С.В.Амелин, Г.Е.Андреев

УСТРОЙСТВО И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ПУТИ

Утверждено
Главным управлением
учебными заведениями МПС
в качестве учебника
для высших учебных заведений
железнодорожного транспорта

МОСКВА "ТРАНСПОРТ" 1986

УДК 625.1(075)

Амелин С. В., Андреев Г. Е. Устройство и эксплуатация пути: Учебник для вузов ж.-д. трансп. — М.: Транспорт, 1986. — 238 с.

В книге описаны конструкции верхнего и нижнего строений пути, соединений и пересечений рельсовых путей; изложены расчет и проектирование рельсовой колеи, расчеты отдельных элементов и узлов конструкций железнодорожного пути; даны основные сведения по организации и механизации содержания и ремонта пути, а также приведено описание путевых машин и механизмов.

Для студентов вузов железнодорожного транспорта и может служить пособием для инженерно-технических работников — путейцев.

Ил. 155, табл. 24, библиогр. 15 назв.

Книгу написали:
проф. С. В. Амелин — введение, части I—V;
проф. Г. Е. Андреев — часть VI.

Рецензенты: кандидаты техн. наук Е. И. Войтович, И. Б. Лехно, инж. В. Л. Конюшевский

Заведующий редакцией В. Г. Пешков

Редактор В. В. Цылев

А $\frac{3602020000-275}{049(01)-86}$ 115-86

© Издательство «Транспорт», 1986

ВВЕДЕНИЕ

Железнодорожный путь—это комплекс инженерных сооружений для пропуска по нему поездов с нужной скоростью. Он представляет собой основу железных дорог. От состояния пути зависят непрерывность и безопасность движения поездов, а также эффективное использование всех технических средств железных дорог.

Железнодорожный путь состоит из верхнего и нижнего строений. К верхнему строению относят рельсы, скрепления, противоугонные приспособления, шпалы или другое подрельсовое основание, балластный слой и соединения рельсовых путей. К нижнему строению относят земляное полотно, мосты, трубы для пропуска воды под земляным полотном, подпорные стены, тоннели и др.

Железнодорожный путь работает в трудных условиях. Находясь под воздействием подвижных нагрузок, природных явлений (ветра, влаги, температуры) и органического мира, он должен служить в любое время года, дня и ночи, обеспечивая непрерывность и безопасность движения поездов с установленными скоростями. Для этого путь должен быть всегда исправным и опрятно выглядеть.

Для обеспечения нормальной работы пути и его ремонта на железнодорожном транспорте существует комплекс хозяйственных предприятий и производственных формирований, оснащенных машинами, механизмами, инструментами и приборами. Этот комплекс и собственно железнодорожный путь представляют собой путевое хозяйство. Исходя из условий работы железнодорожного пути и предъявляемых к нему требований основой ведения путевого хозяйства является текущее содержание и выполнение плановых ремонтов пути.

На долю путевого хозяйства приходится более 50% всех основных средств железнодорожного транспорта и свыше 20 % общей численности работников. Эксплуатационные

расходы на содержание пути составляют более 22% стоимости перевозок. Предприятия путевого хозяйства ежегодно расходуют более 2 млрд. руб., которые распределяются так: по плану эксплуатации—42,8%; капитального ремонта—41,0%; капитальных вложений — 2,9%; промышленного производства — 11,1 %; по прочим источникам — 2,2%.

Все это указывает на важнейшую роль и значение путевого хозяйства в системе железнодорожного транспорта. Поэтому за последние годы были выполнены значительные работы по его усилению и совершенствованию.

Основными направлениями дальнейшего развития следует считать: увеличение мощности пути за счет укладки тяжелых рельсов и железобетонных шпал; увеличение протяженности пути на щебеночном и асбестовом балласте; усиление земляного полотна и искусственных сооружений; улучшение технологии производства работ; повышение оснащенности машинами и механизмами и расширение ремонтной базы; реконструкцию существующих и постройку новых предприятий, поставляющих материалы, конструкции элементов пути и искусственных сооружений, машины и механизмы; совершенствование управления и постоянное улучшение условий труда и быта путейцев.

Часть I

ВЕРХНЕЕ СТРОЕНИЕ ПУТИ

В настоящее время на всех железных дорогах мира преобладает путь с верхним строением (рис. I.1), состоящим из рельсов, скреплений, шпал, противоугонных приспособлений, балластного слоя, соединений и пересечений рельсовых путей. Вместе с тем в СССР и ряде других стран изучают и эксплуатируют конструкции, в которых вместо шпал предусматриваются железобетонные плиты или рамы.

Верхнее строение пути предназначено для восприятия нагрузок от колес подвижного состава и передачи их нижнему строению, а также для направления движения колес подвижного состава по рельсовой колее.

Важнейшие требования, предъявляемые к верхнему строению пути, сводятся к следующему: все его элементы должны быть прочными и надежными в работе, обеспечивать безопасное движение поездов с установленными максимальными скоростями; оно должно обладать наибольшим сроком службы и быть недорогим в устройстве и содержании.

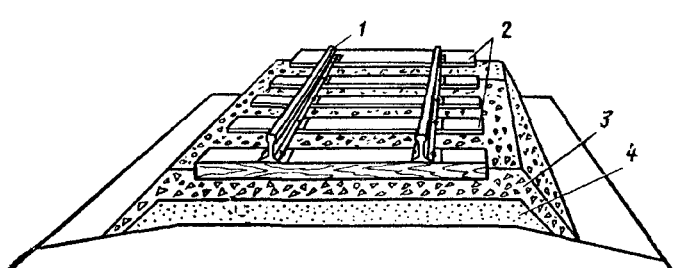


Рис. I.1. Поперечный разрез верхнего строения пути:
1 — рельс; 2 — шпалы; 3 — балласт; 4 — песчаная прослойка

Глава 1. РЕЛЬСЫ

1.1. Назначение рельсов и требования к ним

Рельсы — главный элемент верхнего строения. Они воспринимают давление от колес подвижного состава и передают его нижележащим элементам, а также направляют колеса подвижного состава при его движении. На участках с автоблокировкой рельсы служат проводником сигнального тока, а при электротяге — и обратного тягового тока.

Основные требования к рельсам состоят в том, что они должны быть прочными и устойчивыми; обеспечивать безопасное движение поездов с установленными максимальными скоростями; обладать наибольшим сроком службы; быть недорогими и удобными в изготовлении и эксплуатации.

Конкретно это означает следующее:

в целях обеспечения устойчивости пути при воздействии подвижного состава и температуры рельсы должны быть тяжелыми. В то же время для экономии металла и удобства обращения с ними при изготовлении, перевозках, смене и т. п. рельсы должны быть по возможности легкими;

для лучшего сопротивления изгибу под подвижной нагрузкой рельсы должны быть достаточно жесткими (иметь необходимый момент инерции). Во избежание жестких ударов колес о рельсы, могущих вызвать повреждения ходовых частей подвижного состава, расплющивание и излом рельсов, необходимо, чтобы они были достаточно гибкими;

во избежание изломов рельсов от ударно-динамических воздействий подвижного состава необходимо, чтобы материал их был вязким. Но ввиду того что рельсы воспринимают от колес сосредоточенные силы, требуется, чтобы рельсовый металл не сминался, не сплывал, не истирался и был в меру твердым;

для обеспечения необходимой силы сцепления между рельсами и ведущими колесами локомотивов надо, чтобы поверхность катания рельса была шероховатой. Для уменьшения же сопротивления движению колес необходимо, чтобы его поверхность катания была гладкой;

в целях упрощения ведения путевого хозяйства число типов рельсов должно быть минимальным. Из государствен-

ных же интересов экономии металла нецелесообразно применять рельсы одного и того же типа в различных эксплуатационных условиях, поэтому число типов должно быть минимальным в разумных пределах.

Таким образом, требования и условия, которым должны удовлетворять рельсы, одновременно важны, необходимы и противоречивы. Поэтому, очевидно, оптимальным вариантом будет тот, который применительно к конкретным условиям удовлетворяет большинству названных требований.

1.2. Основные виды рельсов

Прототипом современных рельсов считаются рельсы деревянные, представляющие собой более или менее обработанные бревна (рис. 1.2).

В 1630 г. появились деревянные рельсы прямоугольного сечения (рис. 1.3, *а*). Чтобы уменьшить износ верха и снизить сопротивление движению повозок, такие рельсы-брусья стали покрывать железными полосами небольшой толщины (рис. 1.3, *б*). Видимо, их и можно считать первыми железными рельсами. Во второй половине XVIII в. вместо железных полос начали применять чугунные рельсы корытообразные (рис. 1.4, *а*), а затем (1776 г.) — уголковые чугунные и железные (рис. 1.4, *б*). Следующий этап развития пути представлен конструкцией Джессопа с грибовидными рельсами (рис. 1.5), уложенными в Англии в 1789 г.

Все указанные рельсы предназначались для путей с конной тягой, незначительными нагрузками от экипажей и малыми скоростями движения. Появление паровой, а затем электрической тяги и увеличение нагрузок на оси изменили характер и условия работы рельса, а следовательно, и подход к выбору его профиля и размеров.

Рельс можно рассматривать как балку, лежащую на многих опорах. Лучшая форма балки, работающей на изгиб, — двутавр; эта форма и положена в основу поперечного профиля рельса.

Поскольку поверхность катания рельса при изгибе работает не только на сжатие, но и на износ (истирание), целесообразно в верхней полке двутавра сосредоточить больше материала (с запасом на износ), чем в нижней. Это и обусловило возникновение широкоподошвенного рельса (рис. 1.6). Такой рельс был предложен американцем Стивенсом в

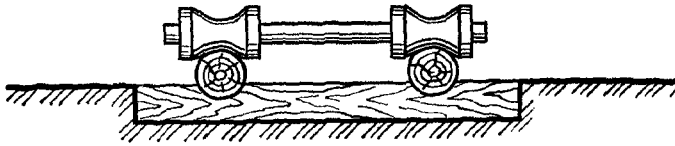


Рис. I.2. Рельсы из бревен

Рис. I.3. Деревянные рельсы прямоугольного сечения:
а — без покрытия; *б* — с металлическим покрытием

Рис. I.4. Чугунные рельсы:
а — корытообразные; *б* — уголковые

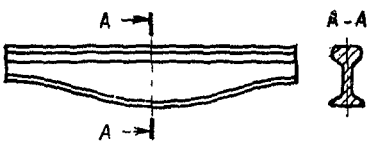


Рис. I.5. Грибовидный короткий железный рельс

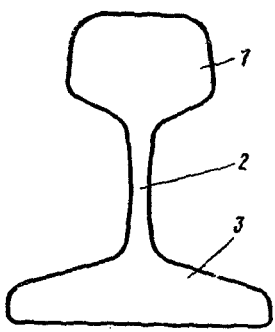


Рис. I.6. Профиль широкоподошвенного рельса:
1 — головка; *2* — шейка; *3* — подошва

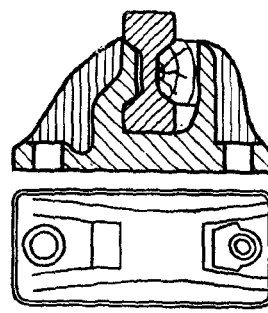


Рис. I.7. Двухголовый рельс

1830 г., а с 1832 г. стал применяться в Англии благодаря Виньолю и получил широкое распространение в Европе под названием виньолевского.

Широкоподошвенный рельс состоит из трех основных частей: головки, подошвы и соединяющей их шейки. Стремление использовать нижнюю полку двутавра в качестве головки после того, как верхняя износится, привело к созданию двухголового рельса (рис. 1.7). Такой рельс, предложенный в 1835 г. в Англии инженером Локке, применялся Стефенсоном при постройке первых английских железных дорог и известен в литературе как стефенсоновский[1]. Однако идея использования нижней головки не могла быть реализована, так как с износом верхней на нижней в местах опирания возникали вмятины. Кроме того, для укладки двухголовых рельсов требовались громоздкие чугунные или стальные опорные стулья массой 30 кг и более. Протяженность железных дорог с двухголовыми рельсами незначительна, в основном они принадлежат Англии. После второй мировой войны и Англия взяла решительный курс на широкоподошвенные рельсы.

Таким образом, широкоподошвенные рельсы в настоящее время наиболее распространены на железных дорогах мира.

1.3. Материал рельсов

Современные рельсы прокатывают только из стальных слитков. Сталь изготовляют в конвертерах по способу Бессемера или в мартеновских печах. Бессемеровскую сталь получают в результате продувки расплавленного чугуна кислородом (15—18 мин). При этом выгорает углерод и часть примесей. Мартеновскую сталь варят из чугуна и стального лома в больших печах емкостью от 200 до 1500 т в течение нескольких часов. Эта сталь чище и менее хладноломка, чем бессемеровская. Рельсы тяжелых типов (Р65 и Р75) прокатывают только из мартеновской стали.

Качество рельсовой стали определяется ее химическим составом, микро- и макроструктурой. Химический состав

---

[1] В России на Царскосельской железной дороге (1837 г.) и на части Варшаво-Венской (1848 г.) сначала уложили тоже двухголовые рельсы; впоследствии их заменили широкоподошвенными.

Тип рельса	Марка стали	Углерод	Марганец	Кремний
Р75 и Р65	М-76	0,71—0,82	0,75—1,05	0,20—0,40
Р50	М-75	0,69—0,80	0,75—1,05	0,20—0,40

стали отечественных рельсов характеризуется добавками к железу в процентах (табл. I.1).

Углерод повышает твердость и износостойкость рельсовой стали. Однако чем выше содержание углерода, тем больше при прочих равных условиях хрупкость стали и затруднительней холодная правка рельсов. Поэтому требуется более равномерное распределение металла по сечению рельса, более жестко должен выдерживаться химический состав, особенно это касается фосфора и серы.

Марганец повышает твердость и износоустойчивость стали, обеспечивая ей достаточную вязкость.

Кремний улучшает качество стали, увеличивая твердость металла и его сопротивляемость износу.

Фосфор и сера — вредные примеси, они придают стали хрупкость: при большом содержании фосфора рельсы получаются хладноломкими, при большом содержании серы — красноломкими.

Мышьяк несколько увеличивает твердость и износостойкость рельсовой стали, но его излишек уменьшает ударную вязкость.

Микроструктура устанавливается под микроскопом с увеличением в 100—200 раз. Компоненты обычной рельсовой стали — феррит, состоящий из свободного от углерода железа Fe, и перлит, который представляет собой смесь феррита и цементита FeC.

Изучение микроструктуры рельсовой стали показывает, что она приобретает способность к значительному сопротивлению износу и вязкость при сорбитовой структуре, которая получается в результате специальной термической обработки.

В настоящее время наибольшее распространение получила объемная закалка рельсов. Она повышает пластичность и вязкость, увеличивает усталостную прочность и стойкость

Таблица 1.1

Фосфор	Сера	Мышьяк	Временное сопротивление, МПа (кгс/мм²), не менее	Относительное удлинение, %
≤0,035	≤0,045	≤0,15	885 (90)	4
≤0,035	≤0,045	≤0,18	765 (88)	5

рельсов против образования поперечных усталостных изломов. Эксплуатационная стойкость таких рельсов в 1,3—1,5 раза выше эксплуатационной стойкости незакаленных рельсов. По технико-экономическим расчетам ВНИИЖТа, использование объемнозакаленных рельсов с среднем за год на 1 км пути дает экономию 800—1000 руб.

Важнейшее значение для качества рельсовой стали имеет ее макроструктура (строение в изломе при рассмотрении невооруженным глазом или при помощи лупы). Сталь должна иметь однородное мелкозернистое строение без шлаковин, волосовин, плен, следов неоднородного распределения химических добавок по сечению. Улучшение качества достигается строгим соблюдением технических условий и непрерывным совершенствованием технологии изготовления стали и проката рельсов. Плотность рельсовой стали в СССР принята равной 7,83 т/м³.

1.4. Форма и размеры рельсов

Профиль рельсов обусловлен взаимодействием его с колесами подвижного состава. Поверхность катания головки (рис. 1.8) всегда делают выпуклой, чтобы обеспечить наиболее благоприятную передачу давления от колес. Для рельсов типов Р75, Р65 и Р50 больший радиус R_1 этой поверхности принят равным 300 мм. К граням кривизна изменяется до радиуса R_2, равного 80 мм. В рельсах типа Р43 поверхность катания головки рельса очерчена одним радиусом R_1.

Поверхность катания сопрягается с боковыми гранями головки по кривой радиусом r_1 (см. рис. 1.8), по величине близким к радиусу выкружки бандажа. В рельсах типов Р75, Р65 и Р50 r_1 равен 15 мм.

Боковые грани головки или вертикальны, или наклонны. У рельсов типов Р75, Р65 и Р50 этот наклон ($1 : k$) принят равным 1 : 20. Боковые грани головки стремятся сопрягать с нижними наименьшими радиусами r_2, равными 1,5—4 мм. Это делается для того, чтобы опорная поверхность для накладок была наибольшей. По этим же соображениям принимают такими же и радиусы r_6 и r_7.

Опорными поверхностями для накладок служат нижние грани головки и верхние грани подошвы рельса. В настоящее время наиболее распространены такие углы α, при которых $\operatorname{tg} \alpha = 1 : n$ для рельсов типов Р75, Р65 и Р50 составляет 1 : 4.

Сопряжение нижних граней головки с шейкой должно обеспечивать достаточную опорную поверхность для накладки и наиболее плавный переход от толстой головки к сравнительно тонкой шейке в целях снижения местных напряжений и равномерности остывания рельсов при прокатке. В рельсах типов Р75, Р65 и Р50 приняты $r_3 = 5 \div 7$ мм и $r_4 = 10 \div 17$ мм.

Шейка современного рельса имеет криволинейное очертание радиусом $R_ш$ (от 350 до 450 мм для отечественных рельсов), которое в наибольшей мере обеспечивает плавность перехода от шейки к подошве и головке.

Сопряжение шейки с подошвой выполнено радиусом r_5, величина которого диктуется теми же соображениями, что и величины радиусов r_3 и r_4. Переход к наклонной верхней поверхности подошвы у рельсов типов Р75, Р65 и Р50 сделан по радису r_5, равному 15—25 мм.

Длина рельсов. На дорогах мира стремятся шире применять длинные рельсы и сварные рельсовые плети. За счет этого уменьшается число стыков, что улучшает условия взаимодействия пути и подвижного состава, дает большой экономический эффект. Например, если вместо рельсов типа Р65 длиной 12,5 м уложить рельсы того же типа, но длиной 25 м, то за счет уменьшения потребности в стыковых скреплениях на каждых 1000 км будет сэкономлено 3902 т металла. Кроме того, уменьшение числа стыков примерно на 10% снизит сопротивление движению поездов, уменьшит износ колес подвижного состава и расходы на текущее содержание пути.

Стандартная длина современных рельсов в различных странах колеблется от 10 до 60 м: в СССР 25 м; в ЧССР 24 и 48 м, в ГДР и ФРГ 30, 45 и 60 м; во Франции 18, 24 и 36 м;

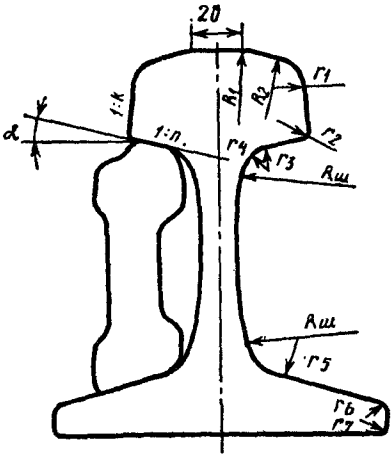


Рис. I.8. Современный широкоподошвенный рельс

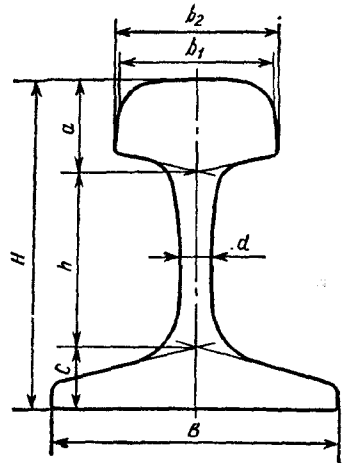


Рис. I.9. Основные размеры современного рельса (к табл. I.3)

в Англии 18, 29 м; в Японии 25 м; в США 11, 89 и 23, 96 м. В СССР для стрелочных переводов в ограниченном количестве прокатывают рельсы длиной 12,5 м.

Кроме рельсов стандартной длины, применяют и укороченные для укладки на внутренних нитях кривых участков пути. В СССР такие рельсы имеют укорочение на 80 и 160 мм, а при длине 12,5 м — на 40, 80 и 120 мм.

Масса рельсов определяется из следующих соображений:

чем больше нагрузки на ось железнодорожного экипажа, скорости движения поездов и грузонапряженность линии, тем большей при прочих равных условиях должна быть масса рельса q;

чем больше масса рельса q, тем меньше при прочих равных условиях эксплуатационные расходы на грузонапряженных линиях (на содержание пути, на сопротивление движению поездов).

В настоящее время имеются различные предложения по определению массы рельса эмпирически, в зависимости от ограниченного количества факторов. Проф. Г. М. Шахунянц предложил определять массу рельса в зависимости от вида подвижного состава, грузонапряженности линии,

Таблица I.2

T_{max}	$(1+\sqrt[4]{T_{max}})$	v	$(1+0{,}012v)^{2/3}$	P	$P^{2/3}$
15	2,96	20	1,15	18	6,87
20	3,11	30	1,23	18	6,87
25	3,24	40	1,30	20	7,37
30	3,34	50	1,37	21	7,61
40	3,52	60	1,44	21	7,61
50	3,66	70	1,50	23	8,09
60	3,78	80	1,57	23	8,09
70	3,89	90	1,63	25	8,55
75	3,94	100	1,69	25	8,55
90	3,99	110	1,75	25	8,55
95	4,08	120	1,81	26	8,78
100	4,16	140	1,93	27	9,00
125	4,34	160	2,04	28	9,22
150	4,50	180	2,15	29	9,44
175	4,64	200	2,26	30	9,65
200	4,75	250	2,52	32	10,08

скорости движения поездов и статической нагрузки на ось локомотива по выражению

$$q = a\,(1+\sqrt[4]{T_{max}})\,(1+0{,}012\,v)^{2/3}\,P^{2/3}, \qquad (I.1)$$

где a — коэффициент, равный 1,20 для вагонов и 1,13—для локомотивов;

T_{max} — грузонапряженность, млн. т·км/км в год;

v — скорость движения поездов, на которую рассчитывается конструкция пути, км/ч;

P — статическая нагрузка на ось локомотива, тс.

Численные значения, входящие в формулу (I.1), можно брать из табл. I.2, составленной Г. М. Шахунянцем.

Окончательно массу рельса выбирают на основании расчетов на прочность и экономической целесообразности. Масса стандартных рельсов в СССР принята 44—75 кг/м. Их основные характеристики приведены в табл. I.3 и обозначены на рис. I.9. Рельсы Р43 прокатывают в ограниченном количестве для стрелочных переводов.

На железных дорогах других стран рельсы имеют массу, кг/м:

США . . . . . 30—77
Англия:
двухголовые . . . . . 29,66—49,53
широкоподошвенные . . . . . 22,37—56,5
Франция и Бельгия . . . . . 30—62
ГДР и ФРГ . . . . . 30—64

Таблица 1.3

Показатели	Типы рельсов			
	Р43	Р50	Р65	Р75
Масса 1 м, кг	44,65	51,63	64,64	74,44
Высота, мм:				
общая H	140	152	180	192
головки a	42	42	45	55,3
шейки h	71	83	105	104,4
подошвы c	27	27	30	32,3
Ширина головки, мм:				
по верху b_1	70	70	72,8	71,3
по низу b_2	70	71,9	75	75
Ширина подошвы B, мм	114	132	150	150
Минимальная толщина шейки d, мм	14,5	16	18	20
Площадь поперечного сечения рельса, см^2	57,0	65,9	82,6	95,1
Распределение площади по частям сечения, %:				
головка	42,8	38,2	34,2	36,4
шейка	21,3	24,4	28,4	26,9
подошва	33,9	37,4	37,4	36,7
Момент инерции относительно оси, см^4:				
горизонтальной	1489	2018	3548	4490
вертикальной	260	375	569	661
Момент сопротивления, см^3:				
по низу подошвы	217	286	436	509
по верху головки	208	248	359	432

1.5. Экономическая эффективность применения тяжелых рельсов

Эффект от использования тяжелых рельсов заключается в их долговечности, снижении расхода материалов, уменьшении сопротивления движению поезда и сокращении затрат на текущее содержание пути. По данным ВНИИЖТа, если за базу взять рельс типа Р50, то увеличение его массы на 1 кг снижает затраты труда на текущее содержание пути на 1,5—1,8% и уменьшает расход материалов до 1,4%.

Более тяжелый рельс распределяет давление колес подвижного состава на большее количество шпал, вследствие чего уменьшается давление на каждую шпалу, замедляется

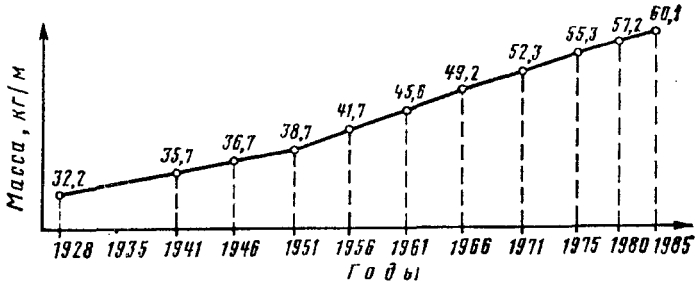


Рис. I.10. Изменение средней массы рельсов главных путей в СССР

механический износ и увеличивается срок их службы. Одновременно снижается динамическое давление на балласт, уменьшается истирание, измельчение частиц балласта и его загрязнение.

С увеличением массы рельсов реже возникает надобность в среднем и подъемочном ремонтах пути. По тяжелым рельсам можно перевезти и больше грузов. Так, рельсы Р50 на 15%, а Р65 на 45% тяжелее рельсов Р43, но рельсы Р50 за время службы могут пропустить тоннаж в 1,5 раза, а Р65 в 2 раза больше, чем Р43. С возрастанием массы рельсов уменьшается расход металла на единицу пропускаемого тоннажа и сокращаются затраты на замену рельсов (капитальный ремонт), снижаются сопротивление движению поездов и расходы на тягу.

При экономических расчетах по выбору типа рельса предпочтение отдается рельсу, для которого годовая сумма приведенных строительных и эксплуатационных расходов $\Sigma Э_{пр}$ при нормированном сроке окупаемости t_n является наименьшей. Она определяется по формуле

$$\Sigma Э_{пр} = A + \sum_{i=1}^{n} Bi, \qquad (I.2)$$

где A — строительные расходы (стоимость укладки рельсов);
B_i — эксплуатационные расходы i-го года.

Сроки окупаемости дополнительных капиталовложений на укладку тяжелых рельсов невелики — обычно 1,5—4,5 года. Поскольку применять тяжелые рельсы очень выгодно, в СССР их средняя масса ($q_{ср}$) постоянно увеличивается (рис. I.10).

На основании исследований ВНИИЖТа Главное управление пути МПС рекомендует порядок применения рельсов различной массы в зависимости от грузонапряженности (годового тоннажа) $T_г$, млн. т·км/км в год: $T_г > 80$ — Р75; $15 \leqslant T_г \leqslant 80$ — Р65; $T_г < 15$ — Р50.

1.6. Сроки службы рельсов

Ожидаемые сроки службы рельсов определяют как для целесообразного ведения путевого хозяйства (например, чтобы знать периодичность смены рельсов), так и для их технико-экономической оценки.

Рельсы выходят из строя по износу и дефектам. Их следует изымать из пути при износе на определенную допустимую величину; по этому фактору и определяется срок службы. Допустимый износ z_0 (рис. 1.11) головки рельса устанавливают таким образом, чтобы поперечное сечение рельса после износа на величину площади ω_0 обеспечило допускаемые напряжения, и чтобы при изношенных бандажах колес гребни не задевали гайки и головки болтов в стыках рельсов или за части двухголовых накладок, выступающих за головку рельса. Согласно рис. 1.11

$$\omega_0 = bz_0 - \Delta, \qquad (1.3)$$

где b — ширина головки рельса;

z_0 — нормированный предельный износ головки рельса, принимаемый в СССР по ПТЭ (п. 3.14) для участков, где обращаются пассажирские поезда со скоростью от 121 до 140 км/ч на главных путях, для рельсов типа Р65 — 9 мм, а для участков, где обращаются пассажирские поезда со скоростью до 120 км/ч и грузовые до 90 км/ч, — 12 мм;

Δ — учитывает разницу очертания головки и воображаемого прямоугольника, которую принимают равной 70 мм².

Принято считать, что допустимый износ головки рельса прямо пропорционален количеству прошедшего по дан-

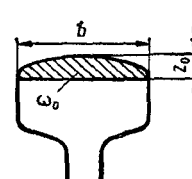


Рис. 1.11. Поперечное сечение головки рельса (заштрихована допустимая площадь износа)

Таблица 1.4

Радиус кривой, м	Тип рельсов		
	Р43	Р50	Р65 и Р75
300	5,89	4,42	3,87
400	4,35	3,26	2,86
500	3,17	2,38	2,08
600	2,47	1,85	1,62
700	1,79	1,34	1,17
800	1,42	1,01	0,93
900	1,29	0,97	0,85
1000	1,22	0,91	0,80
1100	1,14	0,86	0,75
1200	1,11	0,83	0,73
1300 и более	1,09	0,81	0,71

ному рельсу груза T млн. т брутто за период этого износа, т. е. $\omega_0 = \beta T$, откуда

$$T = \omega_0/\beta, \tag{I.4}$$

где β—удельный износ поперечного сечения головки рельса от прохода 1 млн. т груза брутто, мм².

Величина β определяется для конкретных условий службы рельсов с выполнением тяговых расчетов и учетом качества рельсовой стали. Для приближенных расчетов можно использовать среднесетевые значения $\beta_{ср}$ (мм²/млн. т брутто), полученные ВНИИЖТом (табл. I.4).

Поскольку износ объемнозакаленных рельсов происходит в 1,3—1,5 раза медленнее, чем незакаленных, величину $\beta_{ср}$ для первых следует скорректировать коэффициентом α, равным примерно 0,65—0,5.

Таким образом, зная ω_0 и $\beta_{ср}$, можно по формуле (I.4) найти тоннаж T, который могут пропустить рассматриваемые рельсы за весь срок службы. При этом если грузонапряженность (годовой тоннаж) $T_г$ данной линии известна и постоянна, то срок службы рельсов в годах на этой линии можно найти так:

$$t = \frac{T}{T_г} = \frac{\omega_0}{\beta_{ср} T_г}. \tag{I.5}$$

Но так как грузонапряженность на наших железных дорогах ежегодно увеличивается, то срок службы рельсов на данной линии по наработке прошедшего тоннажа

$$T=\sum_{i=1}^{i=t} T_i = T_1+T_2+T_3+\ldots+T_t, \qquad (1.6)$$

где $T_1, T_2, T_3, \ldots, T_t$ — соответственно тоннаж в первый, второй, третий, t-й год после укладки рельсов.

