).

Наибольшая из длин l_{01} , l_{02} , l_{03} и l'_0 принимается за окончательное значение длины переходной кривой l_0 . Затем устанавливается новое значение крутизны отвода возвышения наружного рельса

$$i_0 = h_0 / l_0,$$

где h_0 — величина рассчитанного в разделе 1 возвышения наружного рельса, мм;

l_0 — окончательное значение длины переходной кривой, м.

Подсчитывается параметр кривой

$$C = R l_0.$$

После установления длины переходной кривой определяются необходимые величины для разбивки переходной кривой (рис. 2).

Величина сдвижки p круговой кривой к центру

$$p = \frac{l_0^2}{24R} \left(1 - \frac{l_0^2}{112R^2} \right),$$

расстояние m от тангенсного столбика сдвинутой круговой кривой до начала переходной кривой по формуле

Таблица 6

Радиус кривой, м	Длина переходных кривых на железнодорожных линиях и подъездных путях											
	особогрузонапряженные			III категории			IV категории					
	Зоны скоростей движения											
	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
4000	40	30	20	30	20	20						
3000	60-40	40-30	20	40-30	30-20	20						
2500	80-60	50-30	20	60-40	40-30	20						
2000	100-80	60-40	30	60-50	50-30	20			40-30	30		20
1800	100-80	60-40	40-30	80-60	50-40	30-20			50-30	30		20
1500	120-100	80-60	50-40	80-60	60-50	40-30			60-40	40-30		30
1200	140-120	100-80	60-50	100-80	80-60	40-30			60-50	50-30		30
1000	140-120	120-100	70-50	120-100	80-60	50-40			80-60	50-40		30
800	160-140	140-100	80-50	140-100	100-80	50-40			90-60	60-50		40-30
700	160-140	140-120	80-40	160-120	110-90	60-50			120-80	60-50		40-30
600	160-130	140-120	100-60	160-120	120-100	60-50			120-80	80-60		50-40
500	160-120	140-120	120-70	160-120	130-100	80-60			120-100	90-70		60-40
400	160-120	140-120	140-80	140-100	140-100	80-60			120-100	110-80		60-50
350	140-100	140-120	140-80	140-100	130-100	100-60			120-100	120-80		80-50

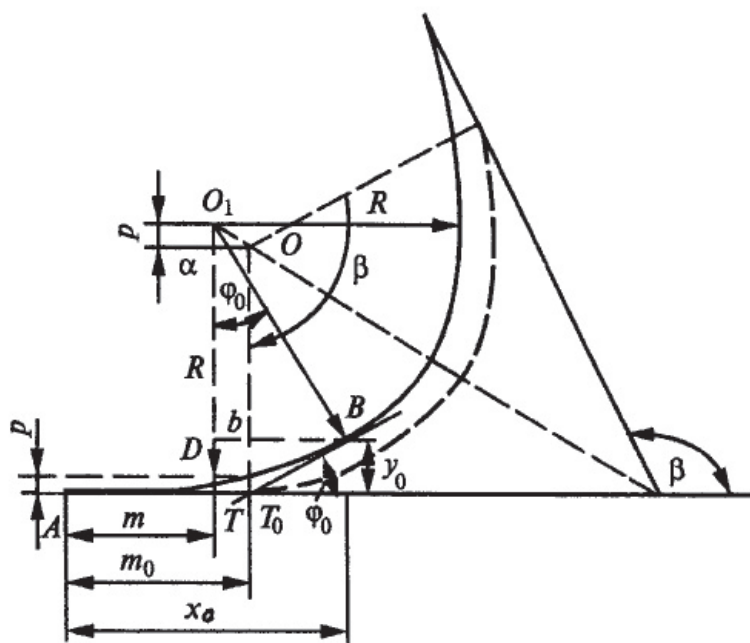


Рис. 2. Разбивка переходной кривой способом сдвижки круговой кривой во внутрь

$$m_0 = \frac{l_0}{2} \left(1 - \frac{l_0^2}{120R^2} \right),$$

значение абсциссы X_0 и ординаты Y_0 для конца переходной кривой по формулам

$$X_0 = l_0 \left[1 - \frac{l_0^4}{40C^2} \right];$$

$$Y_0 = \frac{l_0^3}{2C} \left[\frac{1}{3} - \frac{l_0^4}{168C^2} \right].$$

Подсчет промежуточных ординат для $X=10$ м и 20 м производится по формуле

$$Y = \frac{X^3}{6C} \left(1 + \frac{2X^4}{35C^2} \right).$$

Полная длина кривой определяется следующим образом

$$K = 2l_0 + R(\hat{\alpha} - 2\varphi), \text{ где } \varphi = \frac{l_0}{2R}.$$

3.3. Определение ширины колеи в кривой

Согласно исходным данным к части III проекта (см. табл. 1) необходимо определить для заданного экипажа оптимальную и минимально допустимую ширину колеи в кривой радиуса R .