Несмотря на повышение износоустойчивости рельсов, их приходится заменять раньше достижения нормативного износа из-за одиночного выхода из строя по дефектам. Выход рельсов по дефектам происходит как из-за нарушения или несовершенства технологии изготовления, так и по условиям их эксплуатации.

При установлении сроков службы рельсов принимают за допускаемый суммарный одиночный их выход из строя по дефектам: Р50 — 6 шт., а Р65 и Р75 — 5 шт. на 1 км пути или наибольший годовой выход для этих рельсов — 2 шт. на 1 км.

Срок службы между капитальными ремонтами пути в млн. т брутто исходя из одиночного выхода рельсов по дефектам $T_{од}$ Г. М. Шахунянц предложил определять по формуле

$$T_{од}=\lambda_р \frac{1,2-\frac{2,5}{l_р}}{156\left(1+\frac{A\alpha_{луб}}{R}\right)} \sqrt{\frac{P_{дн}}{P_с} q_р^5 \gamma_{норм}}, \qquad (1.7)$$

где $\lambda_р$ — коэффициент, учитывающий качество рельсовой стали, для незакаленных рельсов $\lambda_р = 1$, а для объемнозакаленных $\lambda_р = 1,5$;

$\left(1+\frac{A\alpha_{луб}}{R}\right)$ — член, учитывающий влияние кривизны пути и лубрикации (смазки); при $R \geqslant 1200$ м $A = 0$ и при $R < 1200$ м $A = 800$; при отсутствии смазки боковых граней головки рельсов и гребней колес $\alpha_{луб} = 1$, при смазке графитомолибденовыми карандашами или для графитовой смазки на солидоловой основе $\alpha_{луб} = 0,2$;

$\left(1,2-\frac{2,5}{l_р}\right)$ — член, учитывающий влияние длины рельсов (плети);

$P_{дн}$ — средняя по тоннажу нормативная нагрузка на рельс от оси колесной пары, установленная в 1964 г. при принятии нормативного срока службы незакаленных рельсов (для Р50 — 350 млн. т груза брутто, для Р65 — 500 млн. т груза брутто), равная для рельсов

Р50: $P_{дн} = (1 + 0{,}012v_i)\, q_{он} = (1 + 0{,}012 \cdot 50)\, 14 \cdot 9{,}8 = 228{,}6$ кН и для рельсов Р65: $P_{дн} = (1 + 0{,}012 \cdot 60) \times 18 \cdot 9{,}8 = 303{,}8$ кН;

P_c — средневзвешенная по тоннажу исполненная нагрузка на рельс от оси колесной пары, кН;

$q_р$ — масса рельса, кг/м;

$\gamma_{норм}$ — нормативное значение допускаемого одиночного изъятия рельсов по дефектам (Р50 — 6 шт., Р65 и Р75 — 5 шт. на 1 км пути);

$q_{он}$ — средняя нагрузка на рельс от оси колесной пары, зависящая от типа рельса.

Из двух значений, найденных по формулам (I.4) и (I.7), для расчета следует принимать наименьшее.

Ограничение срока службы рельсов по одиночному их выходу признать нормальным нельзя, поэтому главнейшая задача — проведение мероприятий, позволяющих увеличить срок службы рельсов согласно их мощности до полного расчетного износа. Этого можно добиться благодаря улучшению качества рельсового металла, в том числе за счет термической обработки; применению бесстыкового пути со сварными рельсовыми плетями увеличенной длины; наплавке изношенных рельсовых концов; улучшению конструкции верхнего строения пути в целом; применению лубрикаторов, смазывающих боковые грани головки рельсов в кривых; улучшению текущего содержания рельсов и пути в целом.

Глава 2. РЕЛЬСОВЫЕ СКРЕПЛЕНИЯ

I.7. Назначение скреплений и требования к ним

Скрепления служат для прикрепления рельсов к подрельсовому основанию, соединения рельсов в стыках, восприятия нагрузок от подвижного состава вместе с другими элементами верхнего строения пути.

В соответствии с этим скрепления должны быть прочными, надежно прикреплять рельсы к опорам, обеспечивать неизменность ширины колеи и надежное соединение рельсов в стыках, способствовать упругой переработке динамических воздействий на путь колес подвижного состава, быть малоэлементными, простыми и удобными в изготовлении,

монтаже и содержании, быть недорогими в изготовлении и эксплуатации, обладать достаточно большим сроком службы.

Рельсовые скрепления делят на две группы: I — промежуточные, предназначенные для прикрепления рельсов к опорам; II — стыковые, предназначенные для соединения рельсов между собой.

1.8. Промежуточные скрепления

По конструкции промежуточные скрепления бывают нераздельные, раздельные и смешанные. При нераздельном скреплении рельс и подкладка прикрепляются к опоре одними и теми же деталями. При раздельном скреплении подкладка прикрепляется к опоре отдельно, а рельс другими деталями прикрепляется к подкладке. При смешанном скреплении часть деталей соединяет совместно рельс и подкладку с опорой, а часть отдельно прикрепляет подкладки к опоре.

Вид промежуточного скрепления и его конструкция зависят от типа подрельсовых опор.

Скрепления при деревянных шпалах могут быть всех трех типов: нераздельные, раздельные и смешанные. Среди нераздельных различают костыльные и шурупные.

Костыльное скрепление (рис. 1.12, *а*) применяют в СССР и США в основном при звеньевом пути. Главные преимущества такого скрепления — его простота, сравнительно небольшая масса. Оно удобно при сборке и разборке рельсо-шпальной решетки. Недостаток—невозможность плотной связи

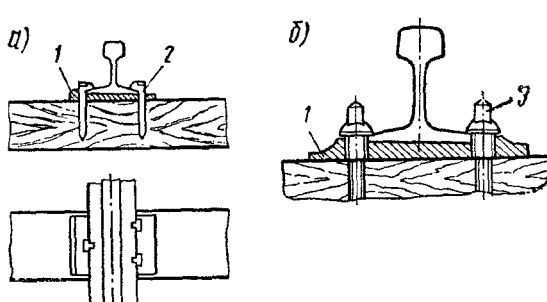


Рис. 1.12. Промежуточные скрепления:
а — костыльное; *б* — шурупное; *1* — подкладка; *2* — костыль; *3* — шуруп

подкладок со шпалами, так как при работе под подвижной нагрузкой костыли наддергиваются, что способствует вибрации подкладок, ускоряющей износ шпал и снижающей сопротивляемость угону пути.

Шурупное скрепление (рис. 1.12, *б*) применяется, главным образом, в Западной Европе. Оно лучше, чем костыльное скрепление, связывает рельс со шпалой. К его недостаткам относят неизбежную, хотя и меньшую , чем при костылях, вибрацию подкладок, малую сопротивляемость угону пути, а также большую трудоемкость при перешивках. Сопротивление шурупов выдергиванию в 1,5—2 раза больше, чем костылей, а отжатию — меньше примерно на 40—50%.

Костыли широко применяются в СССР, Японии, Китае, в Скандинавских странах. В СССР используются костыли сечением 16 × 16 мм (рис. 1.13), длиной 165 мм, а также 205, 230 и 280 мм (пучинные). В среднем сопротивление выдерги-

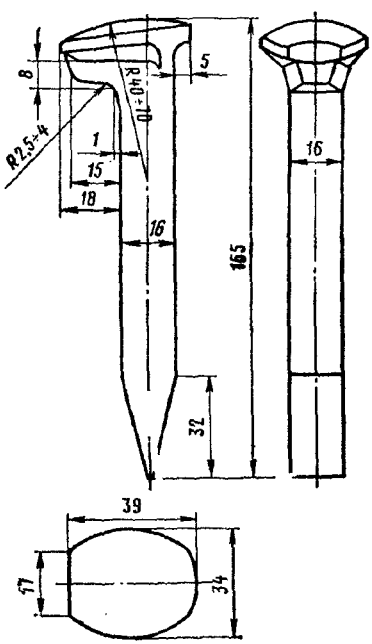


Рис. 1.13. Костыль

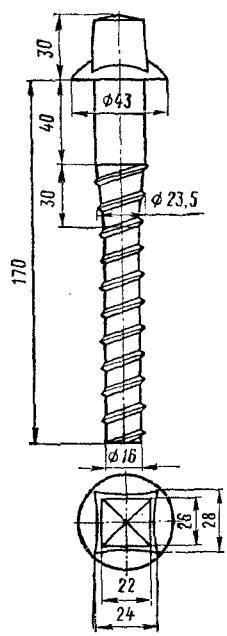


Рис. 1.14. Шуруп

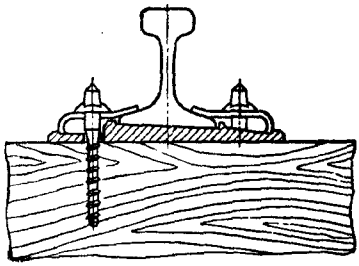


Рис. I.15. Нераздельное шурупное промежуточное скрепление с пружинящей клеммой

ванию костыля из новой сосновой шпалы составляет около 20 кН (2000 кг), а отжатию — около 15 кН (1500 кгс).

Шурупы широко применяются в СССР, Франции, Англии, Голландии, Венгрии, Румынии. В СССР путевые и стрелочные шурупы (рис. I.14) имеют диаметр 22 и 24 мм, длину 170 и 150 мм, сопротивление выдергиванию 30—70 кН (3000—7000 кгс), а отжатию 9 кН (900 кгс).

Описанные скрепления считаются жесткими. При их работе под подвижным составом неизбежно нарушается связь между соединяемыми деталями, что приводит к расстройству и повышенному износу элементов верхнего строения. Для восприятия высоких динамических нагрузок, которыми характеризуется работа пути в современных условиях, необходимо обеспечить упругую связь между рельсом, подкладкой и опорой с постоянным прижатием рельса к подкладке. Поэтому в СССР и за рубежом испытывают разнообразные конструкции пружинных скреплений. В США имеются пружинные костыли, в Англии— скрепления типа «Макбет» имеющие W-образную форму. Интересной конструкцией нераздельного скрепления, обеспечивающей плотное прижатие подкладки к шпале и упругое поглощение ударов, является шурупное скрепление с пружинящей клеммой (рис. I.15). Подобные скрепления применяют в Венгрии и во Франции.

Раздельное скрепление при деревянных шпалах может быть с жесткими и пружинными клеммами. При шурупном скреплении с жесткими клеммами (рис. I.16) марки К подкладка крепится к шпале четырьмя шурупами, а рельс к подкладке — двумя жесткими клеммами посредством болтов с пружинными шайбами. При пружинном раздельном скреплении и деревянных шпалах (рис. I.17) подкладка прикрепляется к шпале четырьмя шурупами, а рельс к под-

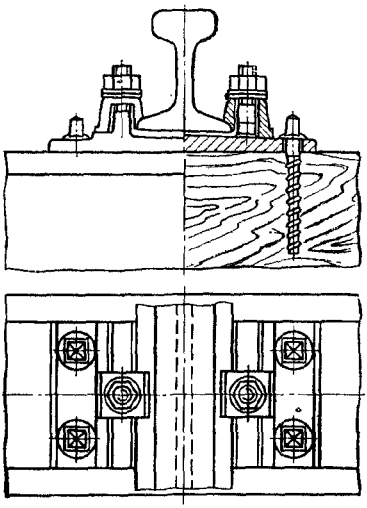


Рис. I.16. Скрепление марки К при деревянных шпалах

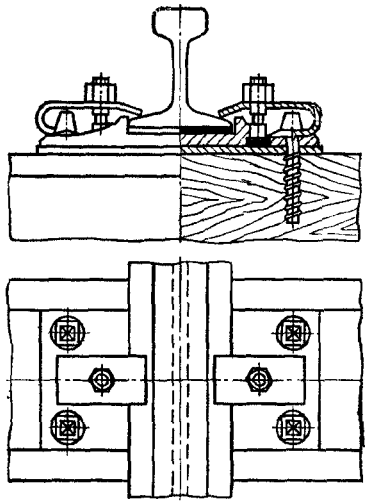


Рис. I.17. Раздельное пружинное скрепление при деревянных шпалах

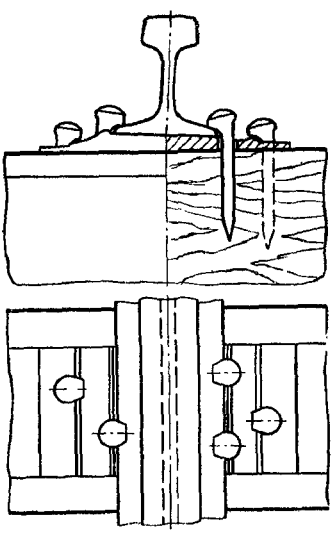


Рис. I.18. Смешанное костыльное скрепление при деревянных шпалах

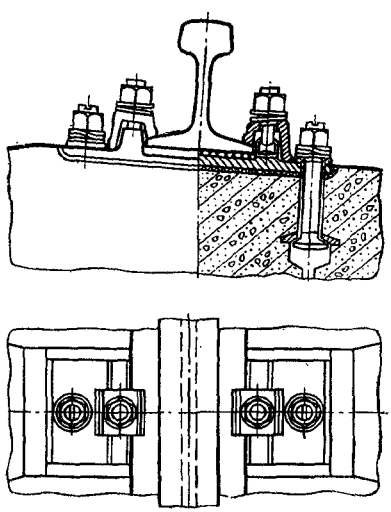


Рис. I.19. Скрепление КБ при железобетонных шпалах

кладке — двумя пружинными клеммами посредством болтов.

Раздельные скрепления имеют ряд существенных достоинств: клеммы обеспечивают сильное прижатие рельсов к подкладке, уменьшается вибрация подкладок, появляется возможность заменять рельсы без снятия подкладок.

К недостаткам раздельного скрепления относятся многодетальность (например, скреплеиие типа К имеет 14 деталей); большая металлоемкость (масса скреплений К-4 к рельсам Р50 составляет 46 % массы рельсов); большая трудоемкость при смене рельсов.

Исследования проф. В. Я. Шульги показали, что раздельные скрепления с пружинной клеммой (см. рис. I.15) по суммарным годовым расходам экономичнее, чем раздельные скрепления типа К.

Смешанное скрепление при деревянных шпалах в СССР используется для рельсов типов Р43, Р50 (рис. I.18), Р65 и Р75. Оно существенно снижает вибрацию подкладок, малодетально, легче и дешевле раздельного. Основной недостаток — слабая сопротивляемость угону пути. Эти скрепления широко распространены в США.

Скрепления при железобетонных шпалах почти все раздельного типа. В раздельном скреплении КБ (рис. I.19) подкладка прикрепляется к железобетонной шпале двумя закладными болтами, а рельс к подкладке — двумя жесткими клеммами посредством болтов с шайбами. Наличие прокладки под подошвой рельса позволяет регулировать положение рельсов по высоте до 12—14 мм. В СССР с 1970 г. вместо одновитковых начали применять двухвитковые шайбы.

Наряду с совершенствованием скрепления КБ испытывается болтовое подкладочное скрепление новой конструкции типа БП (рис. I.20), разработанной ВНИИЖТом. Для лучшего восприятия горизонтальных сил края подкладок закруглены, высота реборд увеличена до 40 мм, что позволит регулировать положение рельса по уровню до 18 мм. Из четырех болтов оставлено только два. Пружинная клемма имеет бо́льшие плечо и гибкость. Амортизирующие резиновые прокладки устанавливают под металлическую подкладку и под подошву рельса. Концы прокладок в зоне выкружек сделаны толще на 3 мм.

Раздельное скрепление ЖБ (рис. I.21) применяют на дорогах Юга и Северного Кавказа. В этом скреплении нет

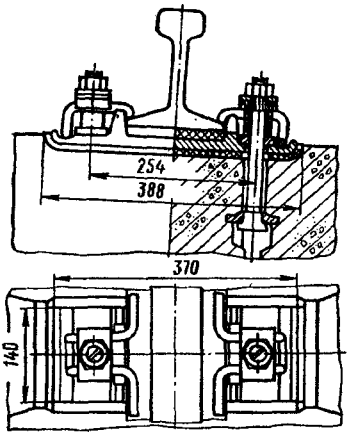


Рис. I.20. Скрепление БП

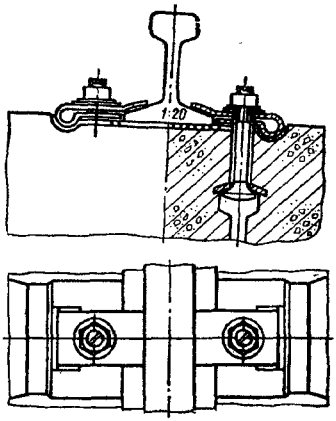


Рис. I.21. Скрепление ЖБ

подкладки, а рельс прикрепляется к шпале пружинными клеммами посредством двух закладных болтов. Плоская пружинная клемма совместно с упругой прокладкой хорошо воспринимает вертикальные перемещения рельсов, на прямых участках и в пологих кривых обеспечивается стабильность ширины колеи. Отсутствие подкладок позволяет экономить на 1 км до 30 т металла. Из-за отсутствия объединяющего элемента (подкладки) применять скрепление ЖБ в крутых кривых ($R < 600$ м) нецелесообразно. Наблюдения показали, что в таких кривых интенсивность изменения ширины колеи в связи с выходом из строя подклеммных и подрельсовых резиновых прокладок существенно возрастает, в результате чего увеличивается объем регулировочных работ.

Раздельные скрепления (при деревянных и железобетонных шпалах с клеммными болтами требуют больших затрат труда на подтягивание гаек. На 1 км пути при 1840 шпалах число болтов достигает 14 720. Поэтому ведутся исследования по созданию безболтовых скреплений.

Технико-экономические расчеты, проведенные МИИТом, показали существенные преимущества раздельного скрепления с упругими клеммами. Несмотря на то, что первоначальные затраты больше, чем при костыльном смешанном скреплении, оно выгодно, если учитывать ежегодные эксплуатационные расходы.

Срок службы скреплений зависит от их конструкции и от эксплуатационных условий. По данным Г. М. Шахунянца, при грузонапряженности 10 и 60 млн. т·км/км брутто в год типовое костыльное скрепление служит соответственно 21—24 года и 12—15 лет, а раздельное 21—27 и 11—16 лет. Прокладки служат значительно меньше.

1.9. Стыки и стыковые скрепления

Стыками называют места соединения рельсов между собой. При проходе подвижного состава по стыку из-за зазора между рельсами ударно-динамическое воздействие на путь увеличивается, поэтому стык считается самым напряженным местом в пути. При длине рельсов 12,5 м около 35—50% затрат труда уходит на выправку пути в зоне стыков. Стыки создают и значительное сопротивление движению поездов (около 10 % основного).

По расположению стыков относительно опор наиболее распространены стыки на весу и стыки на сдвоенных шпалах.

Стык на весу (рис. 1.22) зарекомендовал себя как упругий, при нем износ рельсовых концов меньше, чем при других стыках. Он в СССР принят как стандартный и широко распространен на железных дорогах многих стран. На дорогах СССР стыковой пролет, т. е. расстояние между осями двух ближайших к стыку шпал, принят равным 420 мм при рельсах типов Р75 и Р65, 440 мм при Р50, 500 мм при рельсах типов Р43 и Р38. Недостаток стыка на весу состоит в том, что из-за большого прогиба рельсовых концов накладки работают на изгиб в более тяжелых условиях, чем в стыках на сдвоенных шпалах.

Стык на сдвоенных шпалах (рис. 1.23) обладает большой сопротивляемостью горизонтальным и вертикальным перемещениям. В СССР такие стыки используют редко. В ГДР, ФРГ, во Франции и в некоторых других странах их применяют чаще. По сравнению со стыками на весу стыки на сдвоенных шпалах более жесткие, они требуют лишней затраты металла на объединение шпал, а в ряде случаев — применения специальных стыковых скреплений (например, общей подкладки на обе шпалы). Кроме того, такие стыки трудно собирать на звеносборочной базе и подбивать.

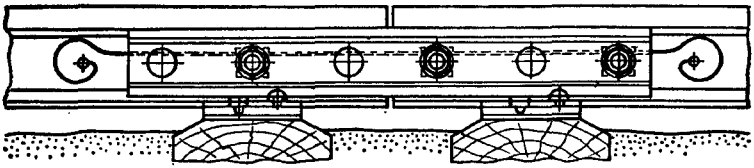


Рис. I.22. Стык на весу

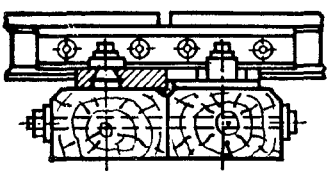


Рис. I.23. Стык на сдвоенных шпалах

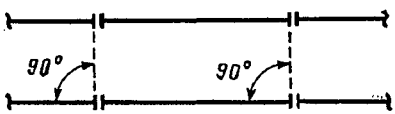


Рис. I.24. Расположение стыков по наугольнику

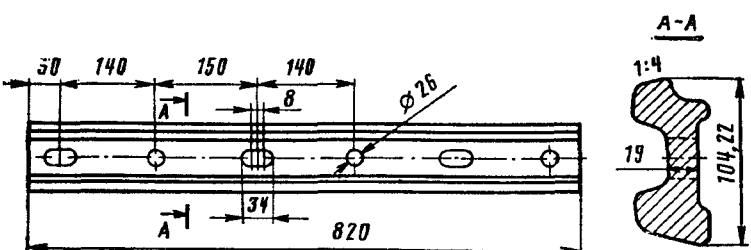


Рис. I.25. Двухголовая накладка для рельса Р50

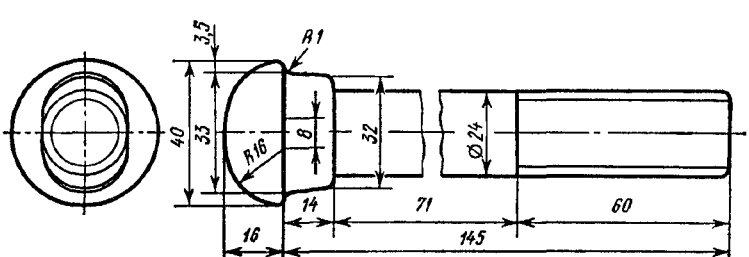


Рис. I.26. Стыковой болт с овальным подголовком

В зависимости от взаимного расположения стыков разных рельсовых нитей одного пути различают стыки: по наугольнику, вразбежку и бессистемно расположенные.

При расположении по наугольнику (рис. I.24) стыки обеих рельсовых нитей находятся на одном перпендикуляре к продольной оси пути. Такое размещение принято как стандартное в СССР и во всех европейских странах. Преимущества такого расположения: меньшее число ударов в стыках при проходе подвижного состава, чем при других схемах; возможность индустриальной укладки (заготовки рельсошпальной решетки на звеносборочных базах) и разборки пути; более легкое содержание пути. Недостаток — необходимость применения укороченных рельсов для укладки в кривых, чтобы обеспечить расположение стыков именно по наугольнику.

Стыки вразбежку не требуют применения укороченных рельсов для укладки на внутренних нитях кривых. В этом их основное преимущество. К их недостаткам относятся вдвое большее, чем при стыках по наугольнику, количество ударных воздействий колес, невозможность индустриальной укладки и разборки пути. Стыки вразбежку были распространены на дорогах США, но сейчас из-за указанных недостатков от них отказываются. Бессистемно расположенные стыки обладают теми же преимуществами и недостатками, что и стыки вразбежку.

К деталям стыковых скреплений относятся накладки, болты с гайками и шайбами, специальные подкладки при стыках на сдвоенных шпалах, изоляционные и токопроводящие приспособления.

В СССР применяются в основном двухголовые четырех- и шестидырные накладки, но кое-где сохранились еще и фартучные.

Двухголовые накладки (рис. I.25) на дорогах СССР стали использовать в качестве стандартных с 1945—1946 гг. Преимуществом таких накладок считают: постоянное сечение по длине; рациональное использование металла; возможность изменять стыковой пролет и применять стыки на сдвоенных шпалах. К недостаткам относят неудобство прикрепления рельса к шпале или подкладке в тех местах, где расположена накладка. Длина двухголовой накладки для рельсов типов Р75 и Р65 — 800 мм, Р50 — 820 мм, Р43 и Р38 — 790 мм.

Накладки, перекрывающие рельсовый стык, стягиваются болтами. При фартучных накладках использовались болты с головкой формы утиного носа, которая не допускала проворачивания болта при завинчивании гаек, так как «нос» упирался в горизонтальную полку накладки.

Для двухголовых накладок стали применять болты с круглой головкой и овальным подголовком (рис. I.26), который при завинчивании гаек препятствует проворачиванию болта. С этой же целью в каждой двухголовой накладке отверстия сделаны поочередно то круглыми, то овальными (см. рис. I.25), а болты вставляются то с одной, то с другой стороны стыка. Для рельсов типов Р75 и Р65 болты изготовляют диаметром 27 мм, Р50 — 24 мм, Р43 — 22 мм.

Постоянство натяжения болтов в стыке обеспечивается различными пружинными шайбами. Лучшими из них считаются двухвитковые.

В устройствах СЦБ рельсовые нити служат для пропуска сигнального тока, а на линиях с электрической тягой — для пропуска обратного тягового тока. В пределах рельсовых цепей стыки должны хорошо пропускать ток. Нужная токопроводимость в стыках достигается нанесением слоя графитовой смазки на предварительно очищенные и промытые керосином поверхности касания рельса с накладками.

На участках с диспетчерской централизацией, в стыках стрелочных переводов, на однониточных цепях, кроме графитовой смазки, устанавливают стыковые соединители из двух оцинкованных проволок диаметром 5 мм (см. рис. I.22).

На электрифицированных линиях до перехода на смазку накладок обратный тяговый ток пропускается по цепи через стык с помощью медного троса диаметром 10 мм, концы которого зажаты в стальных манжетах, привариваемых к наружным граням головок рельсов (рис. I.27).

На границах рельсовых цепей устраивают изолирующие стыки, не пропускающие ток. Существует два типа изолирующих стыков: с металлическими объемлющими накладками (рис. I.28) и клееболтовые (рис. I.29). В стыках первого типа в качестве изолирующего материала использованы фибра, полиэтилен или гетинакс. В стыковом зазоре также ставится прокладка.

В клееболтовых изолирующих стыках применяются предварительно остроганные двухголовые накладки. Клее-

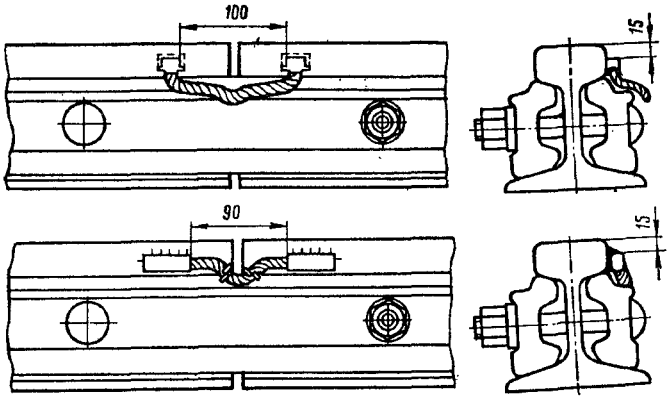


Рис. I.27. Варианты прикрепления стыкового соединителя из медного троса

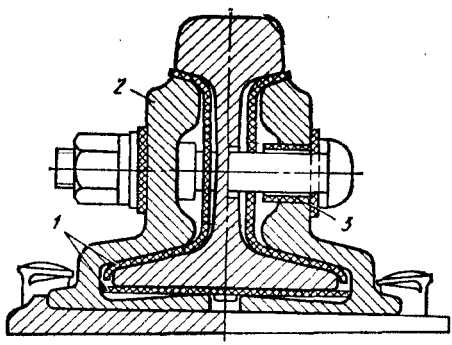


Рис. I.28. Изолирующий стык с объемлющими накладками:

1 — изолирующие прокладки; *2* — объемлющая накладка; *3* — втулка

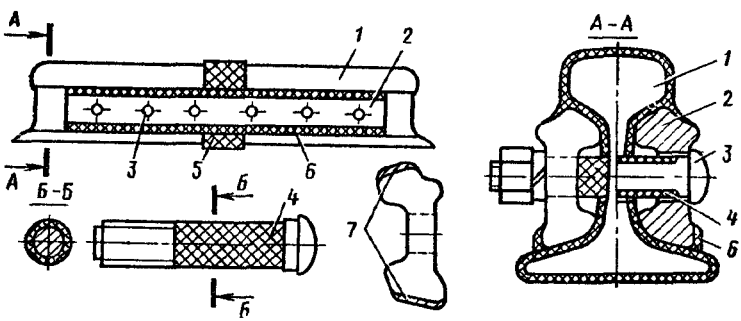


Рис. I.29. Клееболтовой стык:

1 — рельс; *2* — накладка; *3* — болт; *4* — болтовая изоляция; *5* — непрерывная изоляция в зоне стыка; *6* — изоляция накладок; *7* — места острожки накладок

болтовые изолирующие стыки, которые в СССР выпускаются серийно с 1972 г., считаются наиболее прогрессивной конструкцией. Они широко используются и за рубежом.

Глава 3. ШПАЛЫ

1.10. Назначение шпал и требования к ним

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 рельсо-шпальной решетки в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

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.

Число шпал на 1 км (эпюра) зависит от величины нагрузок на рельсы, грузонапряженности, скоростей движения поездов, типа рельсов, типа балластного слоя, плана и профиля пути. В СССР приняты 3 эпюры: 1600 шт/км (на второстепенных путях), 1840 и 2000 (в зависимости от плана линии и скорости движения).

Шпалы бывают деревянные, железобетонные и металлические.

1.11. Деревянные шпалы

Деревянные шпалы преобладают на железных дорогах мира, так как они с технической точки зрения в наибольшей степени отвечают требованиям, предъявляемым к подрельсовому основанию.

Главные достоинства деревянных шпал — хорошая упругость, простота изготовления и эксплуатации (транспортировки, подбивки, смены и т. п.), большое электрическое сопротивление. Недостатки деревянных шпал — малый срок службы при высокой грузонапряженности, большая по-

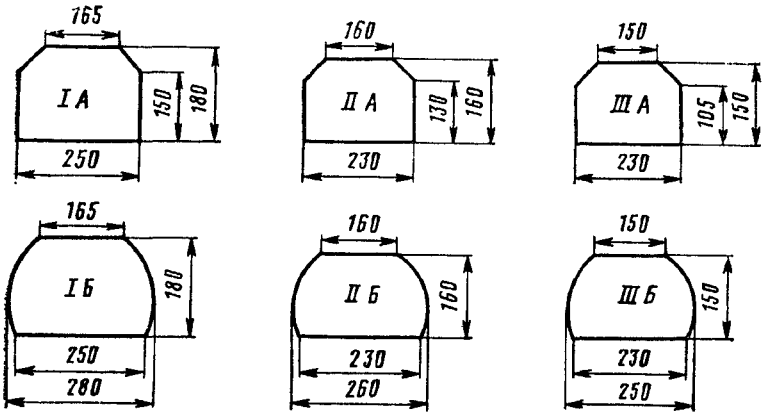


Рис. I.30. Поперечные сечения деревянных шпал

требность в деловой древесине, необходимой для разнообразнейших нужд народного хозяйства.

С 1 января 1966 г. на дорогах СССР укладывают деревянные шпалы (рис. I.30) двух видов: обрезные (А), у которых пропилены все четыре стороны, и необрезные (Б), у которых пропилены две противоположные стороны — постели. Деревянные шпалы делятся на три типа: I — для главных путей, II — для станционных и подъездных, III — для малодеятельных подъездных путей промышленных предприятий.

Шпалы изготовляют из сосны, ели, пихты, кедра, бука и березы. Длина шпал 2,75 м. По заказу МПС для особо грузонапряженных участков поставляют шпалы длиной 2,8 м, а для участков с совмещенными путями различной ширины колеи — 3,0 м.

Деревянные шпалы заменяют из-за гниения и механического износа. Эти процессы протекают одновременно и влияют друг на друга. В СССР принята система выборочной смены шпал, кроме капитального ремонта, при котором шпалы заменяют сплошь. Проф. М. А. Чернышев предложил определять средний фактический срок службы деревянных шпал из выражения

$$t_{\text{ср}} \cdot \text{ф} = \frac{At_{\text{н}}}{n + (m_2 - m_1)}, \qquad (\text{I } 8)$$

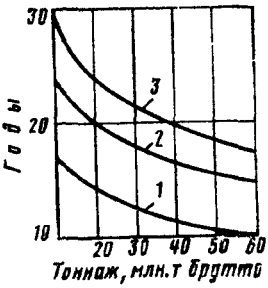


Рис. I.31. Изменение срока службы деревянных шпал в зависимости от прошедшего тоннажа:

1 — костыльное скрепление; 2 — раздельное жесткое; 3 — раздельное с пружинной клеммой

где A — общее количество шпал, лежащих в пути;

m_1, m_2 — количество негодных шпал в пути по данным натурного осмотра соответственно к началу и к концу периода (года, пятилетки);

n — количество шпал, уложенных в путь за период $t_н$;

$t_н$ — длительность наблюдения.

Величины A, m_1, m_2 и n берут из технического паспорта пути и технических отчетов.

По данным МИИТа и ВНИИЖТа, срок службы деревянных шпал при различных скреплениях зависит от прошедшего тоннажа (рис. I.31).

Продление срока службы шпал имеет большое народнохозяйственное значение. Чтобы увеличить их долговечность, необходим целый комплекс мероприятий и следует выполнять множество требований:

заготовлять здоровую древесину, как правило, зимой;

до пропитки хранить и просушивать шпалы без доступа прямых лучей солнца; костыльные и шурупные отверстия сверлить перед пропиткой;

стягивать шпалы винтами для предупреждения их растрескивания;

перед пропиткой накалывать постели и боковые грани шпал для увеличения глубины пропитки и предупреждения растрескивания;

высококачественно пропитывать шпалы на заводах маслянистыми антисептиками (каменноугольным креозотовым или антраценовым маслом);

правильно (по инструкции) хранить шпалы после пропитки на заводах и на дорогах до укладки в путь;

бережно грузить, перевозить и выгружать шпалы, правильно укладывать их в путь и подбивать;

широко применять специальные нашпальные прокладки, чтобы предохранить поверхность от механического износа;

использовать высококачественный балласт;

предупреждать угон пути;

укладывать на 1 км пути столько шпал, сколько требуется при данных грузонапряженности, нагрузке от подвижного состава и скорости движения поездов;

высококачественно осуществлять текущее содержание пути в целом и шпал в частности.

Среди всех мероприятий по продлению срока службы деревянных шпал особое место занимает пропитка их антисептиками, которые убивают разрушающие древесину грибки и не допускают их развития. Лучший антисептик — каменноугольное креозотовое масло. Это — чистый отгон каменноугольной смолы без посторонних примесей. Его получают на коксохимических заводах перегонкой смолы при температуре 200—400 °С. Этот антисептик не выщелачивается, не влияет вредно на металл и не повышает электропроводность шпал. Обычно его применяют в смеси с мазутом (40—50% каменноугольного креозотового масла и 60—50% мазута).

I.12. Железобетонные шпалы

После второй мировой войны во многих странах стали усиленно внедрять железобетонные шпалы, особенно в СССР, ГДР, ФРГ, Франции, Англии, Венгрии, ЧССР и Бельгии.

Железобетонные шпалы имеют следующие преимущества: они сберегают древесину; не гниют; выдерживают бо́льшие сжимающие напряжения, чем деревянные; обладают большей сопротивляемостью перемещениям; имеют больший срок службы. Вместе с тем к недостаткам следует отнести большую жесткость по сравнению с деревянными, что требует применения упругих прокладок. Железобетонные шпалы обладают большей электропроводностью и нуждаются в использовании изолирующих элементов; повышенная хрупкость требует соблюдать осторожность при перевозках и подбивке, а большая масса создает неудобства в работе с ними.

В СССР отдается предпочтение предварительно напряженным струнобетонным брусковым (фигурным) шпалам. Массовая укладка типовых железобетонных шпал у нас началась в 1959 г. По укладке железобетонных шпал СССР занимает первое место в мире.

Конструкция современной шпалы установлена ГОСТ 10629—78 (рис. I.32). Шпалы армированы проволокой периодического профиля диаметром 3 мм (44 шт.) (см. рис. I.32); сила натяжения одной проволоки 8,1 кН. Для изготовления шпал применяют бетон марки не ниже 500. Масса шпалы около 265 кг.

Железобетонные шпалы типов ШС-1 и ШС-1у (см. рис. I.32) используют при скреплении КБ, а шпалы ШС-2 и ШС-2у — при бесподкладочных скреплениях БП и ЖБР. У шпал ШС-2 и ШС-2у форма и все размеры, кроме расстояний между отверстиями для закладных болтов, такие же, как и у ШС-1 и ШС-1у. Конструкция шпалы позволяет использовать ее при рельсах Р50, Р65 и Р75. Глубина подрельсовых выемок у этих шпал 25 мм.

Кроме струнобетонных, в некоторых странах применяют брусковые железобетонные шпалы со стержневой арматурой диаметром до 22 мм. Чаще всего арматура состоит из двух стержней, их напряженное состояние поддерживается гайками, навинченными на концы стержней. Недостатки такой конструкции — больший, чем на струнобетонные шпалы, расход металла; сосредоточенное расположение арматуры и связанное с этим более сильное раскрытие трещин, чем при рассредоточенной арматуре.

Железобетонные шпалы делают путь более стабильным, что сокращает расходы на его текущее содержание. По данным В. Я. Шульги, оно более чем на 25 % дешевле по сравнению с содержанием пути с деревянными шпалами при средней длине плетей 600 м.

Долговечность железобетонных шпал для сети дорог пока еще не определена. Опыт эксплуатации на Октябрьской дороге (с 1954 г.) и анализ их выхода, проведенный ЛИИЖТом, показали, что при здоровом земляном полотне и балластном слое, соответствующих техническим условиям, срок службы зависит от конструкции шпалы, типа рельсов и скреплений, грузонапряженности, скорости движения и нагрузок от колесных пар на рельсы. На основании этого установлен критический тоннаж (табл. I.5), после пропуска которого струнобетонные шпалы оказываются пораженными дефектами, а объем ежегодной одиночной смены достигает 30—40 шт/км.

В процессе эксплуатации пути с железобетонными шпалами сильно изнашиваются рельсовые скрепления. Это побуждает заменять рельсо-шпальную решетку, укладывая

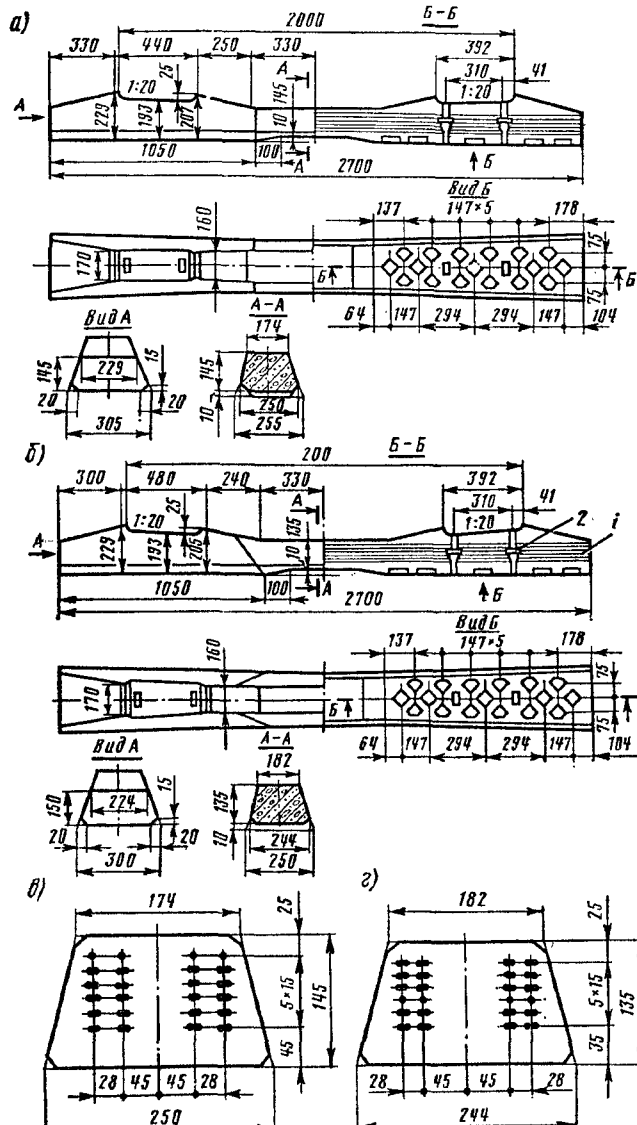


Рис. I.32. Железобетонные шпалы:

а — типа ШС-1; *б* — типа ШС-1у; *в*, *г* — расположение арматуры

Таблица I.5

Тип скрепления и рельса	Средняя нагрузка на рельс от оси колесной пары, кН (тс)	Критический тоннаж, млн. т брутто
КБ; Р65	151,9 (15,4)	1400
КБ; Р65	113,5 (12,6)	1650
ЖБ; Р65	151,9 (15,4)	750
ЖБ; Р65	113,5 (12,6)	840
К2; Р65	151,9 (15,4)	1200
К2; Р65	113,5 (12,6)	1250
К2; Р50	149,9 (15,3)	850

старогодную 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 значительно больше 50 лет.

Техническая политика предполагает дальнейшее увеличение полигона путей с железобетонными шпалами. В ближайшей перспективе намечено увеличить его до 64—65 тыс. км.

I.13. Металлические шпалы

Металлические шпалы наиболее распространены в ФРГ, ГДР и Индии. Используются шпалы корытообразной формы (рис. I.33). Масса нестыковой шпалы 50—80 кг, а стыковой 115—145 кг. Сейчас такие шпалы не укладывают.

В Индии стальные шпалы служат примерно на 20 % протяжения пути, а чугунные — на 30 %. Широкое приме-

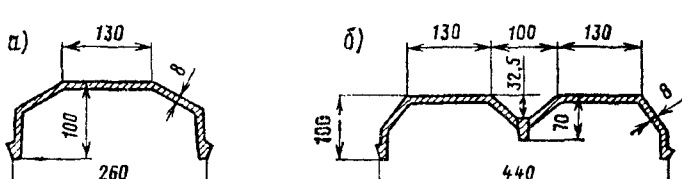


Рис. I.33. Металлические шпалы дорог ГДР:
а — нестыковая; *б* — стыковая

нение там металлических шпал объясняется климатом. Высокая влажность и жара способствуют ускоренному гниению древесины. Кроме того, в некоторых районах распространены термиты, быстро приводящие деревянные шпалы в негодность.

Незначительное количество металлических шпал имеется также на дорогах и других стран, в частности Франции. Достоинства металлических шпал: больший срок службы, чем деревянных; меньшая масса, чем железобетонных; возможность укладки в горячих цехах промышленных предприятий. Недостатки: высокая жесткость пути, по сравнению с деревянными шпалами, значительный шум при движении поездов, высокая электропроводность, подверженность коррозии, большая металлоемкость.

Глава 4. БАЛЛАСТНЫЙ СЛОЙ И ВЕРХНЕЕ СТРОЕНИЕ ПУТИ В ЦЕЛОМ

1.14. Материал балластного слоя и требования к нему

Балластный слой предназначен для: восприятия давления от шпал и передачи его на основную площадку земляного полотна; упругой переработки ударов о рельсы колес подвижного состава; обеспечение устойчивости рельсо-шпальной решетки; отвода воды от верхнего строения пути. В соответствии с этим материал балластного слоя должен быть прочным, упругим, хорошо сопротивляться смещениям, быть водо- и морозоустойчивым, плохим проводником тока. Этим требованиям в разной степени удовлетворяют щебень, отходы асбестовой промышленности (асбестовый балласт), гравий, песок, ракушка и шлаки.

Щебень изготовляют из твердых каменных пород: гранита, кварцита, порфира, диорита, базальта, известняка и др. Нормальный размер частиц 26—60 мм. Щебень — наилучший балласт. Он в наибольшей степени (особенно по упругости и обеспечению устойчивости рельсо-шпальной решетки) удовлетворяет предъявляемым к балластному слою требованиям.

Асбестовый балласт применяется в СССР с 1938 г. на дорогах Урала и Сибири. Это песчано-гравийная масса разработанных горных пород, содержащая до 5 % асбеста в виде мелких волокон. Опыт Свердловской и Западно-Сибирской дорог показывает, что асбестовый балласт не пучится и лучше других препятствует проникновению внутрь слоя засорителей. Ремонт пути на нем дешевле, чем на щебеночном. Однако асбестовый балласт несколько хуже щебеночного выдерживает большие нагрузки (особенно в стыках) и малоустойчив против ливневых дождей.

Гравий — продукт разрушения твердых невыветривающихся пород. Его зерна округлые, поэтому менее устойчивы, чем частицы щебня. Гравий — достаточно хороший материал для балласта.

Песок для балласта применяют крупнозернистый или среднезернистый. Оба они — наихудшие из балластов, так как меньше, чем другие материалы, удовлетворяют требованиям, предъявляемым к балластному слою. Особенно плохо, что при замерзании резко уменьшается его упругость.

Ракушечный материал, применяемый на дорогах Юга СССР, получается в результате разработки ракушечных морских отложений. Свежий ракушечный балласт вначале работает лучше песчаного, но со временем частицы измельчаются, образуют пыль, которая цементирует балластный слой, и тогда он теряет водопроницаемость и упругость.

Шлаки для балласта употребляют доменные, из мартеновских печей и из печей для плавки цветных металлов. Металлургические шлаки — хороший материал для балластного слоя. Они должны быть кислыми.

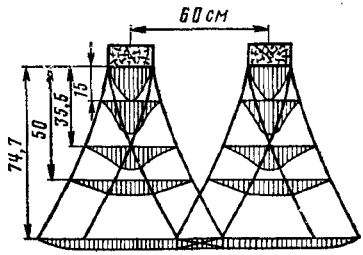
На дорогах Европы и США в качестве балластного материала применяют преимущественно щебень, а в некоторых странах — шлаки.

I.15. Поперечные профили балластной призмы

Размеры балластной призмы должны обеспечивать устойчивость рельсо-шпальной решетки и напряжения на поверхности земляного полотна не выше допускаемых.

Давление от шпалы распространяется в балластном слое неравномерно. По исследованиям Г. М. Шахунянца, кривые распространения давлений представляют собой гипер-

Рис. I.34. Распределение давления в балластном слое



болы (рис. I.34), в частности с углом асимптот 60°. Согласно экспериментальным и теоретическим исследованиям, давление выравнивается на глубине около 75 см (рис. I.34), однако такая толщина балластного слоя под шпалой экономически невыгодна.

С 1964 г. МПС ввело типовые поперечные профили балластной призмы для магистральных дорог (рис. I.35, I.36, I.37, табл. I.6).

При недостаточной толщине балластного слоя возникают и развиваются до опасных размеров деформации основной

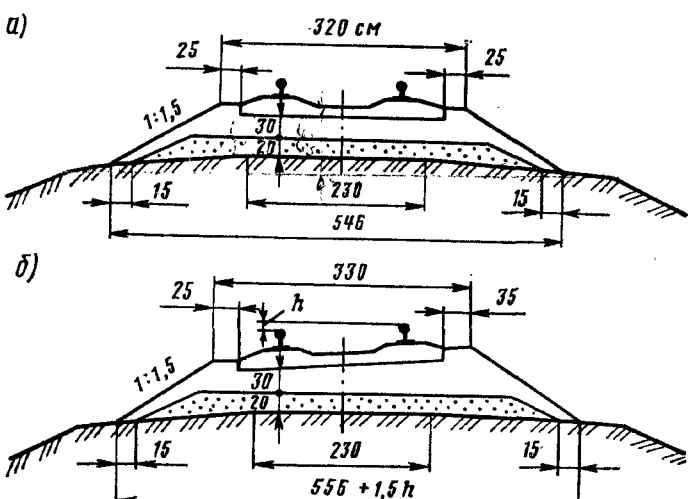


Рис. I.35. Поперечные профили балластного слоя для пути легкого типа с железобетонными шпалами однопутных линий:

а — прямой участок; *б* — кривая

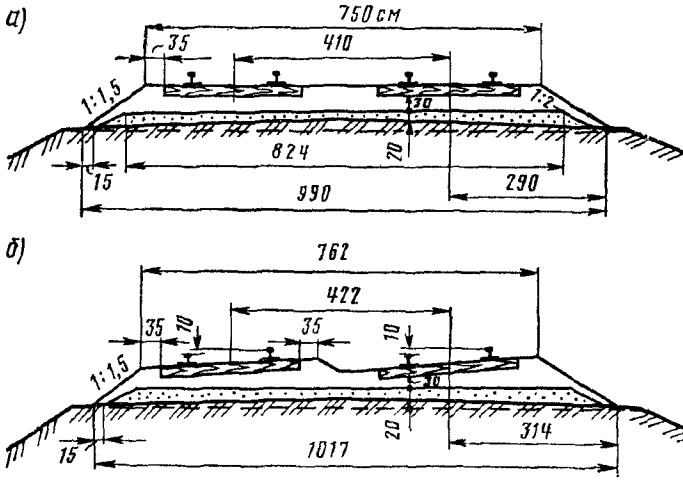


Рис. 1.36. Поперечные профили балластного слоя для пути тяжелого типа при деревянных шпалах двухпутных линий:

а — прямой участок; *б* — кривая

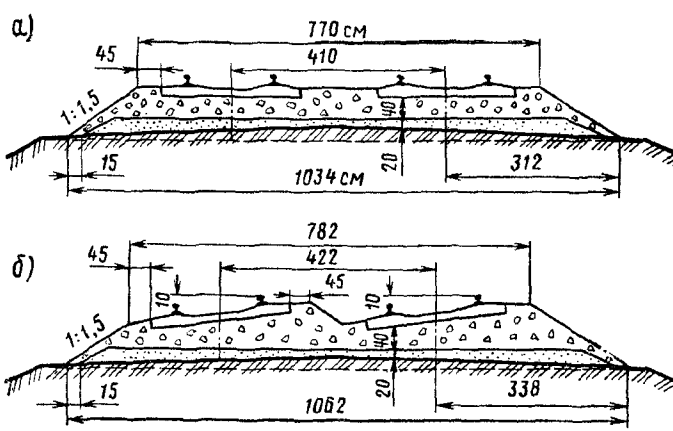


Рис. 1.37. Поперечные профили балластного слоя для пути тяжелого типа при железобетонных шпалах:

а — прямой участок; *б* — кривая

Таблица 1.6

Грузонапряженность линии, млн. т·км/км брутто в год	Шпалы	Толщина балластного слоя под шпалой, см		Ширина плеча балластной призмы, см	Крутизна откоса
		щебня	песчаной подушки		
Более 50	Деревянные	35	20	45	1 : 1,5
	Железобетонные	40	20	45	1 : 1,5
25—50	Деревянные	30	20	35	1 : 1,5
	Железобетонные	35	20		
Менее 25	Деревянные	25	20	25	1 : 1,5
	Железобетонные	30	20		

площадки земляного полотна. Если же верх балластной призмы чрезмерно узок (имеет малые плечи), снижается устойчивость рельсо-шпальной решетки.

1.16. Срок службы балластного слоя

Срок службы, т. е. время между очистками или заменой балласта, зависит от: интенсивности загрязнения и засорения балласта частицами, попадающими извне и образующимися в результате измельчения балласта под воздействием поездных нагрузок, а также при подбивке; убыли балласта из-за выдувания и вымывания его частиц.

Общий тоннаж (млн. т брутто), который может быть пропущен по пути до предельного засорения и загрязнения балласта, приближенно определяется выражением

$$T_б = (D - d)/K, \qquad (1.9)$$

где D — допускаемое максимальное загрязнение балласта по массе перед его очисткой или полной заменой (для щебня 35—40 %, для карьерного гравия и песка 15 %, для ракушки 20 %);

d — допускаемое загрязнение балласта при укладке в путь (для щебня до 5 %, для карьерного гравия до 6 %, для ракушки и песка до 10 %);

K — интенсивность засорения и загрязнения балласта, в % к массе, от прохода 1 млн. т брутто в зависимости от расстояния зарождения грузопотоков, загрязняющих балластный слой.

Таблица I.7

Род балласта	Тип рельса	Расстояние от места погрузки сыпучих грузов, км		
		> 200	100—200	< 100
Щебень	Р50	0,23	0,28	0,43
	Р65	0,18	0,23	0,38
	Р75	0,15	0,18	0,35
Карьерный гравий	Р50	—	0,18	0,17
	Р43	—	0,11—0,14	0,19—0,22

K определяется эмпирически по наблюдениям за засорением балластной призмы; ее значения в % для щебня и гравия приведены в табл. I.7.

Срок службы балласта (в годах) при постоянном годовом тоннаже $T_г$ и известном значении $T_б$

$$t_б = T_б / T_г, \qquad (I.10)$$

а при изменяющемся годовом тоннаже определится как число слагаемых правой части выражения:

$$t_б = \Sigma T_i, \qquad (I.11)$$

где T_i — тоннаж в i-м году.

Продлению срока службы балластного слоя способствуют: укладка в путь мощных рельсов и наибольшего числа шпал на 1 км; использование балласта из высококачественного материала; соблюдение расчетных размеров балластной призмы; укладка защитных покрытий; тщательное текущее содержание пути; предупреждение засорения балластного слоя.

Использование щебня — это не только мера усиления пути, но и весьма эффективное средство снижения эксплуатационных расходов, зависящих от балласта. Экономическая эффективность применения щебеночного балласта по сравнению с песчаным выражается в следующем: снижаются расходы на текущее содержание пути (на 20—25 %) и амортизационные отчисления (на 20—22 %) за счет увеличения сроков службы рельсов и шпал; в 2—3 раза сокращаются затраты на средний и подъемочный ремонты пути: снижаются расходы на тягу поездов и ремонт подвижного

Таблица 1.8

Элементы верхнего строения пути	Грузонапряженность по одному пути, млн. т · км/км брутто в год, предшествующая проведению капитального ремонта пути		
	> 80	80 — 15	< 15
	Особо тяжелый тип	Тяжелый тип	Нормальный тип
Рельсы	Р75 термически упрочненные I группы	Р65 термически упрочненные I и II групп	Р50 новые или Р65 и Р75 старогодные на участках с грузонапряженностью до 50 млн. т·км/км брутто в год, старогодные Р50
Шпалы	Деревянные при звеньевом или бесстыковом пути, железобетонные при бесстыковом пути. Эпюра на прямых участках и в кривых радиусом 2000 м и более 1840 шт/км; в кривых радиусом менее 2000 м — 2000 шт/км	Деревянные при звеньевом или бесстыковом пути, железобетонные при бесстыковом пути. Эпюра на прямых участках и в кривых радиусом 1200 м и более 1840 шт/км; в кривых радиусом менее 1200 м — 2000 шт/км	То же, что и для тяжелого типа
Балласт	Асбестовый или щебеночный	Асбестовый или щебеночный	Асбестовый, щебеночный, гравийный, гравийно-песчаный

состава благодаря уменьшению сопротивления движению поездов (при рельсах типа Р50 и тепловозной тяге экономия на 1 млн т брутто перевозимого груза в год составляет более 4 руб. на 1 км); наконец, экономятся средства на перевозку балластных материалов.

Стоимость 1 м^3 щебня на заводах МПС составляет 2,2—6,0 руб. в зависимости от технической оснащенности завода и других условий. Кроме стоимостных показателей, имеются преимущества применения щебня и по натуральным показателям по отношению к песчаному балласту. Трудоемкость текущего содержания пути на щебеночном балласте снижается на 32—52 %, а производительность труда повышается на 12—20 %. Увеличение срока службы рельсов, лежащих в пути на щебне, снижает расход металла на 20 %. Сокращение перевозок балласта при переходе на щебень позволяет экономить вагоны и уменьшать капитальные затраты на увеличение вагонного парка. Ввиду указанных преимуществ протяженность путей на щебне в СССР непрерывно растет и сейчас составляет более 80 % общей длины главных путей.

1.17. Верхнее строение пути в целом

Верхнее строение пути должно соответствовать эксплуатационным условиям. В различных условиях применять один и тот же тип верхнего строения нецелесообразно технически и экономически.

Для сети железных дорог установлены три типа верхнего строения пути: особо тяжелый, тяжелый и нормальный (табл. 1.8). Каждый тип предназначен для линий определенной грузонапряженности.

Глава 5. УГОН ПУТИ И БОРЬБА С НИМ

1.18. Причины угона пути

Угоном пути называют продольное перемещение рельсов относительно шпал или рельсо-шпальной решетки относительно балластного слоя под действием продольных сил, создаваемых движущимся подвижным составом и изме-

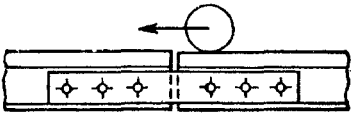


Рис. I.38. Перекатывание колеса через стык

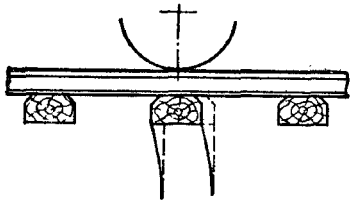


Рис. I.39. Положение колеса на опирающейся части рельса

нением температуры. Угон пути проявляется на площадках, но в большей мере на спусках и особенно на тормозных участках пути. Он происходит в сторону движения поездов. На однопутных линиях угон преобладает в направлении большего грузопотока.

При исследовании причин угона пути возникло несколько гипотез, объясняющих это явление.

1. Проф. Васютынский объясняет угон рельсов как результат удара колеса в противошерстный конец рельса в стыке, где из-за того, что конец отдающего рельса прогибается в момент перехода колеса через стык несколько больше, чем конец принимающего рельса, образуется ступенька (рис. I.38).

2. Теория Кюнера также объясняет угон наличием удара колеса, но не в ступеньку, а в головку противошерстного (принимающего) рельса.

3. Рудницкий понимает явление угона иначе. Он полагает, что благодаря силам трения между колесом и рельсом колесо при движении увлекает за собой не только рельс, но и шпалу, и балласт (рис. I.39). Когда же колесо перейдет на следующую шпалу, разгруженная шпала и балластный слой передвинутся назад, рельс же полностью назад не вернется, так как будет прижат к той шпале, на которой в это время находится колесо.

4. Джонсон объясняет угон так. Рельс под тяжестью колеса изгибается в пролете между шпалами. При этом сечения *ab* и *cd* принимают наклонное положение (рис. I.40). Когда колесо продвинется влево и станет над шпалой, а изогнувшийся рельс выпрямится и удлинявшиеся при изгибе нижние волокна приобретут нормальную длину, проскользнувшие над левой шпалой нижние волокна при укорочении не вернутся в первоначальное положение, так как

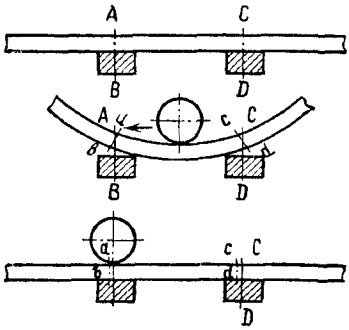


Рис. I.40. Положение колеса в пролете между шпалами

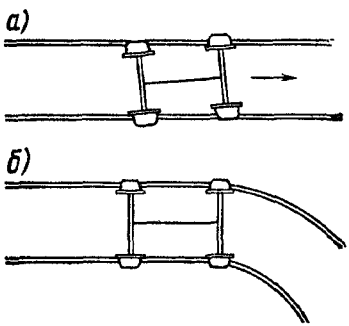


Рис. I.41. Схема возникновения угонных сил в зависимости от положения ходовых частей подвижного состава и пути:

а — косое набегание колеса на рельсы; *б* — вход в кривую

будут прижаты над этой шпалой колесом. Таким образом, рельс продвинется влево.

5. По теории Членова, рельс, нагреваясь до определенной степени, сохраняет свою длину, так как он защемлен накладками и прикрепителями. Но достаточно подходящему к рельсу колесу встряхнуть его ударом, как он сразу удлинится в сторону движения. Односторонность удлинения рельса объясняется тем, что едва колесо ударит в его торец, как мгновенно то же колесо прижмет конец рельса к шпалам. Таким образом, произойдет перемещение — угон рельса.

6. Угон пути объясняют и действием сил, возникающих между колесом и рельсом при торможении подвижного состава. По этой причине на тормозных участках угон может быть весьма сильным.

7. В ряде случаев в зависимости от состояния ходовых частей подвижного состава и рельсовой колеи по уровню и шаблону угону могут способствовать удары колес в боковые грани рельсов при косых набеганиях и вилянии железнодорожных экипажей (рис. I.41, *а*), а также при входе этих экипажей в кривые (рис. I.41, *б*).

8. Проф. Альбрехт считает основной причиной угона изгиб рельса под подвижной нагрузкой, при котором, если связь между рельсом и опорами не абсолютна и реактивные силы основания на некоторых участках изгиба рельса больше погонных сил сопротивления проскальзывания рельсов, подошва рельса проскальзывает над шпалами.

Итак, угон пути — это процесс накопления продольных перемещений в результате многих причин. Угон чрезвычайно вреден для пути. Он вызывает значительные расстройства и дополнительные работы по перешивке пути, перегонке шпал и разгонке зазоров, а также способствует ускорению износа элементов пути. На путях, подверженных угону, 30—40 % всех расходов на содержание и ремонт связано с наличием этого явления.

I.19. Закрепление пути от угона

Радикальное средство борьбы с угоном пути — создание конструкции верхнего строения, обладающей большим сопротивлением продольным силам. Угон можно уменьшить, применив раздельные промежуточные скрепления, поставив путь на щебень или увеличив число шпал на 1 км.