Ширина колеи на кривой определяется расчетом по вписыванию экипажа в заданную кривую, исходя из следующих условий:

- ширина колеи должна быть оптимальной, т.е. обеспечивать наименьшее сопротивление движению колес, наименьшие износы колес и рельсов;
- ширина колеи должна быть больше минимально допустимой S_{\min} .

Оптимальная ширина рельсовой колеи $S_{\text{опт}}$ на кривой радиусом R из условия вписывания тележки с трехосной жесткой базой L_0 определится следующим образом (см. рис. 3).

Обозначим ширину колесной колеи:

Обозначения на рис. 3:

0 — центр вращения экипажа; λ — расстояние от центра вращения экипажа до геометрической оси первого колеса (в данном случае $\lambda = L_0$); b_1 — расстояние от геометрической оси первой колесной пары до точки касания гребня колеса с рельсом; f_n — стрела изгиба наружного рельса (при хорде АВ); $\Sigma\eta$ — сумма поперечных разбегов соответствующих колесных пар заданного экипажа.

$$\begin{aligned} \text{При } \Sigma\eta = 0 & \quad S = K + f_n; \\ \text{при } \Sigma\eta \neq 0 & \quad S = K + f_n - \Sigma\eta. \end{aligned}$$

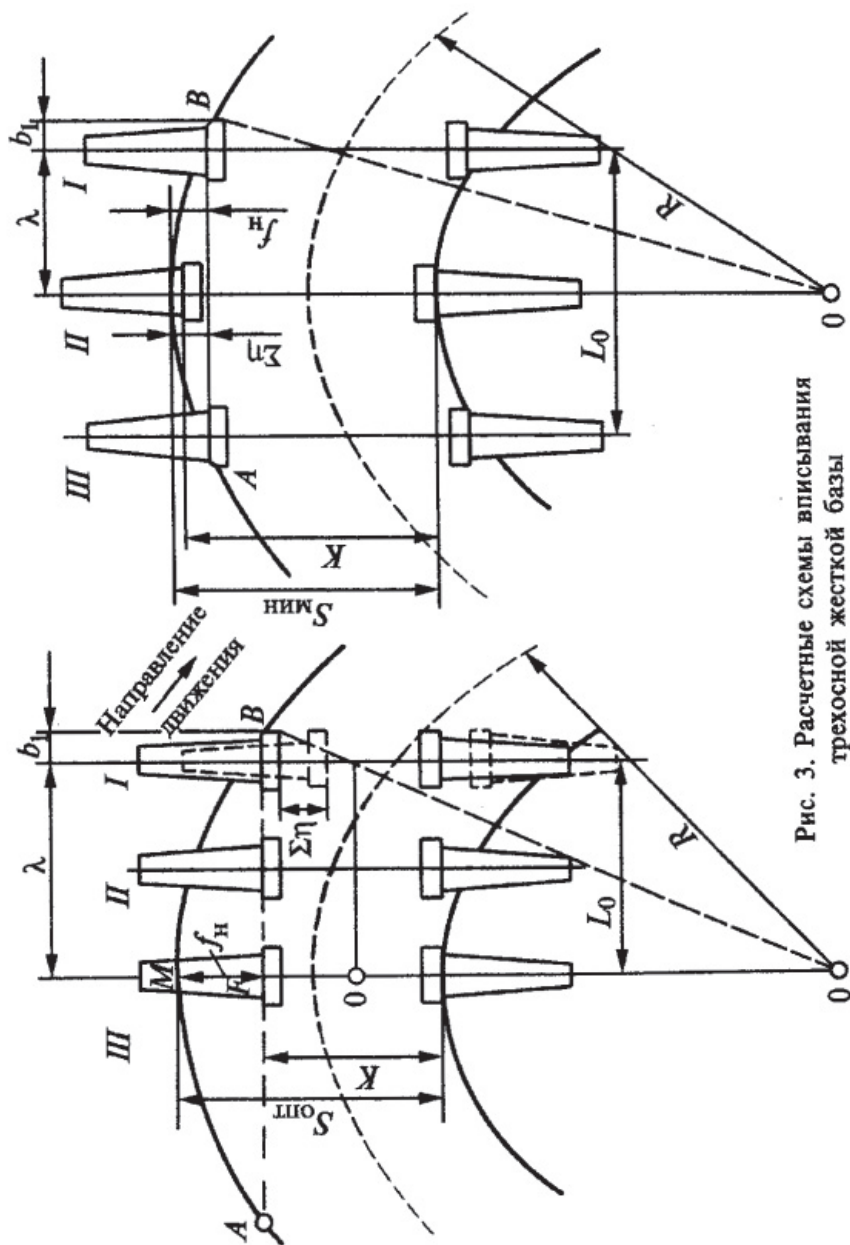


Рис. 3. Расчетные схемы вписывания трехосной жесткой базы

$$K = (T + 2q + 2\mu),$$

где T — насадка колес, мм;

q — толщина гребня колеса, мм;

μ — утолщение гребня выше расчетной плоскости, равное для вагонных колес 1 мм, для локомотивных колес 0.

Поскольку экипажем, требующим наибольшей ширины колеи, будет тот, который имеет K_{\max} , а допуск на сужение равен 4 мм, то

$$S_{\text{опт}} = K_{\max} + f_n - \sum \eta + 4,$$

$$f_n \approx (\lambda + b_1)^2/2R; \quad b_1 \approx \lambda \frac{r}{R} \operatorname{tg} \tau,$$