Для закрепления пути от угона используют специальные приспособления — противоугоны. Наиболее просты и удобны в эксплуатации пружинные противоугоны (рис. I.42), передающие силы угона на подкладку. Кроме простоты конструкции, к достоинствам этих противоугонов следует отнести одноэлементность и легкость. Масса противоугона для рельсов Р65 составляет 1,28 кг, Р50 — 1,15 кг, Р43 — 1,01 кг. Сопротивление смещению этих противоугонов по подошве рельсов равно 4,9—5,9 кН (500—600 кгс).

Количество противоугонов, устанавливаемых на одно рельсовое звено, зависит от плана и профиля линии, режима движения, рода балласта и т. п. и может достигать 44 пар. В табл. 1.9 приведены данные о минимальном количестве

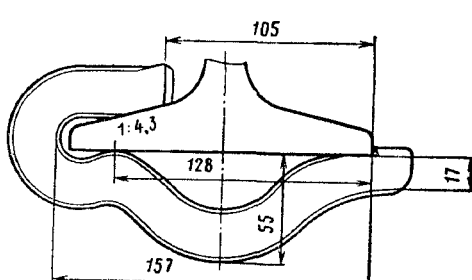


Рис. I.42. Пружинный противоугон для рельсов Р65

Таблица 1.9

Линии	Нетормозные участки		Тормозные участки	
	на щебне и сортированном гравии	на балласте других видов	на щебне и сортированном гравии	на балласте других видов
Грузонапряженность более 25 млн. т·км/км брутто в год				
Двухпутные и однопутные с явно выраженным грузопотоком в одном направлении	26/32	28/36	36/42	42/44
Однопутные с примерно равным грузооборотом в обоих направлениях	18/22	20/22	34/40	40/42
Тормозные участки негрузового направления	—	—	18/22	20/22
Грузонапряженность 25 млн. т·км/км брутто в год и менее				
Двухпутные и однопутные с явно выраженным грузопотоком в одном направлении	18/26	20/30	28/36	34/42
Однопутные с примерно равным грузооборотом в обоих направлениях	14/18	16/20	28/34	34/36
Тормозные участки негрузового направления	—	—	14/18	16/22

Примечание. В знаменателе — для участков обращения шестиосных и восьмиосных полувагонов.

пар пружинных и самозаклинивающихся противоугонов на одном звене длиной 25 м.

Клиновые противоугоны систем Шестопалова и Истомина тяжелы (4—4,5 кг), однако обладают большей сопротивляемостью сдвигу — 24,5—29,4 кН (2500—3000 кгс). Их устанавливают так, что одна пара передает угоняющие усилия на несколько шпал через деревянные распорки, разме-

щаемые между шпалами. Распорки усложняют содержание и ремонт пути. По этой причине, а также из-за значительной металлоемкости клиновые противоугоны выходят из употребления.

Глава 6. ПРОГРЕССИВНЫЕ КОНСТРУКЦИИ ВЕРХНЕГО СТРОЕНИЯ

1.20. Бесстыковой путь

Бесстыковой путь — наиболее прогрессивная и совершенная конструкция. По способу эксплуатации он может быть температурно-напряженным без периодической (сезонной) разрядки температурных напряжений и температурно-напряженным с периодической разрядкой температурных напряжений. Принципиальной разницы в работе пути этих двух видов нет. Отличие лишь в том, что путь первой разновидности работает при фактической годовой температурной амплитуде данной местности, поэтому ему отдается предпочтение.

Бесстыковой путь, требующий сезонных (весной и осенью) разрядок напряжений, используют в тех случаях, когда по местным условиям (большая амплитуда колебаний температуры, тяжелый обращающийся подвижной состав, недостаточная мощность конструкции пути и т. п.) напряжения в рельсовых плетях могут превышать допускаемые или когда не обеспечивается устойчивость пути.

Основные особенности температурно-напряженного бесстыкового пути — значительные дополнительные температурные напряжения в рельсах и перемещения концевых участков от изменения температуры. Это обусловливает специальные требования к конструкции верхнего строения и к технологии укладки, содержания и ремонта пути.

Главнейшие требования к конструкции бесстыкового пути сводятся к следующему:

рельсы должны обладать запасом прочности при работе на изгиб и кручение для компенсации температурных напряжений, равным 125—150 МПа (1250—1500 кгс/см^2);

рельсо-шпальная решетка должна обеспечивать устойчивость пути против его выброса при нагревании рельсов;

балластная призма должна оказывать сопротивление перемещению в ней шпал;

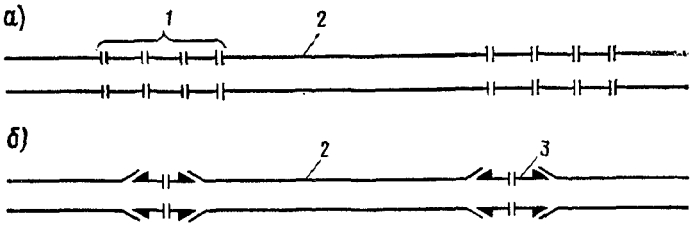


Рис. I.43. Схемы соединения рельсовых плетей:

а — уравнительными рельсами; *б* — уравнительными приборами; *1* — уравнительный пролет из 3—4 рельсов; *2* — бесстыковая плеть; *3* — уравнительный прибор

рельсовые скрепления должны препятствовать изменению начального зазора в стыке плетей более чем на 10—12 мм при максимальном возможном изменении температуры рельса. Прикрепление рельсов к шпалам должно препятствовать угону и образованию значительного зазора зимой. Для этого промежуточное скрепление должно обеспечивать погонное сопротивление не менее 250 Н/см (25 кгс/см) по одной рельсовой нити, а стыковое соединение—сопротивление не менее 300 и 400 кН (30 и 40 тс) соответственно для рельсов типов Р50 и Р65.

В зависимости от способа соединения рельсовых плетей путь может быть с уравнительными рельсами или с уравнительными приборами на каждом конце петли.

При первом варианте (рис. I.43, *а*) между рельсовыми плетями укладывают 3—4 обычных звена с рельсами длиной 12,5 м. Во время разрядки температурных напряжений эти рельсы убирают, понуждают удлиниться плети. Затем, закрепив плети, на место убранных рельсов укладывают обычные и укороченные на столько, на сколько удлинились плети после разрядки в них напряжений. Рекомендуется применять плети не короче 150 — 200 м.

При втором варианте (рис. I.43, *б*) вместо уравнительных рельсов укладывают уравнительные приборы, которые напоминают узел стрелки (остряка и рамного рельса). Прибор обеспечивает свободное перемещение концов плетей до 50 см. Опыт показал, что уравнительные приборы усложняют содержание пути и вызывают дополнительные динамические воздействия на путь.

Существенный недостаток бесстыкового пути, требующего периодической разрядки температурных напряжений,— большая трудоемкость работ по разрядке, поэтому предпочтение отдают бесстыковому пути, не требующему периодической разрядки.

Бесстыковой путь — прогрессивная конструкция. Он позволяет экономить металл за счет уменьшения количества стыковых скреплений; снизить динамическое воздействие на путь, возникающее в стыках; уменьшить износ рельсов и ходовых частей подвижного состава; сократить выход из строя рельсов по стыковым дефектам; уменьшить сопротивление движению поездов; снизить расходы на содержание и ремонт пути и подвижного состава. Например, если вместо рельсов длиной 12,5 м уложить плеть из рельсов типа Р65, то за счет ликвидации стыков на 1 км экономится 7,8 т металла.

Срок службы рельсов бесстыкового пути возрастает примерно на 20 % по сравнению со стыковым, деревянных шпал — на 8—13 %, балласта (до очистки) — на 25 %. Расход рабочей силы и средств на текущее содержание 1 км бесстыкового температурно-напряженного пути снижается по сравнению со звеньевым путем на 25—30 %, а пути с периодической разрядкой — на 10—15 %.

В СССР бесстыковой путь применяется с 1955 г. Опыт показал, что самое слабое место в таком пути — уравнительные пролеты, где путь сильно расстраивается. Затраты материалов и труда на содержание и замену уравнительных пролетов велики.

Технические указания на укладку и содержание бесстыкового пути расширили по сравнению с первым опытом сферу укладки такого пути. Например, разрешается укладывать плети в кривых радиусом не менее 350 м и на мостах пролетом до 68 м. Даны рекомендации по укладке сварных плетей длиной до 950 м, сокращению в уравнительных пролетах количества рельсов, использованию для рельсов Р65 шестидырных накладок. В опытном порядке в СССР укладываются плети длиной, равной длине блок-участка.

Большое распространение бесстыковой путь получил и за рубежом: в ФРГ длина плетей колеблется от 900 м до нескольких километров, в США 122—500 м, во Франции 800 м. Интенсивно расширяется полигон бесстыкового пути в Венгрии, Польше, Австрии, Англии.

1.21. Верхнее строение с железобетонным блочным основанием

Современное верхнее строение пути с рельсо-шпальной решеткой и балластной призмой существует более 150 лет. Несмотря на солидный «возраст», оно и сейчас представляет собой такую конструкцию, в которой еще не использованы все резервы для обеспечения высокой грузонапряженности, больших нагрузок на оси и скоростей движения до 250—300 км/ч. Дело в том, что конструкция такого верхнего строения обладает следующими ценными качествами. Она сравнительно проста в содержании и позволяет легко заменять отдельные элементы; допускает постепенное усиление верхнего строения; легко восстанавливается в случае повреждения; допускает использование распространенных материалов; позволяет широко применять машины и механизмы при ее текущем содержании и ремонтах.

Однако это не означает, что современная конструкция верхнего строения пути с рельсо-шпальной решеткой лишена недостатков. Усиление такого пути в основном должно идти за счет увеличения массы рельсов и числа шпал на 1 км, постановки его на щебень, широкого внедрения бесстыковых рельсовых плетей.

В связи с непрерывным ростом грузонапряженности линий, нагрузок на оси подвижного состава и скоростей движения поездов возникает необходимость исследования и создания новых перспективных конструкций с подрельсовым основанием из железобетона. Достоинства пути с железобетонным подрельсовым основанием следующие: равноупругость и наибольшая стабильность; возможность применения рельсов меньшей массы, чем для пути обычной конструкции; хорошая сопротивляемость перемещениям; возможность в ряде случаев отказаться от щебеночного балласта; большой срок службы и наименьшие затраты на содержание и ремонт.

Несмотря на указанные преимущества, такое подрельсовое основание применяется пока весьма ограниченно. Это можно объяснить, с одной стороны, сложностью, малой изученностью и недостаточностью отработки подобных конструкций, а с другой — необходимостью значительных затрат денежных средств, металла, цемента и других материалов на создание конструкций и средств механизации их укладки и содержания.

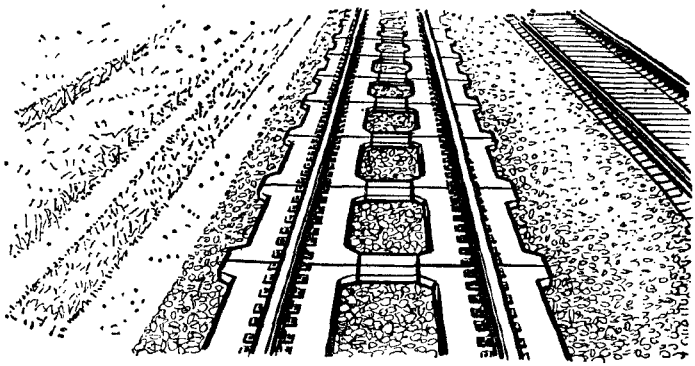


Рис. I.44. Рамно-лежневое железобетонное подрельсовое основание

После 1945 г. в СССР исследовались конструкции на опытных участках ВНИИЖТа по предложениям Б. И. Мушкатина и Е. М. Бромберга, но практического применения они не получили.

В 1956—1959 гг. во ВНИИЖТе и в Гипропромтрансстрое было разработано 10 вариантов конструкций железобетонных подрельсовых оснований. Из них в настоящее время служат в пути рамно-лежневые (рис. I.44) и плитные (рис. I.45) подрельсовые железобетонные основания. Себестоимость 1 м^3 железобетона в таких конструкциях составляет пока 50—83 руб., однако наметилась возможность

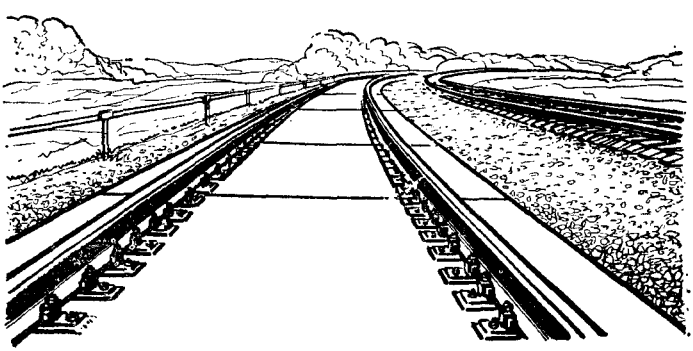


Рис. I.45. Плитное железобетонное подрельсовое основание

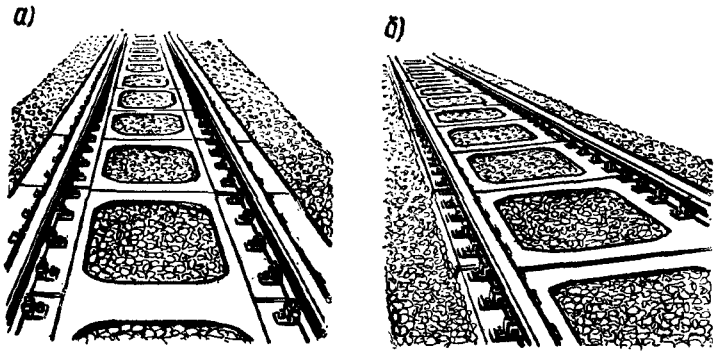


Рис. I.46. Малогабаритные железобетонные рамы:
а — МГР-1 с лежневой частью шириной 75 см для рельсов Р65; *б* — МГР-2 с лежневой частью шириной 60 см для рельсов Р50

снизить ее. Окупаемость блочных подрельсовых оснований по ориентировочным подсчетам при грузонапряженности 80 млн. т·км/км брутто в год составит 5—8 лет.

Надо отметить, что сборные рамы 8А (см. рис. I.44), имея шарниры в узлах соединения, не обеспечивают стабильность ширины колеи. К тому же они многоэлементны, а поэтому не могут считаться перспективными. Вместо них наиболее целесообразны малогабаритные рамы (рис. I.46), каждая из которых заменяет четыре шпалы при рельсах типа Р65 и пять при Р50. У нас испытываются два варианта этих рам (см. рис. I.46).

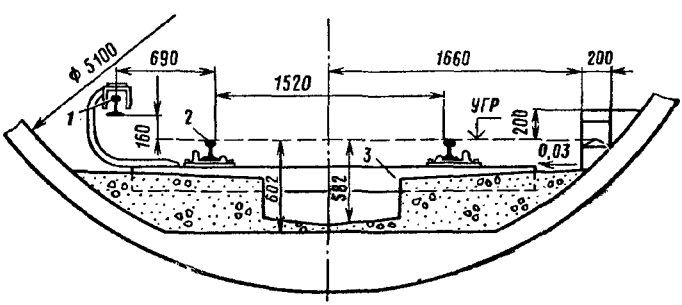


Рис. I.47. Профиль типового пути метрополитена на прямом участке перегона в тоннеле:
1 — контактный рельс; *2* — ходовой рельс; *3* — шпала, втопленная в бетон

К преимуществам малогабаритных рам следует отнести: возможность получить конструкцию такой погонной массы, какая близка к массе типового шпального (железобетонного) основания; процесс накопления деформации происходит в 2—4 раза медленнее, чем в пути с железобетонными шпалами; меньшая масса по сравнению с железобетонными плитами. Недостатки — неполная защищенность балласта от засорения и большее, чем при плитах, количество стыков.

Испытываются и изучаются блочные конструкции подрельсового основания и за рубежом: в ГДР, ЧССР, США, ФРГ, Японии.

В метрополитенах, кроме пути на балласте, применяется конструкция, при которой деревянные шпалы втоплены в бетон (рис. 1.47). В опытном порядке применяются рамы.

Часть II

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И УСТРОЙСТВО РЕЛЬСОВОЙ КОЛЕИ

Обоснование и проверка ширины рельсовой колеи, установление надлежащего возвышения наружного рельса в кривых, выбор и расчет переходных кривых, определение порядка укладки укороченных рельсов на кривых участках пути —это основные вопросы проектирования и устройства рельсовой колеи. Оптимальное решение этих вопросов необходимо для обеспечения наилучших условий взаимодействия пути и подвижного состава. Особое значение это приобретает в связи с непрерывным ростом грузонапряженности железных дорог, нагрузок на оси и скоростей движения поездов.

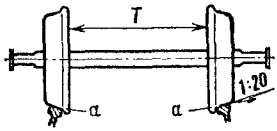
Глава 1. ХОДОВЫЕ ЧАСТИ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА. РЕЛЬСОВАЯ КОЛЕЯ НА ПРЯМЫХ УЧАСТКАХ

II.1. Особенности ходовых частей

При проектировании и устройстве рельсовой колеи необходимо знать особенности ходовых частей подвижного состава. Они обусловливают размеры и конструктивное оформление колеи. К этим особенностям относятся: наличие реборд (гребней) у колес; глухая насадка колес на оси; параллелизм осей экипажа; коничность поверхности катания колес; поперечные разбеги осей; наличие у экипажей поворотных тележек или осей.

Гребни *а* (рис. II.1) необходимы для того, чтобы колеса не могли сойти с рельсов, а рельсы направляли движение колеса. Глухая насадка колес, т. е. их неподвижное крепление на оси (так, что при вращении колес вместе с ни-

Рис. II.1. Колесная пара железнодорожного экипажа



ми вращается и сама ось), принята для предотвращения схода экипажей с рельсов. Это может произойти при свободной насадке, когда износится ступица или подступичная часть. В результате колесо может принять наклонное положение.

Ось с надетыми на нее двумя колесами называется колесной парой (см. рис. II.1). Номинальное расстояние между внутренними вертикальными гранями ободов колес T принято равным 1440 мм с допуском ± 3 мм. У локомотивов и пассажирских вагонов, которые обращаются со скоростями свыше 120 км/ч, нижний допуск равен -1 мм.

Параллелизм осей, объединенных жесткой базой экипажа, необходим для того, чтобы экипаж проходил рельсовую колею безопасно. В противном случае при значительном перекосе одной из осей возможен ее сход с рельсов. Расстояние между крайними осями железнодорожного экипажа, остающимися при движении все время параллельными между собой, называется жесткой базой — L_0 (рис. II.2, II.3 и II.4).

Коничность поверхности катания колес на дорогах СССР принята 1 : 20 (рис. II.5). Считается, что при наличии коничности экипаж во время движения менее чувствителен к неровностям на пути и как бы старается занять симметричное положение в колее. Первоначально полагали, что коничность способствует ликвидации продольного проскальзывания колеса при движении его по внешнему рельсу кривой. Но оказалось, что это справедливо только для кривых радиусом примерно 235 м.

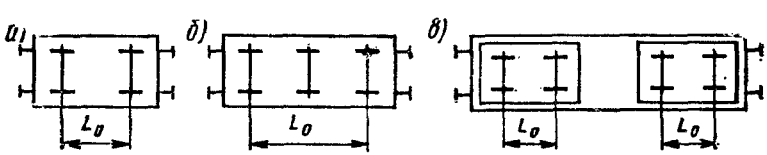


Рис. II.2. Колесные схемы вагонов:
а — двухосных; *б* — трехосных; *в* — четырехосных

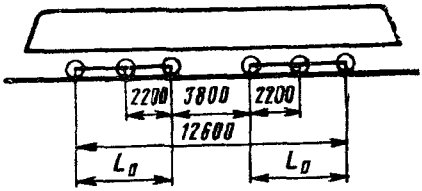
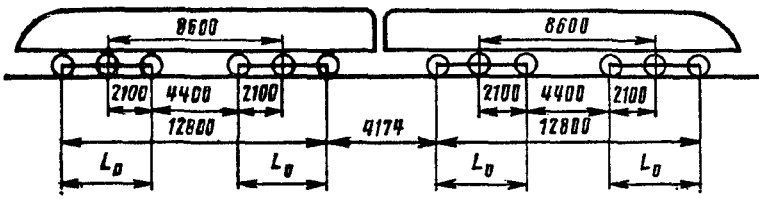


Рис. II.3. Колесная схема (3_0—3_0) электровоза ВЛ23

Рис. II.4. Колесная схема $2(3_0$—$3_0)$ тепловоза ТЭ7



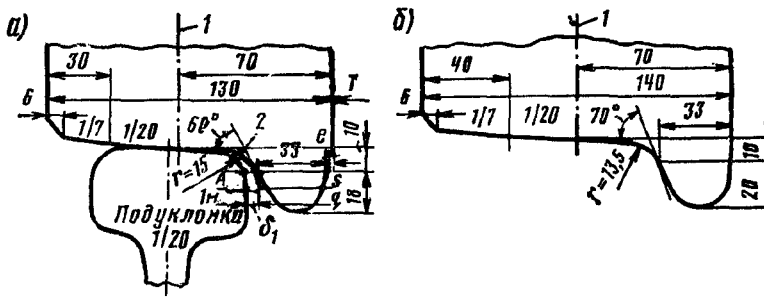


Рис. II.5. Профиль колеса:

а — вагонного; *б* — локомотивного; *1* — средний круг катания; *2* — поверхность катания

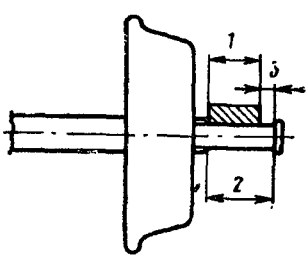


Рис. II.6. Схема определения поперечного разбега оси экипажа:

1 — длина подшипника; *2* — длина шейки; *3* — величина разбега

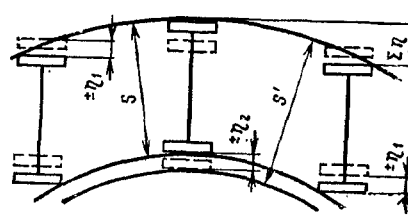


Рис. II.7. Схема положения в кривой трехосного экипажа с поперечными разбегами

Поперечные разбеги осей η необходимы для улучшения прохождения (вписывания) железнодорожных экипажей по кривым участкам (рис. II.6, II.7), в противном случае следовало бы увеличить ширину колеи S. Поперечные разбеги образуются за счет разности длин шейки оси и подшипника (см. рис. II.6).

Поворотные (шкворневые) тележки и оси служат также для улучшения прохождения (вписывания) многоосных железнодорожных экипажей по кривым. Тележки могут поворачиваться на определенный угол.

II.2. Колея на прямых участках

Как известно, рельсовая колея в плане характеризуется прямыми и кривыми (рис. II.8). Согласно ПТЭ для прямых и кривых с $R \geqslant 350$ м $S_0 = 1520$ мм (+6; —4). Следовательно, $S_{0\,max} = 1526$ мм и $S_{0\,min} = 1516$ мм.

Если на прямом участке колесную пару поставить на рельсы так, чтобы гребень одного колеса был прижат к рельсу, то между гребнем второго колеса и рабочей гранью другого рельса будет зазор δ (рис. II.9). Из рис. II.9 видно, что

$$\delta = S_0 - (T + 2h + 2\mu) = S_0 - q, \qquad (II.1)$$

где S_0 — ширина колеи на прямом участке пути;
T — насадка колес, равная согласно ПТЭ (1400 ± 3) мм, для поездов с $v > 120$ км/ч — 1440 мм (+3; —1);
h — толщина гребня; согласно ПТЭ $h_{max} = 33$ мм, $h_{min} = 25$ мм и для $v > 120$ км/ч $h_{min} = 28$ мм;
μ — утолщение ширины гребня, которое для вагонных колес равно 1 мм, а для локомотивных — нулю;
q — колесная колея.

Так как существуют минимальные, нормальные и максимальные значения S_0, T и h, то соответственно существуют и зазоры δ_{min}, δ_0 и δ_{max}. Подставляя в формулу (II.1) различные T, h и μ, получим следующие значения величин δ и при $S_0 = 1520$ мм (в числителе — для локомотивных осей, в знаменателе — для вагонных).

Скорость движения поезда, км/ч:	δ_{min}	δ_0	δ_{max}
$v \leqslant 120$	7/5	14/12	39/37
$v \geqslant 120$	7/5	14/12	31/29

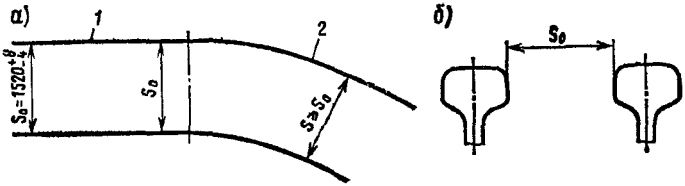


Рис. II.8. Схема рельсовой колеи:

а — план; *б* — определение ширины колеи; *1* — прямой участок, кривизна $\rho=\infty$; *2* — кривой участок, $\rho=R_t$

Видно, что в некоторых случаях зазоры δ могут быть довольно большими. Наличие зазоров δ есть первая особенность рельсовой колеи на прямом участке пути. Зазоры необходимы для: уменьшения сопротивления движению поездов; замедления износа рельсов и колес; предотвращения заклинивания экипажей при движении и, как следствие, вползания гребня на рельс. Однако если зазор δ слишком велик, ухудшаются условия взаимодействия пути и подвижного состава, а именно: увеличивается угол удара при косых набеганиях колес на прямых и при входе на кривые участки; ухудшаются условия комфортабельности езды (при значительном зазоре больше качка и виляние железнодорожных экипажей); быстрее расстраивается путь, требуется больше затрат на его содержание.

Вот поэтому в свое время встал вопрос об уменьшении зазоров δ. Это сделано за счет сужения колеи. На основании множества экспериментов ширина колеи S_0 принята равной 1520 мм вместо 1524 мм; при этом установлены допуски +6 и —4 мм, а на участках, где скорости движения поездов

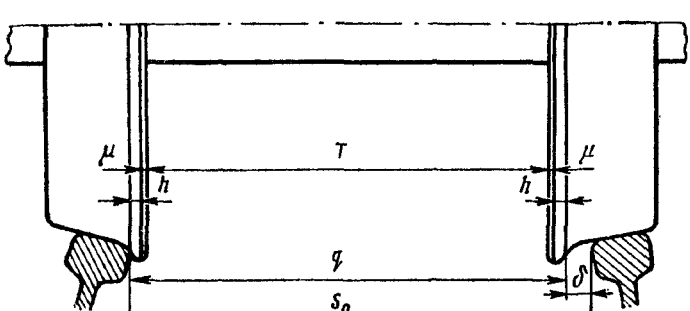


Рис. II.9. Положение колесной пары на прямом участке

50 км/ч и менее, +10 и —4 мм. Переход на ширину колеи 1520 мм дал годовую экономию в путевом хозяйстве примерно 100—120 руб. на 1 км.

Вторая особенность рельсовой колеи на прямых участках (согласно ПТЭ) — понижение одной рельсовой нити относительно другой на 5 мм для улучшения плавности движения поездов.

Глава 2. РЕЛЬСОВАЯ КОЛЕЯ НА КРИВЫХ УЧАСТКАХ

II.3. Ширина колеи

На железных дорогах СССР согласно ПТЭ ширина рельсовой колеи на кривых участках пути $S_к$ установлена в зависимости от радиуса: при $R \geqslant 350$ м $S_к = 1520$ мм; при $300 \leqslant R < 350$ $S_к = 1530$ и при $R < 300$ м $S_к = 1535$ мм с допусками +6; —4 мм.

Уширение или ширина колеи в кривой определяется расчетом по вписыванию железнодорожных экипажей в кривую исходя из следующих условий:

ширина колеи должна быть оптимальной, т. е. обеспечивать наименьшее сопротивление движению поездов, наименьший износ рельсов и колес; предохранять рельсы и колеса от повреждений, а колею — от искажения в плане, колеса — от провала между рельсовыми нитями, т. е. не превышать максимальную допустимую ширину;

ширина колеи должна быть не меньше минимальной допустимой, чтобы ходовые части экипажа не заклинивались между наружной и внутренней рельсовыми нитями.

Определение оптимальной ширины колеи. За расчетную схему примем такую, при которой экипаж своим наружным колесом передней оси жесткой базы прижимается к наружному рельсу кривой, а задняя ось жесткой базы либо занимает радиальное положение, либо стремится его занять, и центр поворота экипажа находится на пересечении этого радиуса с продольной геометрической осью жесткой базы экипажа. При этом:

во всех случаях определенная расчетом оптимальная ширина рельсовой колеи не должна превышать максимума $S_{max} = 1535$ мм, установленного ПТЭ;

если расчетная ширина колеи $S_к$ будет больше S_{max}, то следует перейти к определению минимальной допустимой ширины колеи, приняв соответствующую расчетную схему;

если расчетная ширина колеи $S_к$ получится меньше нормальной ширины на прямом участке пути ($S_0 = 1520$ мм), то это означает, что конструктивные размеры и особенности ходовых частей рассматриваемого экипажа позволяют ему проходить кривую данного радиуса без уширения колеи. В таком случае ширина колеи $S_к$ должна приниматься по ПТЭ в зависимости от радиуса.

Рассмотрим случай определения оптимальной ширины рельсовой колеи S на кривой радиусом R из условия вписывания экипажа с трехосной жесткой базой L_0 (рис. II.10). Примем следующие обозначения:

$q = (T + 2h + 2\mu)$ — ширина колесной колеи;
C — центр поворота экипажа;
λ — расстояние от центра вращения экипажа до геометрической оси первого колеса (для данного случая, как видно из рис. II.10, $\lambda = L_0$);
b_1 — расстояние от геометрической оси первой колесной пары до точки касания гребня колеса с рельсом;
$f_н$ — стрела изгиба наружного рельса (при хорде AB);
S — ширина рельсовой колеи в кривой;
$\Sigma\eta$ — сумма поперечных разбегов осей.

Из рис. II.10 видно, что при $\Sigma\eta = 0$ $S = q + f_н$; при $\Sigma\eta \neq 0$ $S = q + f_н - \Sigma\eta$.

Экипажем, требующим наибольшей ширины колеи будет тот, который имеет q_{max}. Тогда, учитывая допуск на сужение колеи 4 мм, в общем виде выражение для S будет таким:

$$S = q_{max} + f_н - \Sigma\eta + 4 \leqslant S_{max}; \qquad (II.2)$$

$$f_н \approx \frac{(\lambda + b_1)^2}{2R}. \qquad (II.3)$$

Величину b_1 проф. Г. М. Шахунянц предложил определять при неизношенных гребнях по формуле

$$b_1 \approx \frac{\lambda . r}{R} \operatorname{tg} \tau, \qquad (II.4)$$

где r — средний радиус катания колеса;
τ — угол наклона внутренней грани (образующей гребня) к горизонту, равный для вагонного профиля колеса 60°, а для локомотивных колес 70°.

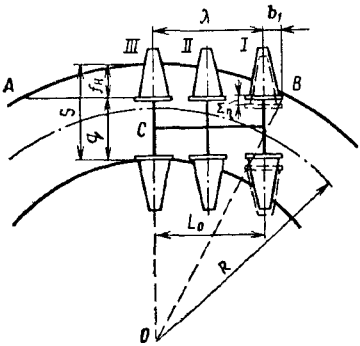


Рис. II.10. Расчетная схема положения экипажа в кривой для определения оптимальной ширины рельсовой колеи

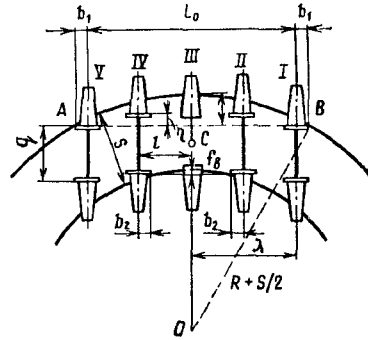


Рис. II.11. Расчетная схема положения экипажа в кривой для определения минимальной допустимой ширины рельсовой колеи

Определение минимальной допустимой ширины колеи. За расчетную схему примем вариант заклиненного вписывания экипажа, при котором наружные колеса крайних осей жесткой базы своими ребордами упираются в наружный рельс кривой, а внутренние колеса средних осей упираются в рельс внутренней нити. Центр поворота экипажа либо находится посередине жесткой базы (двухосные экипажи, многоосные экипажи с симметричным расположением осей и их разбегов), либо стремится занять это положение. При этом к полученной на основании такой расчетной схемы ширине колеи следует прибавить минимальный зазор δ_{min} между боковой рабочей гранью рельса и гребнем колеса на прямом участке пути. Это необходимо сделать потому, что заклиненное вписывание при эксплуатации не допускается. При этом:

во всех случаях определенная минимальная допустимая ширина рельсовой колеи S не должна превышать максимума S_{max} = 1535 мм, установленного ПТЭ;

если полученная расчетом ширина колеи получится больше S_{max}, то это значит, что данная кривая без специальных устройств (контррельсов) не может обеспечить прохождение рассматриваемого экипажа;

если расчетная ширина колеи S получится меньше нормальной S_0 = 1520 мм, то это означает, что конструктивные

размеры и особенности ходовых частей рассматриваемого экипажа позволяют ему проходить кривую данного радиуса без уширения колеи. В таком случае ширину колеи принимают по ПТЭ в зависимости от радиуса.

Рассмотрим случай определения минимальной допустимой ширины рельсовой колеи S из условия вписывания экипажа с пятиосной жесткой базой L_0 (в которой средняя ось безребордная) в кривую радиусом R (рис. II.11).

Примем следующие обозначения:

C — центр поворота экипажа;
$q = (T + 2h + 2\mu)$ — ширина колесной колеи;
λ — расстояние от центра поворота до геометрической оси крайнего колеса, упирающегося в наружный рельс;
i — расстояние от C до оси четвертого колеса;
$f_н$ — стрела изгиба наружного рельса при хорде AB;
$f_в$ — стрела изгиба внутреннего рельса при хорде $(2i - 2b_2)$;
b_1 — расстояние от геометрической оси пятой (или первой) колесной пары до точки касания колеса с наружным рельсом;
b_2 — то же четвертой (или второй) оси, но до точки касания колеса с внутренним рельсом;
Σ_η — сумма поперечных разбегов осей.

Из рис. II.11 $S = q + f_н - f_в - \Sigma\eta$. Однако с учетом допуска на сужение 4 мм, а также того, что экипаж, требующий наибольшей ширины колеи, имеет q_{max}, окончательное выражение для S будет

$$S = q_{max} + f_н - f_b - \Sigma\eta + \delta_{min} + 4, \qquad (II.5)$$

где $f_н$ — определяется по формуле (II.3), а $f_в$ — по выражению

$$f_в \approx \frac{(i - b_2)^2}{2R} \qquad (II.6)$$

Величину b_2 для неизношенных колес можно найти по формуле

$$b_2 \approx \frac{ir}{R} \operatorname{tg}\tau. \qquad (II.7)$$

Контррельсы на кривых участках укладывают у внутренней рельсовой нити или у обеих нитей (внутри колеи) в том случае, если возникает особая необходимость принимать ширину колеи в кривой больше максимальной допустимой S_{max}.

Контррельсы у внутренней нити укладывают для предотвращения бокового износа рельсов наружной нити и во избежание отбоя рельсов. Контррельсы у обеих нитей ук-

ладывают в тех случаях, когда ширину колеи в кривой приходится принимать более 1541 мм. К таким решениям на магистральных дорогах прибегают очень редко, поэтому данный вопрос подробно не рассматривается.

II.4. Возвышение наружного рельса

При движении экипажа в кривой появляется центробежная сила, которая создает дополнительное давление колес на наружную рельсовую нить. Поэтому рельсы наружной нити изнашиваются быстрее, возникает отбой рельсов или увеличивается напряжение в них, появляется непогашенное центробежное ускорение, при больших значениях которого пассажиры испытывают неприятное ощущение.

Как известно, центробежная сила I определяется по формуле

$$I = \frac{mv^2}{R} = \frac{Gv^2}{gR}, \qquad (II.8)$$

где m — масса экипажа;
v — скорость движения экипажа;
G — сила давления экипажа;
g — ускорение силы тяжести;
R — радиус кривой.

К горизонтальным силам следует отнести и силу ветра, которую можно определить по формуле

$$W_в = kv_в^2, \qquad (II.8)$$

где $W_в$ — давление ветра;
$v_в$ — скорость ветра,
k — коэффициент, зависящий от форм поверхностей, воспринимающих давление, который для сплошных поверхностей (вагонов) равен 0,085—1,25, а для решетчатых — 0,078.

Чтобы снизить боковое давление на рельсы наружной нити и избежать их отбоя, уменьшить их перегрузку, добиться равномерности износа рельсов обеих нитей и избавить пассажиров от неприятных воздействий, наружные рельсы в кривых возвышают над внутренними.

Определение возвышения наружного рельса из условия обеспечения равномерности и вертикального износа рельсов обеих нитей кривой. Представим положение экипажа в

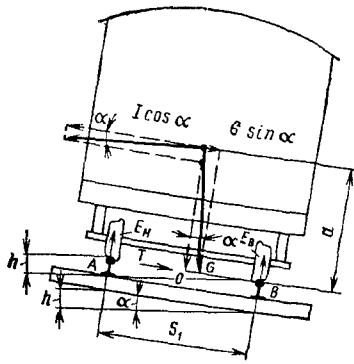


Рис. II.12. Положение экипажа в кривой с возвышением наружного рельса

кривой радиусом R, имеющей возвышение наружного рельса h (рис. II.12). Примем обозначения:

$E_н$ — вертикальная реакция наружного рельса;
$E_в$ — то же внутреннего рельса;
a — расстояние от поверхности катания рельсов до центра тяжести экипажа массой G.

Чтобы рельсы обеих нитей изнашивались равномерно, необходимо выбрать такое возвышение h, при котором соблюдалось бы следующее равенство:

$$\Sigma E_н = \Sigma E_в, \text{ или } \Sigma E_н - \Sigma E_в = 0. \qquad (II.10)$$

Согласно условию (II.10) логично принять

$$I\cos\alpha = G\sin\alpha. \qquad (II.11)$$

По малости угла α примем $\cos\alpha = 1$, а $\sin\alpha = h/S_1$ (где S_1 — расстояние между осями рельсов).

Подставив значения $\cos\alpha$ и $\sin\alpha$ в выражение (II.11), получим $I = Gh/S_1$. Откуда $h = S_1 I/G$. Но по выражению (II.8) $I = Gv^2/gR$, следовательно,

$$h = \frac{S_1 G v^2}{gGR},$$

или, имея в виду воздействия на путь в кривой многих экипажей — поездов и условия (II.10), примем $G = \Sigma N_i P_i$. Тогда получим:

$$h = \frac{S_1 \Sigma N_i P_i v_i^2}{gR\Sigma N_i P_i}. \qquad (II.12)$$

Подставив в выражение (II.12) $S_1 = 1{,}6$ м, $g = 9{,}81$ м/с^2 и введя переводные коэффициенты, для того чтобы подставить v в км/ч, R в м, P в т, получим h, мм

$$h = 12{,}5 \frac{\sum_{i=1}^{n} N_i P_i v_i^2}{R \sum_{i=1}^{n} N_i P_i}, \qquad (II.13)$$

где $N_1, N_2, N_3, \ldots, N_i$ — число поездов определенного рода, например пассажирских, грузовых, пригородных, проходящих в сутки по данной кривой радиуса R;

$P_1, P_2, P_3, \ldots, P_i$ — масса поездов соответственно указанных родов, т;

$v_1, v_2, v_3, \ldots, v_i$ — скорости движения указанных поездов, проходящих по рассматриваемой кривой, км/ч.

По исследованиям ВНИИЖТа и Г. М. Шахунянца, к величине возвышения наружного рельса, определяемого по формуле (II.13), необходимо плюсовать добавку Δh, т. е.

$$h = 12{,}5 \frac{\Sigma N_i P_i v_i^2}{R \Sigma N_i P_i} + \Delta h. \qquad (II.14)$$

Добавочный член Δh учитывает влияние эксцентриситетов расположения экипажа в колее, ненадрессорного и надрессорного строений экипажа.

По исследованиям проф. Г. М. Шахунянца можно ориентировочно принимать для грузового движения $\Delta h_{гр} = 4$ мм, для пассажирского $\Delta h_п = 21$ мм, для смешанного

$$\Delta h_с = \frac{\Delta h_{гр} \Sigma (N_i P_i)_{гр} + \Delta h_п \Sigma (N_i P_i)_п}{\Sigma (N_i P_i)_{гр} + \Sigma (N_i P_i)_п}. \qquad (II.15)$$

Для линий с преимущественным пассажирским движением ВНИИЖТ предлагает принимать $\Delta h_п = 30$ мм, с преимущественным грузовым движением $\Delta h_{гр} = 20$ мм, в остальных случаях $\Delta h = 25$ мм.

Определение возвышения наружного рельса по условиям комфортабельности езды пассажиров. Большие величины непогашенных горизонтальных ускорений вызывают неприятные ощущения у пассажиров. В связи с ростом скоростей движения поездов приобретает особую важность принятие допускаемых величин непогашенных горизонтальных

ускорений $a_н$, обеспечивающих малоощутимую, комфортабельную езду.

Экспериментальными исследованиями В. С. Шаройко и А. Н. Курошвили установлено, что длительное и повторное воздействие непогашенного центробежного ускорения величиной до 0,8 м/с² включительно большинство людей переносит удовлетворительно. Непогашенное центробежное ускорение, равное 1 м/с², переносится удовлетворительно при немногократных и непродолжительных воздействиях.

На основании вышеуказанных исследований и работ ВНИИЖТа принята как осредненная норма непогашенного горизонтального ускорения $a_{доп} = 0{,}7$ м/с².

При $h = 0$ центробежная сила $I = mv^2/R = ma$ не компенсируется полностью, и непогашенное ускорение v^2/R вредно воздействует на человека. При $h \neq 0$ появляется центростремительная сила $H = G \sin \alpha = Gh/S_1 = mh/S_1$, где ускорение будет gh/S_1. При этом ускорение, которое сила $I—H$ сообщает массе человека, будет разностью центробежного v^2/R и центростремительного gh/S_1 ускорений и представляет непогашенное горизонтальное ускорение, т. е.

$$\frac{v^2}{R} - \frac{gh}{S_1} = a_н, \qquad (II.16)$$

которое существует практически всегда. Следовательно, надо ограничивать $a_н$ по условиям обеспечения пассажирам комфортабельности езды, т. е. принимать $a_{доп}$.

При v_{max}, когда возникает непогашенное центробежное ускорение при недостаточном размере h, выражение (II.16) можно написать так: $\frac{v^2}{R} - \frac{qh}{S_1} = a_{доп}$, откуда

$$h = \frac{v_{max}^2 S_1}{Rg} - \frac{S_1}{g} a_{доп}.$$

Принимая $S_1 = 1{,}6$ м, $q = 9{,}81$ м/с² и выражая h в мм, $a_{доп}$ в м/с² и v в км/ч, получим:

$$h = 12{,}5 \frac{v_{max}}{R} - 163 a_{доп}. \qquad (II.17)$$

За окончательное значение h следует принимать наибольшее из двух, определяемых по формулам (II.13) и (II.17). На железных дорогах МПС принято максимальное

возвышение 150 мм, но в отдельных случаях с разрешения МПС допускается и большее.

Максимальные значения h на дорогах некоторых других стран следующие: в США и Великобритании — 152, во Франции — 160 и 180, в Японии на линии Синкансен — 200, в ГДР, ФРГ, Болгарии, Румынии и Югославии — 120, в Польше — 130, в Венгрии — 110 мм. За рубежом возвышение наружного рельса над внутренним в принципе определяется на основе тех же исходных положений, которые здесь рассмотрены.

II.5. Переходные кривые

Переходные кривые служат для обеспечения такого перехода от прямого пути к круговому радиусом R, с кругового пути радиусом R_1 на круговой путь радиуса R_2, чтобы появляющиеся в кривой дополнительные силы не возникали внезапно. На переходной кривой должны быть осуществлены полностью отвод возвышения наружного рельса и отвод уширения колеи. Основной силой, связанной с наличием кривой, является центробежная сила I. В начале переходной кривой (НПК) она должна быть равна нулю, а в конце переходной кривой (КПК) — иметь максимальное значение $I = mv^2/R$. На переходной кривой сила I должна меняться постепенно от 0 до конечного значения. Так как в общем случае $I = mv^2/\rho$, то, очевидно, необходимо иметь в НПК $\rho = \infty$, а в КПК $\rho = R$.

Если отвод возвышения наружного рельса делать по закону прямой с углом γ (рис. II.13), то при движении экипажа колеса, катящиеся по наружному рельсу, в начале и в конце переходной кривой будут ударяться в него в вертикальной плоскости. Во избежание этого необходимо, чтобы в НПК и КПК угол γ был равен нулю. Но так как $\operatorname{tg}\gamma = dh/dl$, то надо, чтобы в НПК и КПК было $dh/dl = 0$.

При силе ветра $W_в = 0$ $h = \frac{S_1 \Sigma N_i P_i v_i^2}{qR\Sigma N_i P_i}$.

Обозначая средневзвешенную (по тоннажу) квадратичную скорость $\frac{\Sigma N_i P_i v_i^2}{\Sigma N_i P_i}$ через $v_{ср}^2$, будет иметь:

$$h = \frac{S_1 v_{ср}^2}{gR} \quad \text{и} \quad h = \frac{S_1 v_{ср}^2}{g\rho}.$$

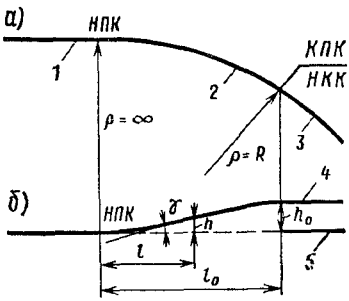


Рис. II.13. Схема положения переходной кривой:

а — план; *б* — профиль; *1* — прямая; *2* — переходная кривая; *3* — круговая кривая; *4* — уровень головки наружного рельса; *5* — то же внутреннего

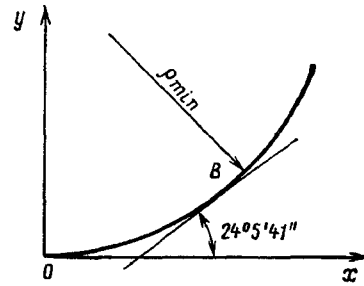


Рис. II.14. Интеграция предела применения кубической параболы

Обозначив через $A = S_1/g$ и $k = 1/\rho$ и имея в виду, что $A \cdot v_{ср}^2$ можно считать постоянной величиной, напишем $dk/dl = 0$.

Вследствие изменения ширины колеи и возвышения наружного рельса в переходной кривой возникают дополнительные силы, которых нет в прямой. Чтобы они не возникали внезапно, соответствующие им ускорения должны изменяться непрерывно, будучи в НКП и КПК равными нулю, т. е. $\frac{d^2k}{dl^2} = 0$.

В настоящее время считают практически возможным пренебречь некоторыми из указанных условий. Так, обычно допускают отвод возвышения наружного рельса по закону прямой, т. е. при малости угла γ (см. рис. II.13) принимают в НПК и в КПК $\frac{dk}{dl} \neq 0$.

При устройстве отвода возвышения h по прямой с уклоном $i = \operatorname{tg} \gamma$ для любой точки переходной кривой можно написать: $l = h/i$, а так как $h = Av_{ср}^2/\rho$, то, следовательно, $l = \frac{Av_{ср}^2}{i\rho}$.

Обозначим через $C = Av_{ср}^2/i$ и назовем эту величину параметром, тогда выражение для l получит такой вид:

$$l = C/\rho. \qquad (II.18)$$

Этому уравнению удовлетворяет кривая, называемая радиоидальной спиралью. Из формулы (II.18) при $\rho = R$ и $l = l_0$ $C = Rl_0$ называется геометрическим параметром кривой, а $C = Av_{ср}^2/i$ — физическим. Уравнение радиоидальной спирали в прямоугольной системе координат имеет следующий вид:

$$\left.\begin{aligned} x &= l - \frac{l^5}{40C^2} + \frac{l^9}{3456C^4}; \\ y &= \frac{l^3}{6C} - \frac{l^7}{336C^3} + \frac{l^{11}}{42\,240C^5}. \end{aligned}\right\} \qquad (II.19)$$

Здесь для нахождения ординат y задают длины переходной кривой, например 10 м, 20 м, 30 м и так далее, до значения l_0. Во многих случаях представляется возможным ограничиться первым членом в каждом ряду, т. е. принимать $x \approx l$ и $y = l^3/6C$. Заменив l его значением через x, получим уравнение кубической параболы

$$y = \frac{x^3}{6C}. \qquad (II.20)$$

Из дифференциальной геометрии известно, что в начале координат (рис. II.14) кривизна кубической параболы равна нулю. Затем она увеличивается и в некоторой точке B достигает максимума. После этого кривизна убывает и в бесконечности равна нулю. Точке B соответствует угол равный, 24°5′41″. Следовательно, кубическая парабола может быть применена в качестве переходной кривой лишь на отрезке $0B$. Если, как показали исследования Г. М. Шахунянца,

$$R \geqslant 1{,}602C^{5/9}, \qquad (II.21)$$

то кубическую параболу можно применять вместо радиоидальной спирали.

Длина переходной кривой l_0 определяется из разных условий:

обычно при прямолинейном отводе возвышения наружного рельса ее принимают из условия плавного отвода этого возвышения, т. е.

$$l_0 = h/i, \qquad (II.22)$$

где i — уклон отвода возвышения наружного рельса, который ограничивается размерами, обеспечивающими предотвращение схода колес с рельсов внутренней нити ($i \leqslant 2\,‰$), а также обеспечивающими скорости подъема колеса на рельс ($i = 0{,}1\,v_{max}^{-1}$); в СССР при скорости до 120 км/ч $i = 1\,‰$, при скоростях 121—160 км/ч $i = 0{,}000\,6\,‰$; для $v = 200$ км/ч — $i = 0{,}0005‰$;

затем проверяют эту длину по условию ограничения скорости подъема колеса на возвышение:

$$l_0 = 10hv_{max}, \tag{II.23}$$

где v_{max} — максимальная установленная скорость движения поездов по данной кривой радиусом R;

из условия ограничения изменения непогашенного ускорения в единицу времени ψ по выражению

$$l_0 = \frac{v^3}{\Psi R}, \tag{II.24}$$

где Ψ — допускаемая величина изменения непогашенного ускорения, которая может приниматься в пределах 0,6—0,8 м/с³.

Из трех значений l_0 по формулам принимают наибольшее.

Элементы переходных кривых, необходимые для разбивки кривых на местности, зависят от способа разбивки. Различают три способа разбивки переходных кривых: сдвижка круговой кривой вовнутрь; введение дополнительных круговых кривых радиусом меньшим, чем у основной кривой; способ (Н. В. Харламова) смещения центра и изменения радиуса кривой.

Разбивка переходных кривых способом сдвижки заключается в следующем. От имеющегося на месте тангенсного столбика T_0 (рис. II.15) откладывают величину m_0, получают НПК — точку A. Переходную кривую строят по ординатам в соответствии с ее уравнением. Но для этого прежде всего находят m — расстояние от НПК до нового положения тангенсного столбика T. Затем определяют P — сдвижку основной круговой, φ_0 и все ординаты кривой.

Угол наклона переходной кривой в ее конце (в точке B) к горизонту φ_0, разбиваемой по закону радиоидальной спирали или по кубической параболе, определяется по формуле

$$\varphi_0 = \frac{l_0^2}{2C} = \frac{l_0^2}{2Rl_0} = \frac{l_0}{2R}. \tag{II.25}$$

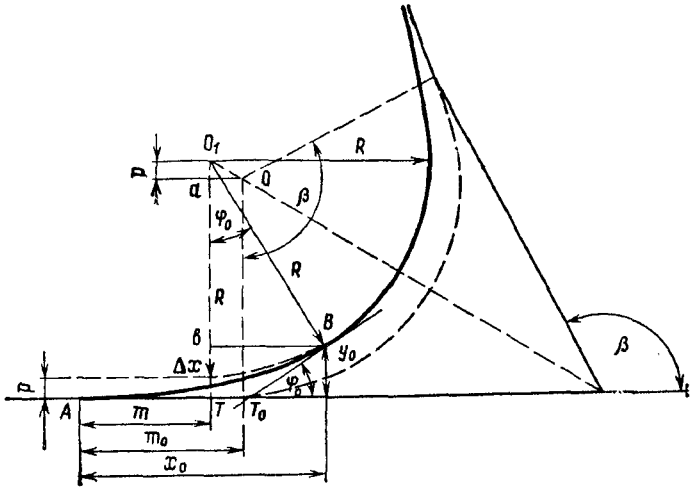


Рис. II.15. Расчетная схема разбивки переходных кривых способом сдвижки круговой кривой вовнутрь

При этом переходные кривые можно разбить, если

$$2\varphi_0 \leqslant \beta, \tag{II.26}$$

где β — угол поворота данной кривой.

Если $2\varphi_0 = \beta$, то круговой кривой не останется, ее заменят две переходные кривые. Если $2\varphi_0 > \beta$, то две переходные пересекутся — случай нереальный для разбивки.

Из рис. II.15 видно, что:

$$m = x_0 - R \sin \varphi_0; \tag{II.27}$$

$$P = y_0 - R\,(1 - \cos \varphi_0) = y_0 - 2R \sin^2 \frac{\varphi_0}{2}. \tag{II.28}$$

Тогда

$$m_0 = m + P \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}. \tag{II.29}$$

Для разбивки круговой кривой по таблицам координаты относительно НПК при $x > R \sin \varphi_0$ будут, очевидно, следующими:

$$\left.\begin{aligned} x_к &= m + x_{таб}; \\ y_к &= P + y_{таб}, \end{aligned}\right\} \tag{II.30}$$

где $x_{таб}$ и $y_{таб}$ — координаты круговой кривой, взятые из таблиц.

Рассмотренный способ обычно применяют в случаях, когда сдвижка P не превышает 25 см, длина кривой незначительная, а ширина основной площадки земляного полотна позволяет сделать полученную расчетом сдвижку P.

II.6. Укладка укороченных рельсов

Укороченные рельсы укладывают на внутренней нити кривой для того, чтобы установить рельсовые стыки обеих нитей по наугольнику, поскольку длина кривой по внутренней нити меньше, чем по наружной.

Определим для любого вида кривой величину, на которую внутренняя нить будет короче наружной для любого отрезка кривой между сечениями AA_1 и BB_1 (рис. II.16), заключенного в угле $\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$.

Длина наружной нити AB равна $\cup AB = \int\limits_{\varphi_1}^{\varphi_2} \rho_н d\varphi$, а длина внутренней нити $A_1B_1 \cup A_1B_1 = \int\limits_{\varphi_1}^{\varphi_2} \rho_в d\varphi$.

Укорочение при этом

$$\varepsilon = \int\limits_{\varphi_1}^{\varphi_2} \rho_н \, d\varphi - \int\limits_{\varphi_1}^{\varphi_2} \rho_в \, d\varphi = \int\limits_{\varphi_1}^{\varphi_2} (\rho_н - \rho_в) \, d\varphi,$$

или при $(\rho_н - \rho_в) = S_1$

$$\varepsilon = \int\limits_{\varphi_1}^{\varphi_2} S_1 \, d\varphi = S_1 (\varphi_2 - \varphi_1) = S_1 \varphi. \qquad (II.31)$$

Как известно, для переходной кривой $\varphi = l_0^2/2C$, а для круговой $\varphi = l_{кр}/R$. Таким образом, полное укорочение на переходной кривой $\varepsilon_{пк} = S_1 l_0^2/2C$, а на круговой $\varepsilon_{кр} = S_1 l_{кр}/R$. Суммарное укорочение на двух переходных кривых и на одной круговой

$$\varepsilon_с = 2\varepsilon_{пк} + \varepsilon_{кр} = S_1 \left(\frac{l_0^2}{C} + \frac{l_{кр}}{R} \right). \qquad (II.32)$$

На практике очень трудно добиться точного совпадения по наугольнику стыков внутренней и наружной нитей, по-

этому допускают некоторую разбежку, иначе потребовалось бы иметь много рельсов различной длины.

В СССР принято четыре типа укорочений: для рельсов длиной 12,5 м $K_1=40$ мм, $K_2=80$ мм и $K_3=120$ мм; а для рельсов длиной 25 м $K_2=80$ мм и $K_4=160$ мм. Несовпадение стыков допускают на величину, не превышающую половины укорочения K.

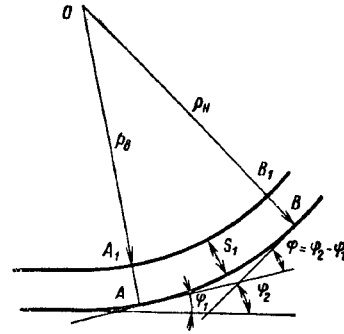


Рис. II.16. Расчетная схема для определения укорочения внутренней рельсовой нити кривой

Обозначим через $N_у$ число укороченных рельсов в одной системе кривых, например в двух переходных и одной круговой. При принятом стандартном укорочении K

$$N_у=\varepsilon_c/K. \qquad (II.33)$$

Порядок расчета и размещения укороченных рельсов в указанной системе кривых обычно принимают следующий:

устанавливают положение первого стыка относительно НПК;

определяют общее число звеньев в системе кривых по выражению

$$N=\frac{2l_0+l_{кр}}{l_{нр}}, \qquad (II.34)$$

где $l_{нр}$ — длина нормального стандартного рельса;

определяют суммарное укорочение ε_c по формуле (II.32) и число укороченных рельсов, укладываемых в данную систему кривых, по формуле (II.33);

составляют таблицу из шести столбцов для определения порядка укладки укороченных рельсов. В первом столбце такой таблицы показывают границы элементов пути в плане — переходных кривых и круговых; во втором дают номера рельсов и их домеров (м), переходящих с одного элемента пути на другой; в третьем приводят длины нормальных рельсов с учетом зазора в стыке, равного 0,01 м, и длины частей рельсов, переходящих с одного элемента плана пути на другой. В четвертом пишут расчетные укорочения элементов пути и рельсов (мм), в пятом — забеги или

отставания стыков (мм); в шестом столбце записывают, какой рельс надо уложить: укороченный или нормальный.

Забег (отставание) стыков внутренней нити относительно наружной и место укладки укороченного рельса можно определять по формуле

$$З_{п} = З_{п-1} + \varepsilon - K, \qquad (II.35)$$

где $З_{п}$ — забег в рассматриваемом стыке;
$З_{п-1}$ — забег в предыдущем стыке со знаком + или —;
ε — расчетное укорочение рельса или его части на рассматриваемом элементе пути;
K — стандартное укорочение рельса, принятое для расчета и укладки.

Если в выражении (II.35) сумма $З_{п-1} + \varepsilon$ не превышает половины стандартного укорочения, то величина K в нем должна отсутствовать, и в этом случае укладывать надо нормальный рельс. Если же сумма $З_{п-1} + \varepsilon$ больше половины стандартного укорочения, то в формуле член K присутствует, и в этом случае надо укладывать укороченный рельс. Таким образом и определится порядок укладки нормальных и укороченных рельсов на внутренней нити кривой.

При вычислении забега или отставания в каждом стыке по формуле (II.35) следует учитывать, что присутствие слагаемого K означает, что укладывается укороченный рельс, для того чтобы забег или отставание не превышали половины принятого укорочения.

В соответствии с вышеизложенным расчетное укорочение одного рельса или части его для круговой кривой

$$\varepsilon_{к} = S_1 \frac{l_{н}}{R}, \qquad (II.36)$$

где $S_1 = 1{,}6$ м;
$l_{н}$ — длина нормального рельса или его части, перешедшая на другой элемент плана;
R — радиус круговой кривой.

Например, при укладке в кривую $R = 800$ м нормальных 25-метровых рельсов и укороченных (длиной 24,92 м) с укорочением $K = 80$ будем иметь:

$$\varepsilon = S_1 \frac{l_{н}}{R} = 1{,}6 \frac{25{,}01}{800} = 50 \text{ мм},$$

здесь $l_{н} = 25{,}01$ с учетом длины на зазор, равный 0,01 м, а забеги (отставания) при совпадении начала круговой кривой со стыком, определенные по формуле (II.35), составят:

$З_1 = 0 + 50 - 80 = -30$ мм (укороченный рельс);
$З_2 = -30 + 50 = +20$ мм (нормальный рельс);
$З_3 = +20 + 50 - 80 = -10$ мм (укороченный рельс) и т. д.

Если же начало круговой кривой не совпадает со стыком, например находится от него на расстоянии 16 м, то первое укорочение будет определяться для части длины рельса, равной 25 — 16 = = 9 м, т. е.

$$\varepsilon_1 = S_1\, l_1/R = 1{,}6\,\frac{9}{800} = 18 \text{ мм},$$

а забеги (отставания) будут определяться так:
$З_1 = 0 + 18 = +18$ мм (нормальный рельс);
$З_2 = +18 + 50 - 80 = -12$ мм (укороченный рельс);
$З_3 = -12 + 50 = +38$ мм (нормальный рельс) и т. д.

В пределах переходной кривой укорочение для участка от начала ее до $l_п$ определяется по формуле

$$\varepsilon_п = S_1\,\varphi = S_1\,\frac{l_п}{2C}\,.$$

Для одного же рельса в пределах переходной кривой укорочение

$$\varepsilon_п = S_1\,\varphi = S_1\left(\frac{l_п^2}{2C} - \frac{l_{п-1}^2}{2C}\right),$$

где φ — центральный угол кривой $l_п - l_{п-1}$,
$l_п$ — участок переходной кривой от начала или конца ее, включая рельс, для которого определяется укорочение;
$l_{п-1}$ — участок переходной кривой от начала или конца ее за вычетом длины этого рельса.