где r — радиус качения колеса, м;

τ — угол наклона образующей гребня колеса к горизонту (для вагонного колеса 60° , для локомотивного 70°).

При определении минимально допустимой ширины S_{\min} (см. рис. 3 справа) за расчетную принимается схема заклиненного вписывания экипажа, при которой наружные колеса крайних осей жесткой базы ребордами упираются в наружный рельс кривой, а внутренние колеса средней оси — в рельс внутренней нити.

К полученной на основании такой расчетной схемы ширине колеи прибавляется δ_{\min} — минимальный зазор между боковой рабочей гранью рельса и гребнем рельса на прямом участке пути:

$$S_{\min} = K_{\max} + f_n - \sum \eta + \delta_{\min},$$

$$f_n \approx (\lambda + b_1)^2/2R; \quad b_1 \approx \lambda \frac{r}{R} \operatorname{tg} \tau; \quad \lambda = L_0/2.$$

Необходимые для расчета величины приведены в табл. 7 и 8.

На железных дорогах установлена следующая ширина рельсовой колеи на кривых участках пути, мм:*

при радиусах кривой	350 м и более	— 1520;
то же	349–300 м	— 1530;
>>	299 и менее	— 1535.

* Для железобетонных шпал — 300 м и более.

Если ширина колеи S_{\min} меньше ширины колеи, устанавливаемой для кривой данного радиуса согласно ПТЭ, то за окончательную принимается ширина колеи по ПТЭ. Во всех случаях она должна быть меньше $S_{\max} = 1548$ мм.

Пример.

Определить $S_{\text{отг}}$ и $S_{\text{мин}}$ при вписывании электровоза ЧС4 в кривую. $R = 1400$ м. Скорости на участке установлены до 120 км/ч.

$$S_{\text{отг}} = K_{\max} + f_n - \sum \eta + 4;$$

$$f_n \approx (\lambda + b_1)^2 / 2R; \quad b_1 \approx \lambda \frac{r}{R} \operatorname{tg} \tau; \quad \lambda = L_0.$$