Увеличение междупутных расстояний в кривых на двухпутных и многопутных участках делают потому, что при движении по кривым крайние части экипажей выдаются наружу, а середина — внутрь кривой. В связи с этим уменьшается установленное расстояние между отдельными точками экипажей, движущихся одновременно по разным путям одного и того же двухпутного участка. Кроме того, встречающиеся в кривой экипажи сближаются и в вертикальной плоскости в том случае, когда возвышение наружного рельса на наружной кривой больше, чем на внутренней. Междупутные расстояния увеличиваются в соответствии с техническими условиями проектирования железных дорог в зависимости от радиуса кривой.

Часть III

СОЕДИНЕНИЯ И ПЕРЕСЕЧЕНИЯ ПУТЕЙ

Соединения и пересечения рельсовых путей — это особые устройства верхнего строения, которые служат для перевода по ним поезда или отдельного железнодорожного экипажа с одного рельсового пути на другие, поворота экипажей на 180°, а также для пересечения путей в одном уровне.

В зависимости от назначения соединения и пересечения рельсовых путей могут быть осуществлены при помощи одиночных стрелочных переводов, глухих пересечений, комбинаций стрелочных переводов и глухих пересечений.

Глава 1. ОДИНОЧНЫЕ СТРЕЛОЧНЫЕ ПЕРЕВОДЫ

III.1. Особенности конструкции стрелочных переводов, требования к ним и виды одиночных переводов

Отличия стрелочных переводов от обычного пути на перегонах состоят в следующем: остряки прикрепляются к опорам только корневой частью, разрыв колеи в месте перекатывания колес с рамного рельса на остряк или с остряка на рамный рельс; в месте пересечения внутренних рельсовых нитей в зоне крестовины имеется разрыв рельсовой колеи; в зоне крестовины (в месте перекатывания колеса с усовика на сердечник или с сердечника на усовик) имеются вертикальные неровности. Под углом в горизонтальной плоскости колеса ударяются в стрелке в остряк, в крестовинной части — в усовики и в контррельсы; конструкции стрелки, крестовины соединительных путей и подрельсового основания неравноупруги; на соединительных путях, как правило, малый радиус кривой (200—300 м).

Указанные особенности вызывают дополнительное динамическое воздействие подвижного состава на элементы стрелочного перевода вследствие возникновения непогашенных вертикальных и горизонтальных ускорений. Это обусловливает требования к проектированию, устройству и содержанию стрелочных переводов, т. е. стрелочный перевод должен быть прочным, устойчивым и обеспечивать плавность и безопасность движения по нему поездов с максимальными установленными скоростями; стрелочный перевод должен быть простым и недорогим в изготовлении и эксплуатации и обладать наибольшим сроком службы.

Главные условия выполнения этих требований сводятся к следующим:

для обеспечения стабильности всех элементов перевода в процессе его работы под подвижным составом эти элементы должны быть, по-видимому, наибольших размеров и, следовательно, тяжелыми. В целях же экономии материалов, удобства при изготовлении, перевозках, погрузке, выгрузке и замене элементов перевода они должны быть по возможности наименьших размеров и легкими;

для уменьшения ударно-динамического воздействия на металлические элементы перевода необходимо, чтобы они были изготовлены из достаточно вязкого материала. Ввиду же концентрированной передачи давлений от колес на эти элементы для уменьшения местных смятий необходимо, чтобы материал, из которого изготовлены элементы, был довольно твердым; в целях облегчения ремонта и текущего содержания необходимо, чтобы на сети железных дорог имелось по возможности наименьшее число типов и видов стрелочных переводов. По условиям же специфики назначения стрелочных переводов одни и те же переводы нецелесообразно применять в различных эксплуатационных условиях.

Таким образом, требования и условия, которым должны удовлетворять стрелочные переводы, весьма важны и вместе с тем противоречивы. Ясно, что стрелочным переводом с оптимальными характеристиками следует считать такой, который для конкретных эксплуатационных условий в наибольшей степени удовлетворяет указанным требованиям

Одиночные стрелочные переводы (рис. III.1) по геометрическим формам в плане разделяются на обыкновенные, симметричные, разносторонние несимметричные и несимметричные односторонней кривизны.

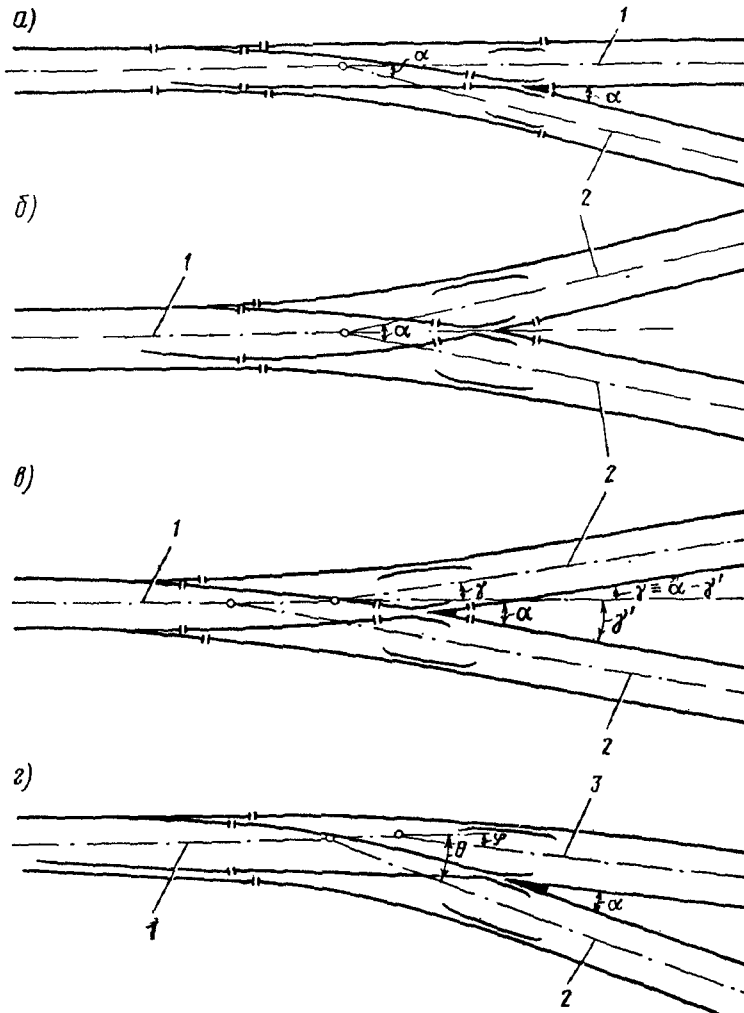


Рис. III.1. Одиночные стрелочные переводы:

а — обыкновенный; б — симметричный; в — разносторонний несимметричный; г — несимметричный односторонней кривизны; 1 — ось прямого пути; 2 — ось бокового пути; 3 - ось криволинейного пути

Обыкновенные стрелочные переводы — это главнейший вид как среди одиночных стрелочных переводов, так и в системе многих других видов соединений и пересечений рельсовых путей. Они наиболее распространены на всех железных дорогах мира. В СССР из всех видов соединений и пересечений рельсовых путей доля обыкновенных переводов составляет около 98 %.

III.2. Основные элементы обыкновенного стрелочного перевода и их конструкции

К основным элементам одиночного обыкновенного стрелочного перевода (рис. III.2) относят стрелку, комплект крестовинной части, соединительные пути и переводные брусья или другое подрельсовое основание.

Стрелка состоит из двух рамных рельсов, двух остряков, двух комплектов корневых устройств, переводного механизма, опорных и упорных приспособлений, скреплений и других деталей.

По форме в плане направляющих на ответвление остряков стрелки различают: с прямолинейными остряками; с криволинейным остряком секущего типа; с криволинейным остряком касательного типа.

В стрелках с прямолинейными остряками (рис. III.3) угол β, образованный рабочими гранями остряка и рамного рельса, называется стрелочным углом. Преимуществом таких стрелок считают возможность применения обоих остряков как для левопутной, так и для правопутной стрелки. Однако эти стрелки имеют сравнительно большой угол удара в остряк β, ухудшающий условия входа на ответвление. В СССР такие стрелки на магистралях не применяют.

В стрелках с криволинейным остряком секущего типа остряк примыкает к рамному рельсу под начальным углом в плане $\beta_н$ (рис. III.4, *а*), образующимся при теоретическом пересечении рабочей грани рамного рельса с рабочей гранью криволинейного остряка радиусом R_0. Стрелочный угол β при этом образован рабочей гранью рамного рельса и касательной к рабочей грани остряка в его корне.

К преимуществам данных стрелок относят: возможность получения длины перевода несколько короче, нежели при прямых остряках; более плавный вход подвижного состава на боковое направление перевода. Недостатки — невозмож-

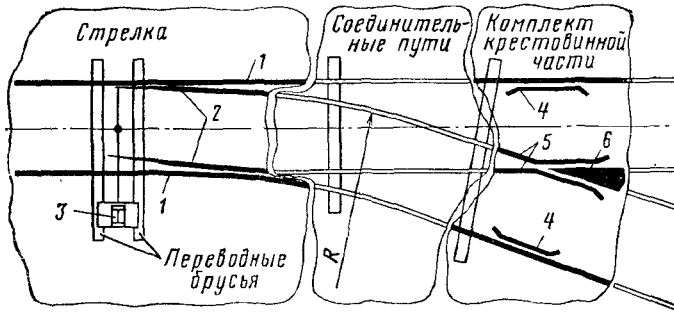


Рис. III.2. Одиночный обыкновенный стрелочный перевод.

1 — рамные рельсы; *2* — остряки; *3* — переводной механизм; *4* — контррельсы; *5* — усовики; *6* — сердечник

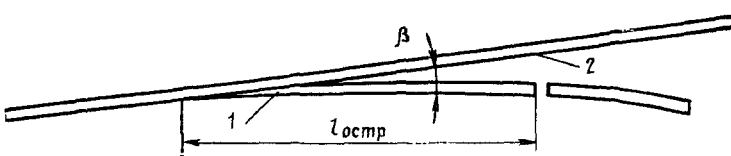


Рис. III.3. Полустрелка с прямым остряком:

1 — рабочая грань остряка; *2* — рабочая грань рамного рельса

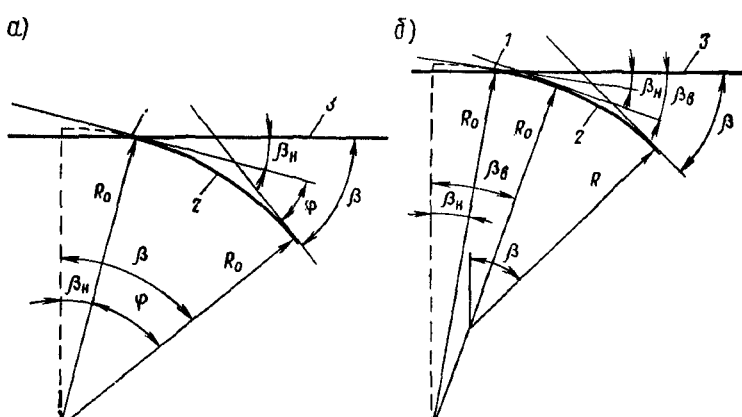


Рис. III.4. Полустрелки с криволинейным остряком секущего типа:

а — одного радиуса; *б* — двух радиусов; *1* — начало остряка; *2* — рабочая грань остряка; *3* — рабочая грань рамного рельса

ность применения одних и тех же остряков как для правопутной, так и для левопутной стрелки.

Криволинейные остряки секущего типа могут быть и двойного радиуса (рис. III.4, *б*): в начале — R_0, затем $R < R_0$. Это делается для того, чтобы улучшить плавность входа экипажей на ответвление перевода, уменьшить угол удара в остряк в его остроганной части. Такие стрелки лучше, чем стрелки с остряками одного радиуса.

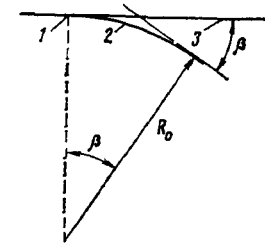


Рис. III.5. Полустрелка с криволинейным остряком касательного типа:

1 — теоретическое начало остряка; *2* — рабочая грань остряка; *3* — рабочая грань рамного рельса

В стрелках с криволинейным остряком касательного типа (рис. III.5) теоретическим началом остряка является точка его касания с рабочей гранью рамного рельса. По идее при остряках этого типа начальный угол $\beta_н$ должен быть равен нулю, практически же это осуществить нельзя, поэтому и здесь $\beta_н \neq 0$. Стрелочный угол β здесь образован так же, как и в стрелках с остряком секущего типа. Преимущества этих стрелок состоят в том, что можно добиться наименьшего начального угла $\beta_н$ и предоставляется лучшая возможность применения остряка переменного радиуса. Недостатки их те же, что и у стрелок с остряком секущего типа и, кроме того, остряки в своем начале более слабые, нежели остряки секущего типа. Такие стрелки у нас распространения не получили. Применяются они в ГДР, ФРГ, Франции и других странах.

Рамные рельсы (рис. III.6) представляют собой отрезки или целые рельсы стандартной длины. Рамные рельсы отличаются от обычных путевых: наличием в шейках, кроме отверстий на концах, дополнительных отверстий для прикрепления упорных болтов (рис. III.6, *а*) или упорных накладок и для прикрепления самого рамного рельса к башмакам-упоркам (рис. III.6, *б*) и через них к брусьям, а также для монтирования корневого устройства и деталей запорного и переводного механизмов; формой в плане — один из них прямой, другой, к которому примыкает прямой остряк, изогнутый в плане; подстрожкой боковой грани головки для укрытия начала остряка от удара подрезанных гребней.

Остряки представляют собой отрезки рельсов, остроганные на одном конце по расчетным координатам для плотного их прилегания к рамному рельсу и для накатывания на них колес подвижного состава. Строжка, отсекающая часть остряка в горизонтальной плоскости, называется горизонтальной, а строжка по высоте носит название вертикальной.

Горизонтальная строжка выполняется по плоскости с наклоном в 1/5. Вертикальная строжка согласно опыту и расчету связана с понижением верха остряка относительно поверхности катания рамного рельса. Для отечественных стрелок в сечении остряка 50 мм понижение равно 0; 20 мм — 2 мм; 5 мм — 15 мм; 0 мм — 25 мм.

Остряковые рельсы по поперечному сечению можно разделить на рельсы нормального профиля и рельсы специального профиля, пониженные и равновысокие с рамными рельсами.

Остряковые рельсы нормального профиля имеют много недостатков, поэтому в настоящее время в СССР они не изготовляются, а встречаются лишь в старых стрелках легкого типа.

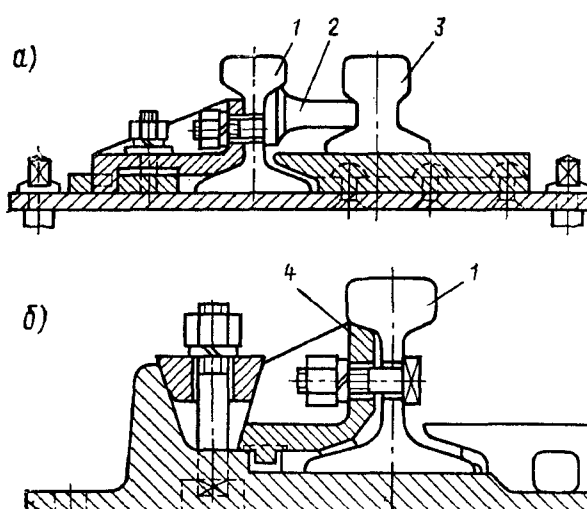


Рис. III.6. Поперечные сечения рамного рельса:

а — с показанием положения упорного болта; *б* — с показанием способа крепления рамного рельса к опоре; *1* — рамный рельс; *2* — упорный болт; *3* — остряк; *4* — упорка

Остряковые рельсы специального профиля пониженные применяются у нас в стрелках типов Р75, Р65 (рис. III.7) и Р50 несимметричного профиля, а в стрелках типа Р43 — симметричного профиля. Такие рельсы в наибольшей степени удовлетворяют требованиям, предъявляемым к острякам. Они значительно мощнее рельсов нормального профиля, не требуют ослабления рамного рельса прострожкой подошвы для примыкания к нему остряка и обладают большей устойчивостью против опрокидывания, нежели высокие рельсы. К их недостаткам относят необходимость выпрессовки корневой части под профиль нормального рельса для корневого устройства вкладышно-накладочного типа и гибких остряков.

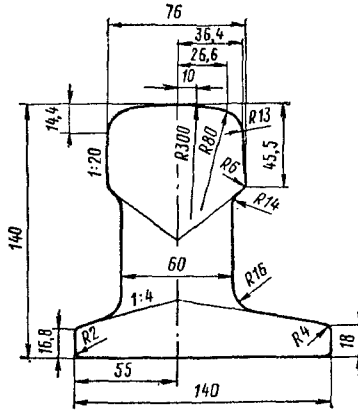


Рис. III.7. Поперечное сечение острякового рельса ОР65:

Остряковые рельсы специального профиля одной высоты с рамными рельсами нормального профиля в настоящее время в СССР не изготовляют. Они встречаются в старых переводах.

Корневое устройство предназначено для закрепления остряка в его корне и для обеспечения подвижности остряка в горизонтальной плоскости. Различают три его типа: шкворневое, вкладышно-накладочное и в виде обычного стыка с гибкими остряками.

Корневое устройство шкворневого типа имеет много недостатков и потому уже много лет не изготовляется, но на дорогах такие устройства можно увидеть в стрелках типов Р38, Р43 и Р50 старых конструкций.

Корневое устройство вкладышно-накладочного типа (рис. III.8) у нас применяют в стрелках почти всех типов (Р75, Р65, Р50), и оно является по сути дела основным. Конструкция его такова. Стык в корне —на весу, он смонтирован на мостике. В корне остряка между закрепленными упорками, рамным рельсом и остряком с примыкающим к нему рельсом переводной кривой вставлен чугунный или сталь-

ной вкладыш. Со стороны оси пути остряк и подходящий к нему рельс соединены 4-дырной накладкой, которая в середине несколько отогнута в сторону оси пути. Поэтому между остряком и накладкой имеется зазор, допускающий перевод остряка из одного положения в другое. Чтобы предварительно изогнутая в середине накладка при стягивании болтами не разгибалась, между ней и вкладышем (в шейке остряка) на первый от начала остряка болт надевают распорную втулку. Преимущества такой конструкции состоят в том, что она прочна, проста и малодетальна. Однако вкладышно-накладочному корневому устройству присущи и недостатки: при выпрессовке корневой части остряка в нем изменяется структура металла, поэтому износ остряка по длине происходит неравномерно; при высоких скоростях движения поездов и большой грузонапряженности пространство между остряком и вкладышем и между остряком и накладкой в его корне забивается пылью и мелким

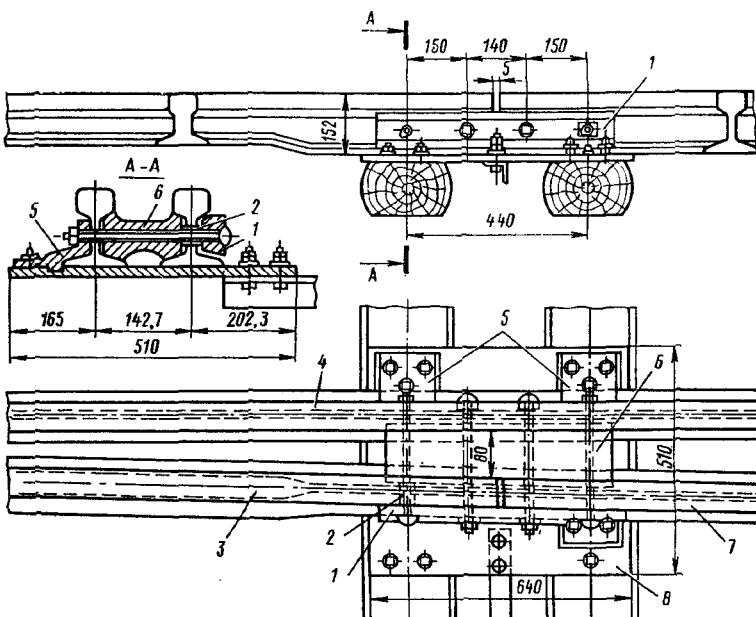


Рис. III.8. Корневое устройство вкладышно-накладочного типа:

1 — 4-дырная накладка; *2* — распорная втулка; *3* — остряк; *4* — рамный рельс; *5* — упорки; *6* — чугунный или стальной вкладыш; *7* — рельс переводной кривой; *8* — мостик

песком до такой степени, что затрудняется перевод остряка из одного положения в другое. Для удаления уплотненных засорителей корневое устройство надо разбирать.

Обычный стык при гибких остряках (рис. III.9) применяется для стрелок типа Р50 в переводах марки 1/18 и типа Р65 марок 1/11 и 1/22. Конструкция его следующая. В корне остряка стык ничем не отличается от обычного стандартного стыка. В корне остряк закреплен неподвижно. Через 1—3 шпальных пролета от корня подошву остряка сострагивают заподлицо с его головкой на протяжении 800—900 мм, делая отводы к полной ширине подошвы по 200—250 мм в каждую сторону. Это делают для того, чтобы уменьшить жесткость остряка в горизонтальной плоскости и позволить ему изгибаться в этом месте при его переводе из одного положения в другое. Поэтому остряки и называют гибкими. Ослабленная часть монтируется на лафете. В последнее время гибкие остряки стали применять и без острожки подошвы в месте их изгиба.

Конструкция корневого устройства с гибкими остряками считается наилучшей. Она проста, удобна в эксплуатации, прочна, устойчива и полностью лишена второго недостатка, присущего корневому устройству вкладышно-накладочного типа.

Стрелки с гибкими остряками применяют также в Болгарии, Венгрии, Чехословакии, Франции, ГДР и ФРГ.

К другим частям стрелки относят стрелочные подушки и башмаки, металлические листы — лафеты, связные полосы, упорные болты или скобы, стрелочные тяги и переводной механизм, костыли, шурупы, болты с гайками и другие детали. Подробное описание этих частей можно найти в курсах «Соединения путей».

Комплект крестовинной части состоит из собственно крестовины (сердечник и два усовика), двух стыковых устройств крестовины, двух контррельсов, лежащих против крестовины, опорных приспособлений, скреплений и других деталей.

Крестовины могут быть жесткие — без подвижных элементов и с подвижными элементами. В настоящее время наиболее распространены жесткие крестовины без подвижных элементов. Основные элементы такой крестовины — сердечник (рис. III.10) с рабочими гранями $O_кC$ и $O_кB$ и два усовика. Самое узкое пространство между усовиками в их первом изгибе называется горлом крестовины. Промежуток

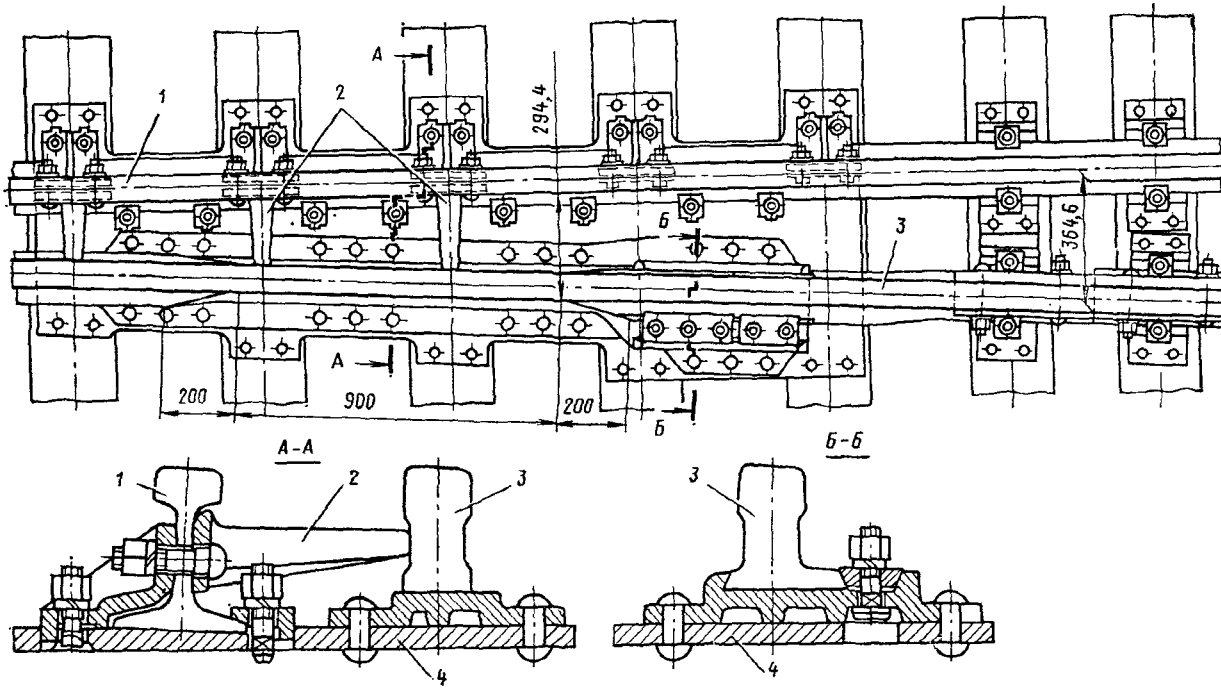


Рис. III.9. Корневое устройство при гибких остряках:

1 — рамный рельс; *2* — упорка; *3* — остряк; *4* — лафет

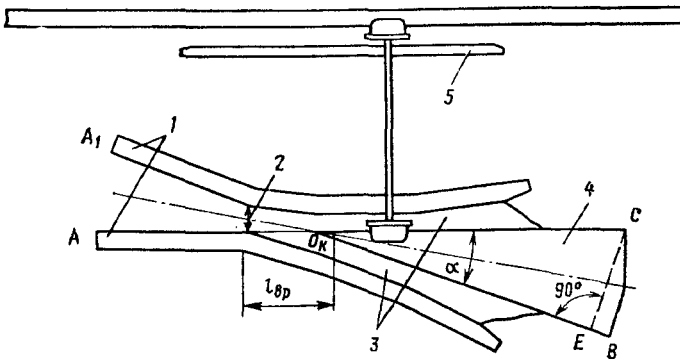


Рис. III.10. Общий вид крестовины:
1 — усовики; *2* — горло; *3* — желоба; *4* — сердечник; *5* — контррельс

между боковыми гранями усовика и сердечником представляет желоб для прохода колесных гребней. Точка пересечения рабочих граней усовиков и сердечника $O_к$ называется математическим центром, или острием крестовины.

Угол α, под которым пересекаются рабочие грани сердечника, называется углом крестовины. Он выражается в градусах или в виде дроби $1/N$ (N в большинстве случаев целое число), называемой маркой крестовины.

Марка крестовины связана с ее углом следующим образом (см. рис. III.10). Измерив прямую CE — перпендикуляр, опущенный из точки C на рабочую грань $O_кB$ сердечника, и длину этой грани, т. е. линию $C_кE$, выражают их отношение: $CE/O_кE = 1/N$ и принимают равным $\operatorname{tg}\alpha$, т. е. $1/N = \operatorname{tg}\alpha$.

В СССР крестовины обыкновенных переводов имеют в основном марки 1/9, 1/11, 1/18 и 1/22.

По форме рабочих граней в плане различают прямолинейные и криволинейные крестовины.

Прямолинейные крестовины (в которых рабочие грани прямолинейны по обоим направлениям) получили наибольшее распространение. Главнейшее их преимущество — возможность применения одной и той же крестовины для правопутных и для левопутных стрелочных переводов, а также в обыкновенном и симметричном стрелочных переводах.

У криволинейных крестовин боковое направление рабочей грани усовика и сердечника — искривленное. Такие

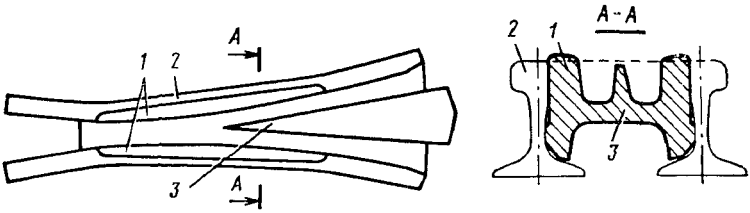


Рис. III.11. Сборная крестовина с литым сердечником типа общей отливки с изнашиваемой частью усовиков:

1 — изнашиваемые части усовиков; *2* — усовики; *3* — сердечник

крестовины распространены в ГДР, ФРГ, Франции и на дорогах промышленных предприятий в СССР. К недостаткам таких крестовин следует отнести: сложность изготовления; непригодность одной и той же крестовины как для левопутного, так и для правопутного перевода; невозможность укладки в симметричные стрелочные переводы.

По конструкции жесткие крестовины бывают сборно-рельсовые, сборные с литым сердечником и цельнолитые.

Сборно-рельсовые крестовины, полностью собранные из рельсов, в настоящее время в СССР не изготовляются. К недостаткам их относят многодетальность, а также меньшую взаимосвязь элементов, в связи с чем расстройства в них появляются быстрее, чем в крестовинах других конструкций.

Из крестовин с литым сердечником в СССР сейчас наиболее распространены сборные крестовины с литым односторонним сердечником общей отливки с изнашиваемой частью усовиков (рис. III.11). В таких крестовинах сердечник и изнашиваемые части усовиков представляют собой единую монолитную конструкцию, отлитую из высокомарганцовистой стали. Сердечник присоединяется к усовикам, изготовленным из типовых рельсов. Поверхность катания отлитых частей усовиков (см. рис. III.11) повышается на 5 мм над поверхностью катания путевых рельсов подобно усовикам цельнолитых крестовин. По сравнению со сборно-рельсовыми эти крестовины имеют больший срок службы и значительно меньше деталей. Широко распространены такие крестовины и в США. Вместе с тем связь элементов в этих крестовинах по сравнению с цельнолитыми менее прочна. Кроме того, конструкция достаточно сложна — при из-

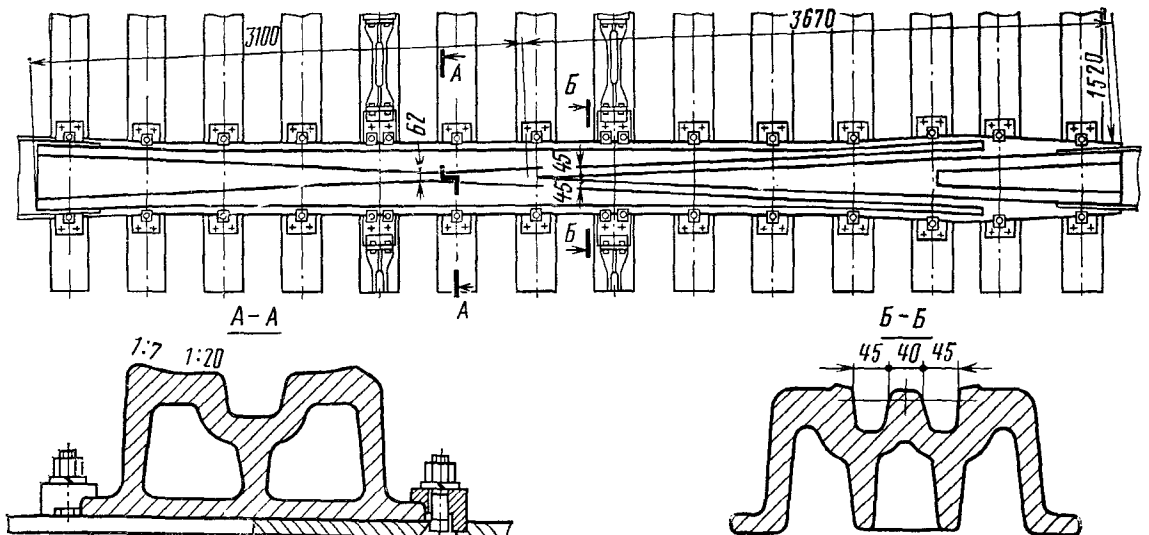


Рис. III.12. Цельнолитая крестовина

готовлении ее требуется не только выгиб, но и фигурный вырез в рельсах для усовиков.

Цельнолитые крестовины применяют на наших дорогах в стрелочных переводах типа Р65 марки 1/11 при скоростях движения поездов по прямому направлению 160 км/ч (рис. III.12). Широко используют цельнолитые крестовины во Франции и США. По сравнению со сборными крестовинами они малодетальны, более устойчивы и прочны, имеют больший срок службы при прочих равных условиях.

Представленная на рис. III.12 «скоростная» цельнолитая крестовина имеет полое сечение с диафрагмами жесткости; для более плавного перекатывания колес по крестовине поперечный профиль поверхности катания усовиков состоит по аналогии с профилем поверхности катания колес из двух участков: внутреннего с уклоном 1/20 и внешнего 1/7; отводы усовиков и контррельсов сделаны более пологими. Из жестких крестовин цельнолитые считаются лучшими.

Контррельсы в стрелочном переводе служат для направления колес подвижного состава в соответствующий желоб крестовины (рис. III.13). Их изготовляют как из обычных путевых рельсов, так и из рельсов специального профиля (рис. III.14). Контррельс своей средней частью должен перекрывать отрезок $l_в$ (см. рис. III.13) от горловины до сечения сердечника 40 мм. От среднего участка контррельса в обе стороны делают прямолинейные отводы, для чего контррельс изгибают под углом, примерно равным углу удара в остряк. На выходах ширина желоба 88—90 мм. Контррельсы соединяются с путевыми рельсами через вкладыши болтами.

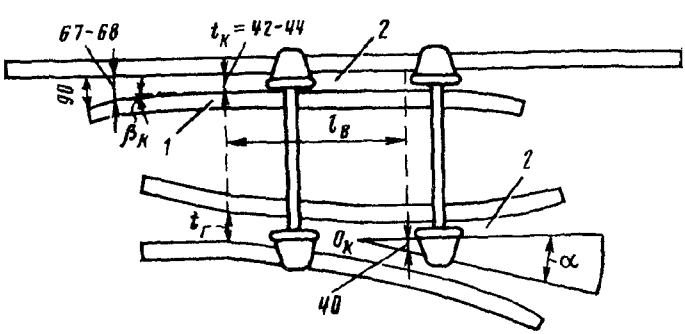


Рис. III.13. Крестовинная часть перевода:
1 — контррельс; 2 — желоб

Во избежание удара колеса в острие сердечника и для обеспечения плавного накатывания на элементы крестовины сердечнику и усовикам придают необходимые продольный и поперечный профили. В цельнолитых крестовинах и в крестовинах с литым сердечником типа общей отливки с изнашиваемой частью усовиков принято поднимать поверхности катания усовиков и снижать сердечник в его начале относительно поверхности катания рельсов (рис. III.15).

Если профиль изготовить с припуском металла на эксплуатационный наклеп (рис. III.16), то срок службы крестовин повысится в 1,3—1,5 раза по сравнению с типовыми крестовинами (не имеющими припуска на наклеп).

Крестовины с подвижными элементами. В настоящее время на дорогах мира из таких крестовин наиболее распространены крестовины с подвижным усовиком и с подвижным сердечником.

Крестовины с подвижным сердечником в СССР изготовляют двух типов: с подвижным сердечником из специальных остряковых рельсов с гибкими ветвями (рис. III.17) для реализации скоростей движения поездов по прямому направлению 200 км/ч и более, а также с подвижным поворотным сборным сердеч-

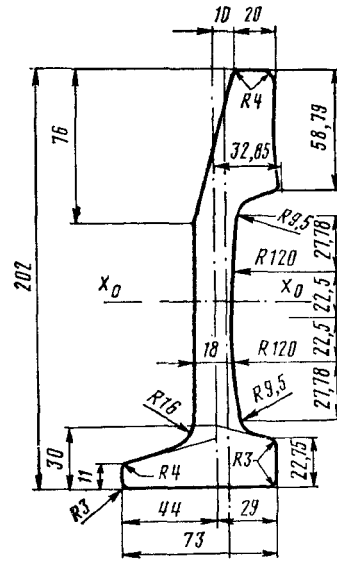


Рис. III.14. Профиль контрельса специального проката КР65 (тип Р65)

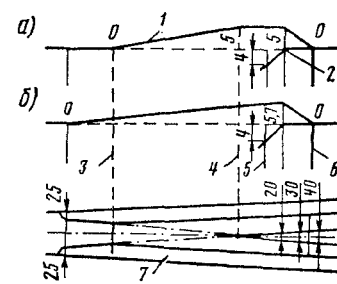


Рис. III.15. Продольный профиль сердечника и усовиков цельнолитой (*а*) и сборной с литым сердечником общей отливки (*б*) крестовин:

1 — линия усовика; *2* — линия сердечника; *3* — положение горла; *4* — положение математического центра крестовины (МЦК); *5, 6* — положение сечений сердечника, где ширина его 12 и 35 мм; *7* — схема литой части крестовины

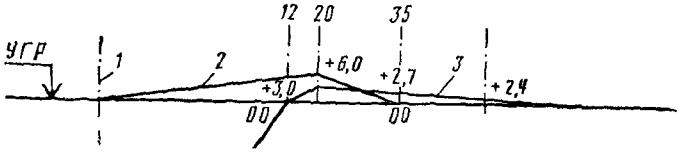


Рис. III.16. Продольный профиль сборной крестовины типа Р65 марки 1/11 с литым сердечником общей отливки, с изнашиваемыми частями усовиков, с припуском металла на эксплуатационный наклеп:

1 — горло; *2* — поверхность катания усовика; *3* — то же сердечника

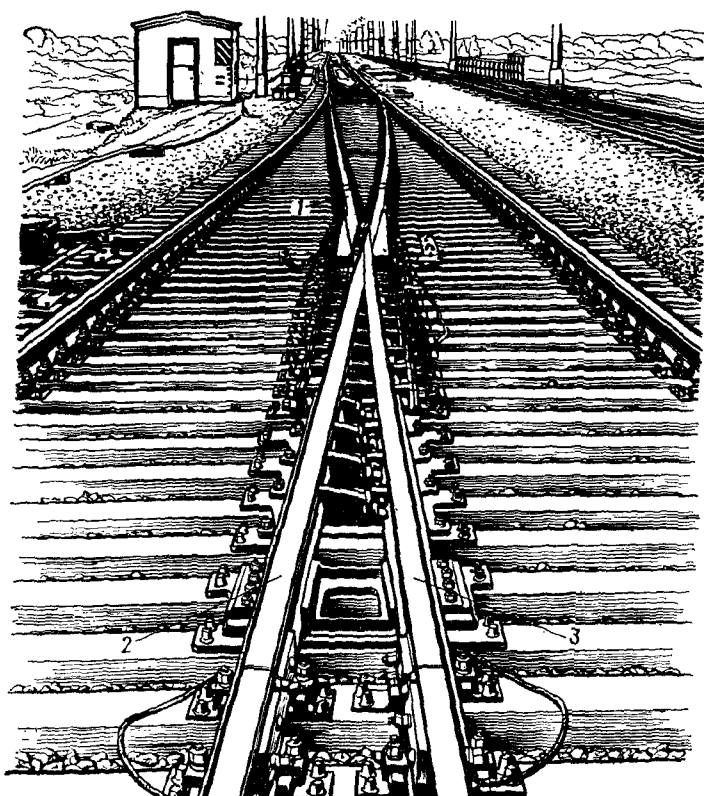


Рис. III.17. Крестовина с подвижным сердечником с гибкими ветвями из остряковых рельсов:

1 — усовик; *2* — короткий рельс сердечника; *3* — длинный рельс сердечника

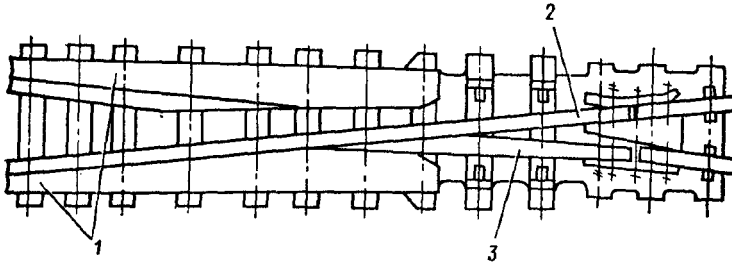


Рис. III.18. Крестовина с поворотным сердечником из остряковых рельсов:

1 — усовики; *2* — длинный рельс сердечника; *3* — короткий рельс сердечника

ником из специальных остряковых рельсов (рис. III.18). Отличаются эти крестовины тем, что при гибких ветвях в корне рельсы сердечника закреплены жестко, поэтому одна ветвь — один рельс сердечника в нерабочем положении несколько изогнут и находится под некоторым напряжением; при поворотном сердечнике его рельсы в корне прикрепляются, как в корневом устройстве вкладышно-накладочного типа.

Преимущества крестовин с подвижными элементами следующие:

при гибких ветвях создается непрерывная рельсовая колея, что позволяет поездам двигаться с той же скоростью, что и по перегону; обеспечивается срок службы в 4—5 раз больший, чем жестких крестовин; отпадает необходимость в контррельсах;

при поворотных сердечниках также создается непрерывность рельсовой колеи, обеспечиваются значительные скорости движения, больший срок службы по сравнению с жесткими крестовинами.

К недостаткам этих крестовин относят потребность в дополнительном переводном механизме, необходимость очищать желоба от грязи и снега, кроме того, для крестовин с гибкими ветвями нужны удлиненные сердечники (гибких ветвей) по сравнению с сердечником жестких крестовин.

Подрельсовое (подстрелочное) основание служит для объединения всей конструкции стрелочного перевода и для восприятия давления от колес подвижного состава через детали перевода и передачи его на балластный слой.

Подстрелочное основание может состоять из переводных брусьев, железобетонных плит или монолита.

Таблица III.1

Тип бруса	Толщина h, мм	Ширина наружной пласти, мм			Ширина внутренней пласти b_1, мм	Ширина по непропиленным сторонам b_2, мм	Высота пропиленной боковой стороны h_1, мм
		уширенная У	широкая Ш	нормальная Н			
Обрезные (А)							
I	180	220	200	—	260	—	150
II	160	220	—	175	250	—	130
III	160	—	200	175	230	—	130
Необрезные (Б)							
I	180	220	200	—	260	300	—
II	160	220	—	175	250	280	—
III	160	—	200	175	230	260	—

Переводные брусья бывают деревянные, металлические и железобетонные.

Деревянные переводные брусья наилучшим образом отвечают требованиям, предъявляемым к брусьям. Они облададают большой упругостью, значительной прочностью, простотой формы, удобством в эксплуатации. Поэтому они наиболее распространены на железных дорогах мира.

В СССР установлено три типа переводных брусьев двух групп: обрезные (А) и необрезные (В) (рис. III.19, табл. III.1). Для дорог МПС рекомендованы брусья I и II типов. Брусья III типа предназначены для подъездных путей промышленных предприятий.

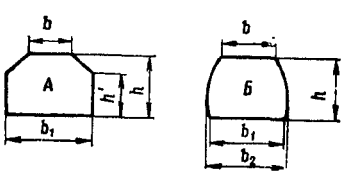


Рис. III.19. Поперечные сечения деревянных переводных брусьев

Длины брусьев приняты следующие: 3,00; 3,25; 3,50; 3,75; 4,00; 4,25; 4,50; 4,75; 5,00; 5,25 и 5,5 м. Брусья должны изготовляться из сосны, ели, пихты, лиственницы, кедра и березы.

Металлические переводные брусья применяются мало, главным образом, в странах, где климат не позволяет использовать деревянные брусья. Например, в Индии, где деревянные брусья в отдельных районах пожираются термитами за несколько месяцев. В настоящее время металлические переводные брусья служат на дорогах ГДР и ФРГ.

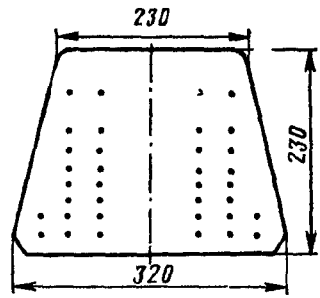


Рис. III.20. Поперечное сечение железобетонного переводного бруса (точками показано расположение арматуры)

Железобетонные переводные брусья (рис. III.20) изготовляют из предварительно напряженного железобетона. В СССР для переводов типа Р65 марки 1/11 брусья армируют 36 струнами диаметром 5 мм. Длина их от 2,75 до 5,25 м; количество в комплекте — 81. На брусья под подкладки скреплений КБ укладывают резиновые прокладки толщиной 6 мм.

Стрелочные переводы с железобетонными переводными брусьями типов Р50 и Р65 марки 1/11 уложены иа Северо-Кавказской, Белорусской и Прибалтийской железных дорогах.

К преимуществам использования железобетонных переводных брусьев можно отнести: экономию древесины, более высокую прочность по сравнению с деревянными брусьями, большую стабильность и сопротивляемость перемещениям, повышенную долговечность по сравнению с деревянными брусьями, возможность подбивки и более легкой одиночной смены по сравнению с плитами.

К недостаткам относятся повышенная жесткость конструкции перевода, большая масса каждого бруса, что требует специальных машин или механизмов для укладки и смены, высокая электропроводность, незащищенность балластной призмы от загрязнителей.

Железобетонные плиты. Наибольший опыт экспериментирования и эксплуатации железобетонных плит для стрелочных переводов накоплен в СССР. Первые стрелочные переводы типа Р50 марки 1/11 с плитами были уложены в 1961 г. В 1964 г. уложили около 50 комплектов переводов типа Р65 марки 1/11 с дюбельно-шурупным прикреплением

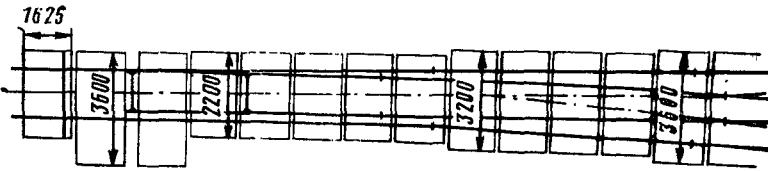


Рис. III.21. Схема укладки железобетонных плит

к плитам толщиной 160 мм и шириной 1625 мм металлических частей и с раздельным скреплением закладными болтами (рис. III.21).

В последние годы разработаны проекты более совершенной конструкции плиты (рис. III.22). Подрельсовая часть возвышается на 40 мм, увеличено углубление в бетоне для прокладок и подкладок до 25 мм (вместо прежних 12 мм) и предусмотрена укладка резиновых прокладок толщиной 14 мм.

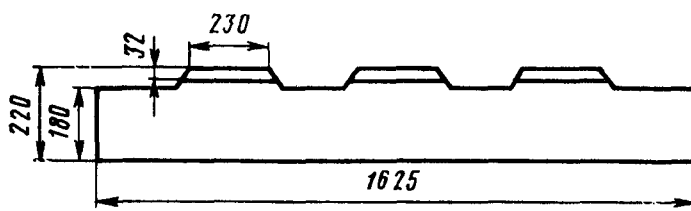


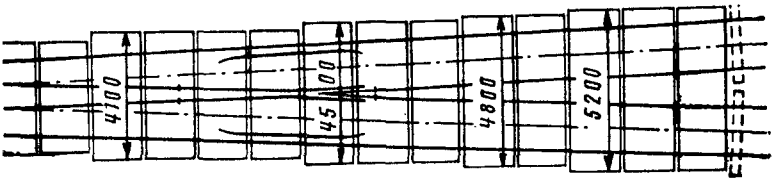
Рис. III.22. Поперечное сечение усиленной подстрелочной плиты

Соединительные пути представляют собой прямолинейный и криволинейный отрезки пути, соединяющие стрелку с крестовинной частью.

III.3. Сроки службы стрелок и крестовин

Несмотря на большую работу по улучшению и совершенствованию стрелочных переводов, долговечность стрелок и крестовин все же меньше, чем рельсов. Иногда она оказывается ниже гарантийной.

Срок службы стрелок и крестовин ограничивается их износом, зависящим от очень многих факторов. Важнейшие их них: качество металла, его износоустойчивость и проч-



под стрелочным переводом типа Р65 марки 1/11

ность; качество конструкций стрелок и крестовин в целом по геометрическим характеристикам и технологии изготовления; эксплуатационные условия — обращающиеся нагрузки, грузонапряженность, скорости движения поездов, качество укладки и содержания переводов.

Предельные нормы износа элементов стрелок и крестовин для железных дорог СССР установлены в зависимости от типа конструкции и скорости движения поездов.

Рамные рельсы быстрее изнашиваются в сечении, где ширина остряка равна 50 мм, а остряки — в сечении 20—30 мм. Сердечники крестовин наиболее интенсивно изнашиваются в сечении 20 мм, а усовики — против сечения сердечника 10—20 мм.

Вертикальный износ элементов стрелок и крестовин обычно аппроксимируют по формуле вида

$$h = a + bT, \qquad (III.1)$$

где a и b — коэффициенты, определяемые для совокупности изнашиваемых элементов статистически;
T — пропущенный тоннаж, млн. т брутто.

В СССР для стрелок и крестовин гарантийные сроки установлены по пропущенному тоннажу (млн. т брутто), при котором они должны работать в пути под нагрузкой не более 230 кН/ось (23 тс/ось) без поломок и повреждений и иметь износ в пределах установленного ПТЭ:

Крестовиины типа Р65 марок с литыми сердечниками из высокомарганцовистой стали . . .	70
То же Р50	60
То же Р43	40
Стрелки типа Р65	120
То же Р50	100
То же Р43	80

Исследования последних лет, проводимые в ЛИИЖТе, показали, что с технико-экономической точки зрения износ элементов стрелочных переводов целесообразно оценивать по допускаемому уровню силового взаимодействия колеса и этих элементов, вызываемого неровностями на них. Критерием оценки силового взаимодействия колеса и конструкций пути в пределах неровностей может быть при небольших скоростях движения глубина траектории движения центра тяжести колеса, при больших скоростях—кривизна траектории. Наиболее же универсальный критерий — уклон вертикальной траектории движения центра колеса.

Основные меры по продлению срока службы элементов стрелочных переводов следующие: улучшение качества металла стрелочной продукции и особенно упрочнение поверхностей катания; совершенствование и внедрение новых конструкций стрелок и крестовин — массовое внедрение гибких остряков, цельнолитых крестовин, раздельного скрепления, применение крестовин с подвижным сердечником в конкретно необходимых условиях; улучшение геометрических характеристик стрелочных переводов; введение полной стендовой сборки с тщательной подгонкой всех деталей; механизированная укладка переводов; совершенствование текущего содержания.

III.4. Определение и выбор основных размеров одиночных стрелочных переводов и компоновка их эпюр

Основные параметры стрелочных переводов это — начальный угол остряка и угол удара в остряк, углы удара в контррельсы и в усовики, форма переводной кривой и величины радиусов остряка и переводной кривой, марка перевода (крестовины).

В каждом конкретном случае в зависимости от условий эксплуатации стрелочных переводов (скоростей движения поездов, нагрузок на оси экипажей, грузонапряженности и т. д.) основные параметры обосновывают и определяют расчетом. Существует несколько методов определения основных размеров и параметров стрелочных переводов.

Определение основных геометрических размеров обыкновенного перевода. Представив в рабочих гранях схему (рис. III.23) одиночного обыкновенного стрелочного пере-

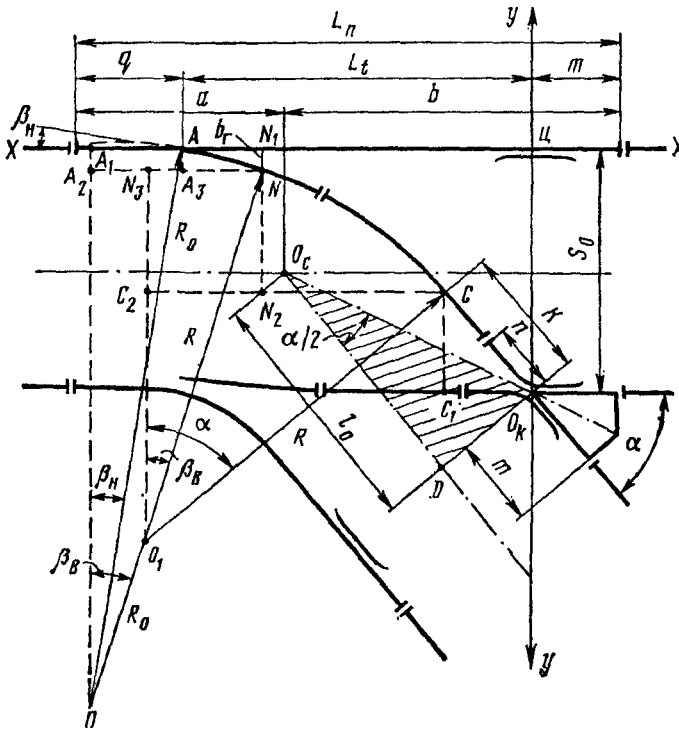


Рис. III.23. Схема в рабочих гранях обыкновенного стрелочного перевода с криволинейным остряком секущего типа

вода с криволинейным остряком секущего типа двух радиусов R_0 и R ($R_0 > R$), составим расчетные уравнения для определения основных размеров перевода. Примем следующие обозначения:

$L_п$ — полная, или практическая, длина стрелочного перевода;
L_t — теоретическая длина стрелочного перевода;
q — длина переднего вылета рамного рельса;
n — длина передней части крестовины;
m — длина хвостовой части крестовины;
R_0 — радиус кривизны остряка от его начала (точки A) до точки N, где сечение равно полной ширине головки остряка;
R — радиус кривизны остряка от точки N до его конца и переводной кривой;

$\beta_н$ — начальный угол остряка;
$\beta_в$ — угол наклона рабочей грани остряка к горизонтали в точке N;
α — угол крестовины;
$O_к$ — математический центр крестовины;
K — прямая вставка перед математическим центром крестовины;
S_0 — ширина колеи по прямому направлению стрелочного перевода.

Примем прямоугольную систему координат. Ось $y—y$ проходит через математический центр крестовины, а $x—x$ совпадает с рабочей гранью рельса прямой наружной нити. Спроецируем контур $ANCO_к$ на взаимно перпендикулярные координатные оси. Из рис. III.23 видно, что проекция контура $ANCO_к$ на ось $y—y$ выразится уравнением

$$R_0 (\cos \beta_н - \cos\beta_в) + R (\cos \beta_в - \cos \alpha) + K \sin \alpha = S_0. \quad (III.2)$$

Проекция контура $ANCO_к$ на ось $x—x$ получит выражение

$$R_0 (\sin \beta_в - \sin \beta_н) + R (\sin \alpha - \sin \beta_в) + K \cos \alpha = L_t. \quad (III.3)$$

Оба эти уравнения являются основными расчетными для определения главнейших характеристик стрелочного перевода. Дополнительным уравнением согласно рис. III.23 будет

$$q + L_t + m = L_п. \quad (III.4)$$

Неизвестных в этих уравнениях значительно больше, чем самих уравнений. Обычно неизвестными, подлежащими определению по этим уравнениям, являются L_t, R или K при известных α и S_0. Поэтому прежде всего следует найти q, m, $\beta_н$, R_0 и $\beta_в$.

Длина переднего вылета рамного рельса q обусловливает уровень напряжений в рамном рельсе и его деформаций. Эксперименты ЛИИЖТа показали, что чем плавнее отвод уширения колеи от начала остряков к переднему стыку рамного рельса, чем длиннее передний вылет q, тем меньше кромочные напряжения в рамном рельсе и упругие деформации в нем.

Поэтому, учитывая, что ширина колеи в начале остряков $S_{остр}$ всегда несколько больше, чем в переднем стыке рамных рельсов $S_{рр}$, величину q целесообразно принимать из условия плавного отвода уширения колеи:

$$q = (S_{остр} - S_{рр})/i, \quad (III.5)$$

где i — уширение рельсовой колеи на 1 м длины; для указанных целей величину можно принимать $i = 0{,}0005 \div 0{,}001$.

Определив q по выражению (III.5), его значение следует уточнить из условия рациональной раскладки брусьев по выражению

$$q = aM + \frac{c - \Delta - p}{2}, \qquad \text{(III.6)}$$

где a — пролет (расстояние между осями брусьев), который рекомендуется принимать равным $(0{,}9 \div 1)\, a_{пер}$;
$a_{пер}$ — средний шпальный пролет на перегоне для данного типа верхнего строения пути;
M — число пролетов;
C — стыковой пролет;
Δ — стыковой зазор;
p — ширина стрелочной подкладки — подушки под началом остряка.

Длину хвостовой части крестовины определяют в зависимости от угла крестовины, типа рельсов и конструкции крестовины.

Для крестовин цельнолитых и с литым сердечником теоретическую длину m находят по известному выражению

$$m = \frac{B + b + 5}{2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}, \qquad \text{(III.7)}$$

где B — ширина подошвы рельса данного типа;
b — ширина головки рельса данного типа;
α — угол крестовины;
5 мм — расстояние между подошвами рельсов, подходящих к хвосту крестовины, принимаемое с таким расчетом, чтобы у этих рельсов не строгались подошвы.

Однако величину m надо скорректировать по условиям раскладки брусьев под крестовиной, т. е. должна быть принята практическая длина хвостовой части крестовины по выражению

$$m_{пр} = \left(\frac{c'}{2} + M' a + \frac{10}{2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}} \right) \Big/ \cos \frac{\alpha}{2}, \qquad \text{(III.8)}$$

где c' — стыковой пролет в хвосте крестовины (при расположении стыка на сдвоенных брусьях или на весу при наличии мостика);
M' — целое число пролетов под сердечником крестовины от его сечения 20 мм до хвостового стыка;
a — пролет под крестовиной;
10 мм — половина ширины сердечника (в сечении 20 мм).

Величину начального угла остряка $\beta_н$ определяют или принимают:

на основании опыта применительно к величинам начальных углов $\beta_{нс}$ существующих стрелочных переводов с характеристиками стрелок, сходными с характеристиками проектируемой стрелки;

по ограничению потери кинетической энергии на удар по формуле

$$\beta_н = \arcsin\left(\frac{v_с}{v_п}\sin\beta_{нс}\right), \qquad (III.9)$$

где $v_с$ — скорость движения поездов по боковому направлению для существующего стрелочного перевода, апробированного долголетней практикой;

$v_п$ — скорость движения поездов по боковому направлению проектируемого стрелочного перевода;

$\beta_{нс}$ — начальный угол остряка указанного существующего стрелочного перевода.

Решающим фактором, обусловливающим комфортабельность езды, является воздействие на пассажира горизонтальных и вертикальных ускорений. Поэтому логично *определять величину радиуса остряка* R_0 с учетом ограничения допускаемых непогашенных ускорений $a_д$.

Приняв $a_д$ равным 0,8—1,0 м/с^2, а также скорость движения поездов $v_п$ на боковое направление проектируемого стрелочного перевода, можно в порядке первого приближения найти радиус остряка R_0 из выражения

$$R_0 = v_п^2/a_д. \qquad (III.10)$$

Согласно рис. III.23 угол

$$\beta_в = \arccos\left(\cos\beta_н - \frac{b_г}{R_0}\right). \qquad (III.11)$$

После того, как найдены или приняты q, m, $\beta_н$, R_0 и $\beta_в$, следует определить R, K, L_t и $L_п$, которых, как видно, больше числа уравнений.

Может быть ряд случаев:

задана практическая длина стрелочного перевода $L_п$, например по требованию взаимозаменяемости стрелочных переводов. При этом R и K неизвестны. В этом случае находят в первую очередь L_t из уравнения (III.4). Это значение L_t подставляют в уравнение (III.3), а затем два уравнения (III.2) и (III.3) с двумя неизвестными решают совместно относительно R или K;

задана величина прямой вставки K, при этом R и L_t неизвестны. В этом случае, пользуясь уравнением (III.2), определяют R, затем по уравнениям (III.3) и (III.4) находят L_t и $L_п$;

задан радиус переводной кривой R и неизвестными являются K, L_t и $L_п$. Тогда, пользуясь уравнением (III.2), определяют K, а затем по уравнениям (III.3) и (III.4) находят L_t и $L_п$.

Прямая вставка K необходима для того, чтобы обеспечить прямолинейное движение железнодорожного экипажа еще до входа в горло крестовины. Во всех случаях рекомендуется для переводов магистральных железных дорог величину K принимать не менее K_{min}, равной

$$K_{min} = n + \frac{l_н}{2} \qquad \text{(III.12)}$$

где n — практическая длина передней части крестовины;
$l_н$ — длина накладки.

Некоторые авторы рекомендуют принимать $K > n$ на 1,5—2 м. В типовых обыкновенных стрелочных переводах прямая вставка $K = 1124 \div 3585$ мм.

Осевые размеры стрелочного перевода a и b (см. рис. III.23), необходимые для разбивки, определяются следующим образом.

Расстояние от центра перевода до хвостового стыка крестовины, измеренное по оси любого пути,

$$b = \frac{S_0}{2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}} + m. \qquad \text{(III.13)}$$

Расстояние от центра перевода до переднего стыка рамного рельса, измеренное по оси прямого пути,

$$a = L_п - b. \qquad \text{(III.14)}$$

Если расчетная схема обыкновенного перевода принята такой, когда в стрелке радиус кривизны остряка по всей его длине один и тот же, т. е. $R_0 = R$, то расчетные уравнения будут иметь следующий вид:

$$R_0 (\cos \beta_н - \cos \beta) + R (\cos \beta - \cos \alpha) + K \sin \alpha = S_0, \qquad \text{(III.15)}$$

$$R_0 (\sin \beta - \sin \beta_н) + R (\sin \alpha - \sin \beta) + K \cos \alpha = L_t; \qquad \text{(III.16)}$$

$$q + L_t + m = L_п \qquad \text{(III.17)}$$

Решение этих уравнений аналогично решениям уравнений (III.2), (III.3) и (III.4), что для случая при $R_0 \neq R$.

Определение координат для разбивки переводной кривой обыкновенного стрелочного перевода. На практике иногда приходится укладывать несколько отличающихся от типовых стрелочных переводов — неэпюрных. В этом случае необходимо определить координаты для разбивки переводной кривой, так как для неэпюрной укладки пересчитываются основные размеры a, $L_п$, R по формулам (III.2) н (III.3).