Из табл. 7 имеем: $K_{\max} = 1509$ мм, из табл. 8: $\lambda = L_0 = 4600$ мм; $r = 625$ мм; $\sum \eta = 10$ мм;

$$b_1 = 4600 \frac{625}{1400000} \operatorname{tg} 70^\circ = 4600 \frac{625}{1400000} 2,747 = 6 \text{ мм};$$

$$f_n = \frac{(4600 + 6)^2}{2 \cdot 1400000} = 8 \text{ мм};$$

$$S_{\text{отг}} = 1509 + 8 - 0 + 4 = 1511 \text{ мм};$$

$$S_{\text{мин}} = K_{\max} + f_n - \sum \eta + 4 + \delta_{\text{мин}}.$$

Из табл. 7: $\delta_{\text{мин}} = 7$ мм; $\lambda = 2300$ мм;

$$b_1 = 2300 \frac{625}{1400000} 2,747 = 3 \text{ мм};$$

$$f_n = \frac{(2300 + 3)^2}{2 \cdot 1400000} = 2 \text{ мм};$$

$$S_{\min} = 1509 + 2 - 10 + 4 + 7 = 1512 \text{ мм}.$$

Согласно ПТЭ в кривой $R = 1400$ м устанавливается ширина колеи 1520 мм.

Таблица 7

Размеры колесных пар подвижного состава

Скорость движения, км/ч	Наименование колес	q+μ, мм	T, мм	K, мм	δ, мм
До 120	Локомотивные	33/25	1443/1437	1509/1487	39/7
	Вагонные	34/26	1443/1437	1511/1489	37/5
	Локомотивные	33/28	1443/1439	1509/1495	31/7
121-140	Вагонные	34/29	1443/1439	1511/1497	29/5

Примечание: в числителе — максимальные значения, в знаменателе — минимальные.

Таблица 8

Некоторые расчетные параметры локомотивов и вагонов

Единица подвижного состава	База тележки, L_0 , мм	Разбег $\Sigma \eta$, мм	Радиус колеса r , мм
ВЛ23	4400	6	600
ВЛ60	4600	17	625
ЧС4	4600	10	625
ТЭ3	4200	12	525
2ТЭ10Л	4200	12	525
Тележка ЦНИИ-ХЗ	1850	0	475
Тележка ЦМВ	2700	0	475
Тележка КВЗ	2400	0	475

ЛИТЕРАТУРА

Основная

1. Крейнис З.Л., Певзнер В.О. Железнодорожный путь: Учеб. / Под ред. З.Л. Крейниса. — М.: Учебно-метод. центр по образованию на ж.-д. трансп., 2009. — 431 с.
2. Никонов А.М. Железнодорожный путь на искусственных сооружениях: Уч. пос. — М.: ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2007. — 292 с.
3. Расчеты и проектирование железнодорожного пути: Уч. пос. / Под ред. В.В. Виноградова, А.М. Никонова. — М.: Маршрут, 2003. — 485 с.
4. Глюзберг Б.Э. Расчет и проектирование скоростных стрелочных переводов и съездов: Уч. пос. — М.: РГОТУПС, 2002. — 54 с.
5. Железнодорожный путь: Учеб. / Т.Г. Яковлева и др. — 2-е изд., с изм. и доп. — М.: Транспорт, 2001. — 407 с.

Дополнительная

6. Инструкция по текущему содержанию железнодорожного пути / МПС России. ЦП-774. — М.: Транспорт, 2000. — 224 с.
7. Инструкция по содержанию земляного полотна железнодорожного пути / МПС России. ЦП-544. — М.: Транспорт, 1998. — 189 с.
8. Инструкция по техническому обслуживанию и эксплуатации сооружений, устройств подвижного состава и организации движения на участках обращения скоростных пассажирских поездов / ЦРБ-393. — М.: МПС России; Утв. 19.07.96. — 56 с.
9. Крейнис З.Л., Селезнева Н.Е. Бесстыковой путь. Как устроен и работает бесстыковой путь. — М.: СПО, 2005. — 84 с.
10. Крейнис З.Л. Бесстыковой путь. Как эффективнее содержать бесстыковой путь. — М.: СПО, 2008. — 138 с.

ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ ПУТЬ

Задание на курсовой проект
с методическими указаниями

Редактор *Е.А. Ямщикова*
Компьютерная верстка *Е.Ю. Русалева*

Тип. зак. <i>216</i>	Тираж 300 экз.
Подписано в печать 11.04.12	Гарнитура NewtonС
Усл. печ. л. 2,0	Ризография
	Формат 60×90 _{1/16}

Редакционный отдел
Информационно-методического управления РОАТ,
125993, Москва, Часовая ул., 22/2

Участок оперативной печати
Информационно-методического управления РОАТ,
125993, Москва, Часовая ул., 22/2