Определение координат для разбивки переводной кривой одиночного обыкновенного стрелочного перевода с криволинейным остряком секущего типа. Рассмотрим способ определения координат для разбивки переводной кривой одиночного обыкновенного стрелочного перевода с криволинейным остряком двух радиусов R_0 и R ($R_0 > R$), при котором абсциссы x прямоугольной системы координат также принимаются заранее равными 2, 4, 6, 8 и т. д. метрам, а за начало координат принимается точка A (рис. III.24), находящаяся на рабочей грани рамного рельса против корня остряка или места изгиба (при гибких остряках).

Известными данными должны быть: $L_п$, $L_т$, R_0, R, $\beta_н$, $\beta_в$, K, α и S_0, которые определены или приняты ранее.

Абсцисса $x_к$ конца переводной кривой согласно рис. III.24 будет $x_к = R(\sin\alpha - \sin\beta)$ или

$$x_к = L_т - R_0(\sin\beta_{вг} - \sin\beta_н) - R(\sin\beta - \sin\beta_{вг}) - K\cos\alpha; \quad (III.18)$$

начальная ордината при $x = 0$

$$y_0 = R_0(\cos\beta_н - \cos\beta_{вг}) + R(\cos\beta_{вг} - \cos\beta); \quad (III.19)$$

текущие ординаты:

при $x_1 = 2$ м $y_1 = y_0 + R(\cos\beta - \cos\gamma_1)$;

при $x_2 = 4$ м $y_2 = y_0 + R(\cos\beta - \cos\gamma_2)$;

при $x = x_n$ $y_n = y_0 + R(\cos\beta - \cos\gamma_n)$; (III.20)

при $x = x_к$ $y_н = y_0 + R(\cos\beta - \cos\alpha)$, (III.21)

где углы $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \ldots, \gamma_n$ — находятся через $\sin\gamma_n$ по выражению

$$\sin\gamma_n = \sin\beta + \frac{x_n}{R}. \quad (III.22)$$

По определенным таким образом $\sin\gamma_n$ из таблиц тригонометрических функций находят величины углов и соответствующие значения $\cos\gamma_n$, которые и подставляют в

формулу (III.20). Конечную ординату $y_к$ можно проверить по выражению

$$y_к = S_0 - K \sin \alpha. \qquad (III\ 23)$$

Для вычисления ординат обычно составляют таблицу (табл. III.2), в которую сводят окончательные результаты расчета.

Определение основных геометрических размеров симметричного стрелочного перевода. Особенностями одиночного разностороннего симметричного стрелочного перевода являются: симметричность расположения всех его элементов относительно оси прямого пути или биссектрисы угла крестовины; оба соединительных пути перевода боковые;

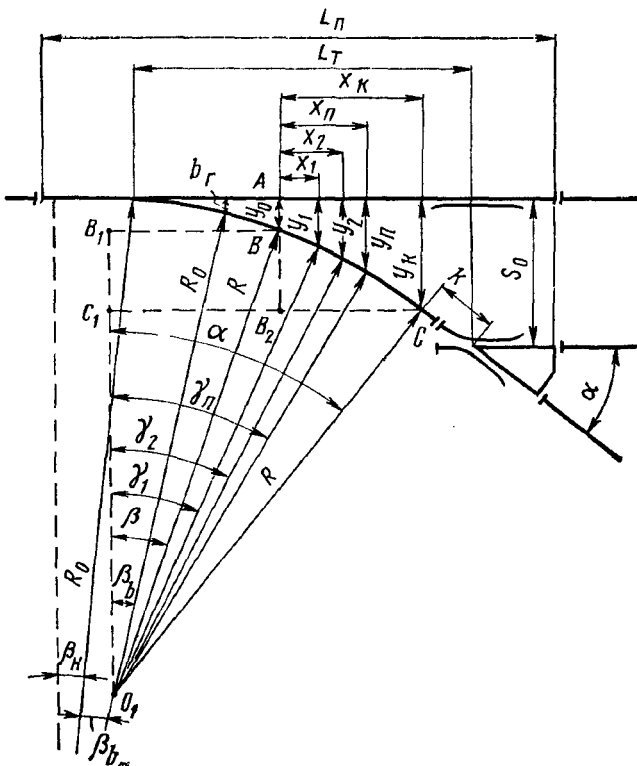


Рис III.24 Расчетная схема для определения координат переводной кривой

Таблица III.2

x_n, M	$\frac{x_n}{R}$	$\sin\gamma_n = \sin\beta + \frac{x_n}{R}$	$\cos\gamma_n$	$y_n = y_0 + R(\cos\beta - \cos\gamma_n)$
$x=0$	0	$\sin\gamma_0 = \sin\beta$	$\cos\gamma_0 = \cos\beta$	y_0 по формуле (III.19)
$x_1=2$	$\frac{2}{R}$	$\sin\gamma_1 = \sin\beta + \frac{2}{R}$	Находят по таблицам тригонометрических функций	$y_1 = y_0 + R(\cos\beta - \cos\gamma_1)$
$x_2=4$	$\frac{4}{R}$	$\sin\gamma_2 = \sin\beta + \frac{4}{R}$		$y_2 = y_0 + R(\cos\beta - \cos\gamma_2)$
. . . . .				
$x=x_n$	$\frac{x_n}{R}$	$\sin\gamma_n = \sin\beta + \frac{x_n}{R}$	То же	$y_n = y_0 + R(\cos\beta - \cos\gamma_n)$
$x=x_k$	$\frac{x_к}{R}$	$\sin\gamma_к = \sin\beta + \frac{x_к}{R}$	$\cos\alpha$	$y_к = y_0 + R(\cos\beta - \cos\alpha)$

при одинаковой длине остряков (прямых) углы, составляемые рабочими гранями остряков с направлениями прямого пути, примерно в 2 раза меньше, чем в стрелках обыкновенных переводов; при одинаковых радиусах переводных кривых симметричные переводы получаются короче; при одинаковых прямых вставках перед математическим центром крестовины радиус в симметричном переводе почти в 2 раза больше, чем в обыкновенном; при сохранении длины кривой и радиуса можно применить крестовины с бо́льшим углом, чем в обыкновенном переводе.

Эти особенности определили сферу применения одиночных разносторонних симметричных стрелочных переводов. В США их используют на главных путях, а в СССР такие переводы получили распространение при стесненных условиях — на станциях, особенно на подгорочных путях. Распространены они и на промышленно-заводских железных дорогах.

Представив схематично в рабочих гранях разносторонний симметричный перевод с прямыми остряками (рис. III.25) и приняв обозначения геометрических размеров, как и для обыкновенных переводов, составим расчетные уравнения.

Спроецировав контур $ABCO_к$ на горизонтальную ось, получим:

$$l_{остр} \cos \beta' + R\left(\sin \frac{\alpha}{2} - \sin \beta'\right) + K \cos \frac{\alpha}{2} = L_т, \quad (III.24)$$

где β'' — угол, образованный рабочей гранью остряка и продолжением прямолинейного направления рабочей грани рамного рельса, который может быть равным, а чаще больше половины стрелочного угла.

Проекция контура $ABCO_к$ (см. рис. III.25) на вертикальную ось будет

$$l_{остр} \sin \beta' + R\left(\cos \beta' - \cos \frac{\alpha}{2}\right) + K \sin \frac{\alpha}{2} = \frac{S_{остр}}{2}, \quad (III.25)$$

где $S_{остр}$ — ширина колеи в начале остряков.

Выражения (III.24) и (III.25) являются расчетными уравнениями для определения основных геометрических размеров одиночного симметричного стрелочного перевода. Соответственно схеме (см. рис. III.25) напишем третье дополнительное уравнение

$$q + L_т + m \cos \frac{\alpha}{2} = L_п. \quad (III.26)$$

Уравнения (III.24), (III.25) и (III.26) решают так же, как и уравнения при определении основных геометрических размеров одиночных обыкновенных переводов.

Осевые размеры симметричного перевода согласно рис. III.25 будут: $b = b_0 + m = \frac{S_0}{2\mathrm{tg}\frac{\alpha}{2}} + m$; $a = q + Z_т - \frac{S_0}{2\sin\frac{\alpha}{2}}$.

Компоновка эпюры одиночного обыкновенного стрелочного перевода. После расчета стрелки, крестовины, основных геометрических размеров перевода, длин рельсов и координат для разбивки переводной кривой переходят к составлению его эпюры, т. е. схематического чертежа, выполненного в масштабе 1/50 или 1/100. При этом прежде всего распределяют брусья у стыков, а затем под соединительными путями и определяют длины всех брусьев.

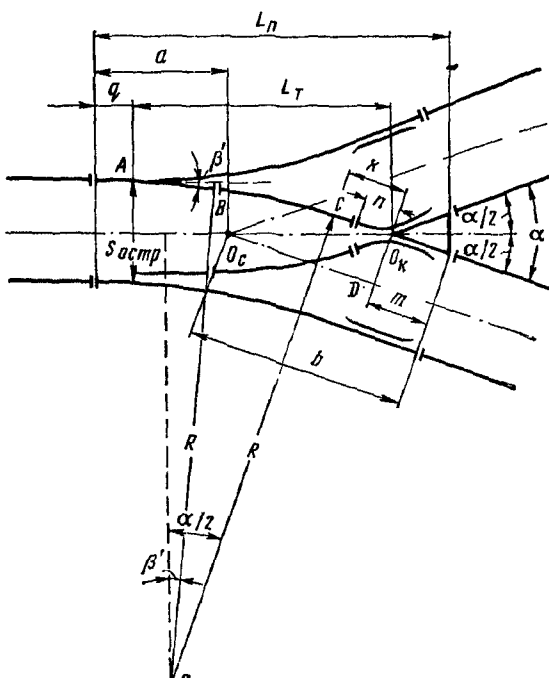


Рис. III.25. Схема в рабочих гранях симметричного стрелочного перевода

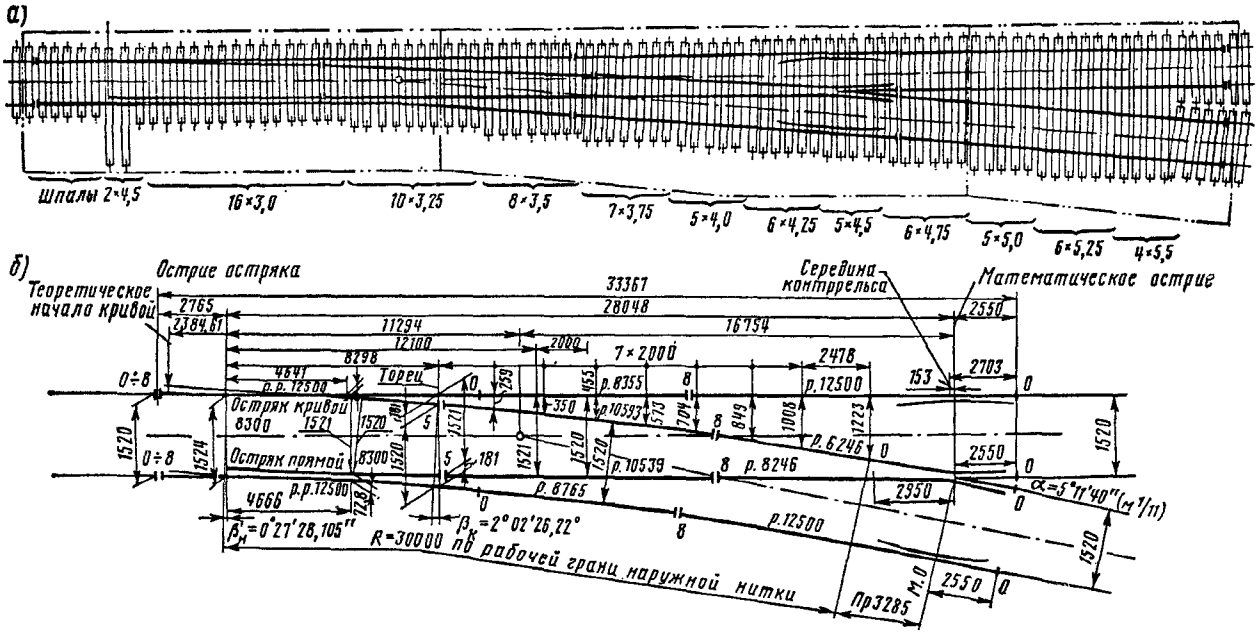


Рис. III.26. Эпюра стрелочного перевода типа Р65 марки 1/11:

а — укладка шпал и брусьев; *б* — геометрические характеристики

Таблица III.3

Тип перевода	Марка крестовины	Расстояние от оси переднего стыка рамного рельса до заднего стыка крестовины $L_п$	от острия остряка до математического острия крестовины $L_т$	от оси переднего стыка рамного рельса до центра перевода a	от центра перевода до заднего стыка крестовины b	от начала остряков до центра перевода a_0	от центра перевода математического острия крестовины b_0	от конца переводной кривой до математического острия крестовины K	Радиус переводной кривой по упорной нити R
Для колеи 1520 мм									
Р75	1/11	33 367	28 048	14 063	19 304	11 294	16 754	3285	300 000
Р65	1/22	70 540	60 446	31 954	38 586	26 920	33 536	1080	1 444 560
Р65	1/18	57 519	49 258	25 629	38 190	21 793	27 465	1113	961 690
Р65	1/18*1	61 814	49 258	25 629	36 185	21 793	27 465	2325	961 690*2 / 963 870
Р65 с подуклонкой	1/11	34 487	28 048	14 063	20 424	11 294	16 754	3285	300 000
Р65 с подуклонкой	1/11*1	37 647	28 048	14 063	23 584	11 294	16 754	3285	300 000
Р65	1/11	33 367	28 048	14 063	19 304	11 294	16 754	3285	300 000
Р65	1/9	31 039	66 180	15 227	15 812	12 458	13 722	1758	200 000
Р50	1/18	57 519	49 258	25 629	31 890	21 793	27 465	1113	961 690
Р50	1/11	33 529	26 902	14 475	19 054	10 148	16 754	3537	297 259
Р50	1/9	31 061	24 854	15 459	15 602	11 132	13 722	2018	200 000
Для колеи 1524 мм									
Р65	1/22	71 120	60 446	31 866	39 254	26 832	33 614	1124	1 440 000
Р65 и Р50	1/18	57 519	49 258	25 557	31 962	21 721	27 537	1139	960 000
Р65*3	1/11	34 437	28 048	14 063	20 424	11 294	16 754	3147	300 990
Р65	1/11	33 367	28 048	14 018	19 349	11 249	16 799	3240	300 000
Р65	1/9	31 039	26 180	15 191	15 848	12 422	13 758	1731	200 000
Р50 и Р43	1/11	33 529	26 902	14 430	19 099	10 103	16 799	3585	297 259
Р50 и Р43	1/9	31 061	24 854	15 423	15 638	11 096	13 758	2055	200 000

*1 Крестовина с подвижным сердечником.
*2 От острия остряка до абсциссы 21498 и далее радиус указан в знаменателе.
*3 С подуклонкой рельсов.

Таблица III.4

Тип рельса	Марка крестовины	Расстояние: от острия остряков до математического острия крестовины $L_т$	Расстояние: от переднего стыка рамных рельсов до центра перевода a	Расстояние: от центра перевода до заднего стыка крестовины b	Расстояние: от острия остряков до центра перевода a_0	Расстояние: от центра перевода до математического острия крестовины b_0	Расстояние: от конца переводной кривой до математического острия крестовины K	Радиус переводной кривой по рабочей грани наружной рельсовой нитки: от острия до абсциссы x_2	Радиус переводной кривой по рабочей грани наружной рельсовой нитки: от абсциссы x_1 до x_2	Радиус переводной кривой по рабочей грани наружной рельсовой нитки: от x_2 до конца кривой
Для колеи 1520 мм										
Р65	1/11	26 580	12 577	19 304	9 808	16 754	3529	600 000	600 000	600 000
Р65	1/9	25 210	14 235	15 812	11 467	13 222	2553	15 834 / 600 000	310 000	310 000
Р50	1/11	26 580	14 135	19 054	9 808	16 754	4495	7 135 / Прямая	540 000	540 000
Р50	1/9	25 210	15 791	15 602	11 467	13 722	1418,5	7 135 / Прямая	3 449 / 540 000	422 146
Р50*1	1/6	16 984	9 949	10 563	7 770	9 183	847	3 985 / 27 600	200 000	200 000
Р50*2	1/6	15 426	6 953	10 563	6 212	9 183	1150	200 770	200 770	200 770
Для колеи 1524 мм										
Р65	1/11	26 580	13 779	19 349	9 764	16 799	5139	7 000 / 765 000	500 000	500 000
Р65	1/9	25 910	15 446	15 848	11 431	13 753	1912	7 000 / 765 000	10 750 / 500 000	400 000
Р50 и Р43	1/11	26 580	14 091	19 099	9 764	16 799	5139	7 000 / 765 000	500 000	500 000
Р50 и Р43	1/9	25 210	15 758	15 638	11 431	13 758	1912	7 000 / 765 000	10 750 / 500 000	400 000
Р50*1	1/6	16 984	9 925	10 587	7 746	9 207	977	3 518 / 276 000	200 000	200 000
Р50*2	1/6	15 426	6 929	10 587	6 188	9 207	1206	200 770	200 770	200 770
Р43	1/6	15 426	6 929	10 407	6 188	9 207	1206	200 770	200 770	200 770

Примечание. В числителе — абсциссы x_1 и x_2; в знаменателе — радиусы на участке от предыдущей абсциссы до данной. *1 Переводы для приемо-отправочных путей. *2 Переводы для горочных путей.

Брусья под стрелкой и соединительными путями раскладывают перпендикулярно оси прямого пути, исключая участок в 5—10 пролетов за центром перевода, где переходят от перпендикулярности брусьев к оси прямого пути к перпендикулярности к биссектрисе угла крестовины. Пролеты под соединительными путями принимают равными (0,95 ÷ ÷ 1) $a_{пер}$, где $a_{пер}$ — средний шпальный пролет на перегоне, и по возможности одинаковыми. На эпюре (рис. III.26) указывают характерные величины, принятые и полученные расчетом.

Кроме эпюры, на этом же листе дается спецификация по всему переводу, содержащая данные по числу элементов и массе: стрелки, крестовины, переводного механизма, рельсов (включая их длины), брусьев, шпал, нормальных скреплений, потребных для одного перевода, которые не входят в комплекты стрелки, переводного механизма и крестовины.

Основные характеристики важнейших типов обыкновенных стрелочных переводов дорог СССР приведены в табл. III.3, а симметричных — табл. III.4 (все размеры даны в мм).

III.5. Стрелочные переводы для высоких скоростей движения

Одиночные стрелочные переводы для высоких скоростей движения можно разделить на две группы: первая — переводы наиболее распространенной марки, допускающие высокие скорости движения поездов по прямому направлению; вторая — переводы пологих марок, допускающие высокие скорости движения поездов по обоим направлениям.

Первая группа стрелочных переводов по масштабу распространения является главной. По таким переводам типа Р65 марки 1/11 в настоящее время реализуется скорость движения поездов по прямому направлению в 120 км/ч, на специальных с цельнолитой крестовиной — до 160 км/ч и с крестовинами с подвижным сердечником (с гибкими ветвями) — 200 км/ч и более.

Вторая группа стрелочных переводов пологих марок на дорогах СССР представлена обыкновенными переводами марок 1/18 и 1/22, допускающими движение поездов по боковому пути соответственно 80 и 120 км/ч.

Таблица III.5

Страна	Марка перевода (крестовины)	Вид перевода	Допускаемая скорость по боковому направлению, км/ч	Стрелка				Радиус переводной кривой R, м	Длина крестовины, мм	Полная практическая длина перевода $L_п$, мм
				Тип остряка	Длина остряка, мм	Начальный угол $\beta_н$	Радиус остряка $R_о$, м			
СССР	1/18	Обыкновенный	80	Секущий гибкий	15 500	0°25′	1698*1	960	6 575	57 519
	1/22	То же	120	То же	18 500	0°21′41,49″	3308*2	1440	11 540	71 120
США	1/20	»	80	Секущий	13 716	0°22′	1060	1060	9 411	53 310
	1/24	Симметричный	140	То же	11 887	0°15′40,35″	3000	3000	11 280	63 000
Франция	1/20	Обыкновенный	100	»	15 000	0°25′	2000	1300	8 200	58 172
	1/33	То же	140	»	16 000	0°18′	3000	3000	9 880	74 000
	1/62	»	220	»	36 900		6720*3	Кубическая парабола	27 000*4	208 440
ГДР и ФРГ	1/18,5	»	100	Касательный	15 400	0°9′55,25″	1200	1200	15 000*5	64 818
Голландия	1/20	»	120	Секущий	13 500	0°17′10,93″	2000	2000	11 985	57 020
Чехословакия	1/18,4	»	100	»	—	0°19′01″	—	1200	—	64 900

Примечания. 1698*1 — до сечения 40 мм; 3308*2 — до сечения 72.6 мм; 6720*3 — на длине остряка 18 м, а затем по кубической параболе; 27 000*4 — крестовина с подвижным сердечником; 15 000*5 — криволинейная.

Масштабы распространения стрелочных переводов пологих марок на сети дорог СССР незначительны. Тем не менее в ряде случаев они и только они настоятельно необходимы.

Для реализации высоких скоростей движения поездов по боковому направлению все страны мира идут на применение переводов пологих марок (табл. III.5) Как видно, наиболее пологими являются стрелочные переводы марок 1/62 и 1/33 (во Франции). Правда, масштабы распространения их на дорогах Франции весьма малы.

Глава 2. ГЛУХИЕ ПЕРЕСЕЧЕНИЯ

Глухие пересечения рельсовых путей на наших дорогах применяются только на станциях и промышленно-заводских путях, в других странах, например в США, и на перегонах.

Глухие пересечения разделяют на две основные группы: прямоугольные и косоугольные.

III.6. Прямоугольные пересечения

Прямоугольные глухие пересечения в свою очередь могут быть пересечениями путей с одинаковой шириной колеи (рис. III.27) и разноколейных рельсовых путей.

Прямоугольное глухое пересечение состоит из четырех крестовин, четырех контррельсов, одного внутреннего замкнутого по контуру контррельса и более мелких деталей.

В прямоугольных глухих пересечениях колесо при проходе разрыва рельсовой нити может резко ударять в сердечник или контррельс. Для предотвращения удара в сборных крестовинах в желоб между рельсом и контррельсом поме-

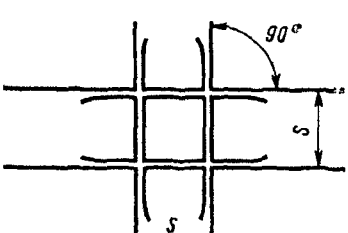


Рис. III 27. Прямоугольное глухое пересечение

щают вкладыш, по которому колесо катится своей ребордой. Концам вкладышей придается уклон 0,01—0,025.

По конструкции прямоугольные глухие пересечения могут быть сплошные цельнолитые, с литыми крестовинами, с литыми сердечниками и сборно-рельсовые. Прямоугольные глухие пересечения для путей с шириной колеи 1520 мм и рельсами типа Р50, а также с шириной колеи 1524 мм и рельсами типов Р50 и Р43 имеют цельнолитые крестовины. В большинстве случаев такие пересечения укладывают на деревянные брусья. В США иногда используют железобетонные плиты.

III.7. Косоугольные пересечения

Косоугольные, или ромбические, глухие пересечения бывают двух видов: пересечение путей одинаковой колеи (рис. III.28) и пересечение разноколейных путей. На магистральных дорогах применяются почти исключительно ромбические глухие пересечения двух прямолинейных путей с одинаковой шириной колеи.

Косоугольное глухое пересечение состоит из двух острых крестовин, двух тупых крестовин, рельсов и переводных брусьев. Геометрическая основа такого глухого пересечения — ромб с вершинами $O_к$, *1*, $O_к$ и *3*, показанными на схеме пересечения в рабочих гранях (см. рис. III.28). Основными геометрическими характеристиками ромба являются:

A — большая диагональ (ось) ромба глухого пересечения — расстояние $O_к$—$O_к$;

B — малая диагональ (ось) ромба глухого пересечения — расстояние *1*—*3*;

C — сторона ромба глухого пересечения — расстояние $O_к$—*1*; измеренное по рабочей грани рельса, усовика *n* и сердечника тупой крестовины m_1;

$L_п$ — полная или практическая длина глухого пересечения, *m*, *n*, m_1, и n_1 — размеры крестовин.

Если глухое ромбическое пересечение предназначено служить как самостоятельное устройство, то обычно принимают угол γ равным 75°, 60°, 45°, 30° и 2α, где α — угол крестовины одиночного обыкновенного стрелочного перевода. Если глухое пересечение предназначено для укладки в перекрестный съезд, то угол γ принимается равным 2α,

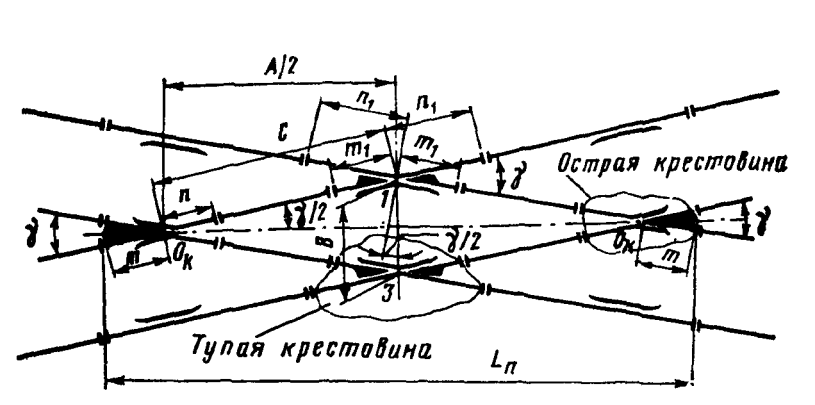


Рис. III.28. Косоугольное ромбическое пересечение

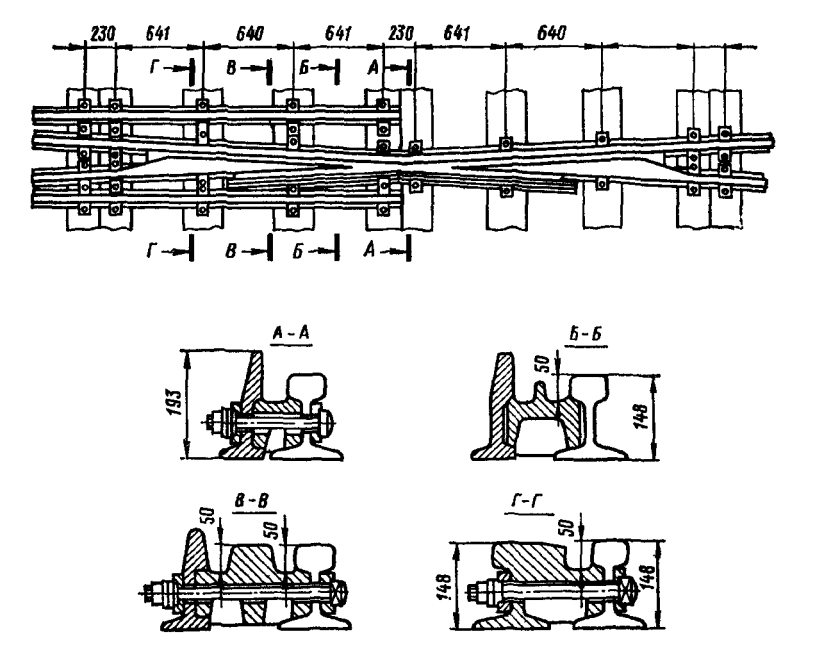


Рис. III.29. Сборная тупая крестовина с литым сердечником

Таблица III.6

Тип пересечения	Марка пересечения	Угол пересечения γ	Большая диагональ ромба A	Малая диагональ ромба B	Сторона ромба C	Расстояние по оси пути от центра пересечения до МО острой крестовины b_0
Пересечения колеи 1520 мм с колеей 1520 мм						
Р65 и Р50	2/11	10°23′20″	16 789	1526	8429	8360
Р65 и Р50	2/9	12°40′50″	13 764	1529	6924	6840
Р50	2/6	18°55′30″	9 246	1541	4687	4560
Пересечения колеи 1524 мм с колеей 1524 мм						
Р65, Р50 и Р43	2/11	10°23′30″	16 833	1530	8451	8382
Р65, Р50 и Р43	2/9	12°40′50″	13 800	1533	6943	6858
Р50 и Р43	2/6	18°55′30″	9 270	1545	4699	4572
Р43	—	45°	3 982	1650	2155	1840
Р43	—	27°	6 528	1567	3357	3171

если в перекрестный стрелочный перевод, то угол γ принимается равным углу крестовины α одиночного обыкновенного стрелочного перевода.

В тех случаях, когда тупые и острые крестовины глухого косоугольного пересечения имеют угол $\gamma = 2\alpha$, эти крестовины характеризуются марками $2/N$ и называются двойными.

Острые крестовины глухого косоугольного пересечения по конструкции принципиально ничем не отличаются от крестовин одиночных стрелочных переводов. Разница заключается лишь в размерах, обусловленных величиной угла γ.

Тупая крестовина глухого косоугольного пересечения отличается от острой крестовины тем, что в ней имеется два сердечника, а контррельс является составной частью непосредственно крестовины. По конструкции тупые крестовины могут быть цельнолитые, сборные, с литым сердечником

(рис. III.29) и сборно-рельсовые. Из рис. III.29 видно, что в тупых крестовинах контррельс возвышается над поверхностью катания сердечников и рельсов. Это возвышение необходимо для увеличения длины участка и направления гребней колес в нужный желоб при движении экипажа. Однако это возвышение не должно выходить за пределы габарита, наибольшее значение которого 50 мм. Поэтому в тупых крестовинах принято максимальное повышение контррельса 45 мм.

Высокий коитррельс в тупой крестовине переводов марки 1/9 не полностью перекрывает вредное пространство (неперекрытое составляет 67—95 мм). Поэтому на путях надвига вагонов на горку поперечные горизонтальные силы вызывали сход вагонов. Для предотвращения сходов современные тупые крестовины имеют подвижные сердечники, представляющие собой короткие остряки с выпрессованной корневой частью.

Основные размеры, мм, глухих косоугольных пересечений приведены в табл. III.6 (см. рис. III.28).

Глава 3. КОМБИНАЦИИ УКЛАДКИ СТРЕЛОЧНЫХ ПЕРЕВОДОВ И ГЛУХИХ ПЕРЕСЕЧЕНИЙ

III.8. Двойные стрелочные переводы

Двойные стрелочные переводы (рис. III.30) — это комбинации укладки элементов одиночных стрелочных переводов, к которым иногда прибегают, когда нет возможности уложить один за другим два обыкновенных перевода. Такие переводы разделяют на разносторонние симметричные, разносторонние несимметричные и односторонние.

Двойной разносторонний симметричный стрелочный перевод (рис. III.30, *а*) состоит из двух рамных рельсов, двух пар остряков (из которых внутренние короче наружных), трех крестовин (из которых две задние имеют одинаковые углы). Недостатки этих переводов — необходимость значительного ослабления остряков по условиям их взаимной пригонки, сложность обработки, конструктивного оформления и содержания. Поэтому такие переводы на магистральных дорогах применяют крайне редко.

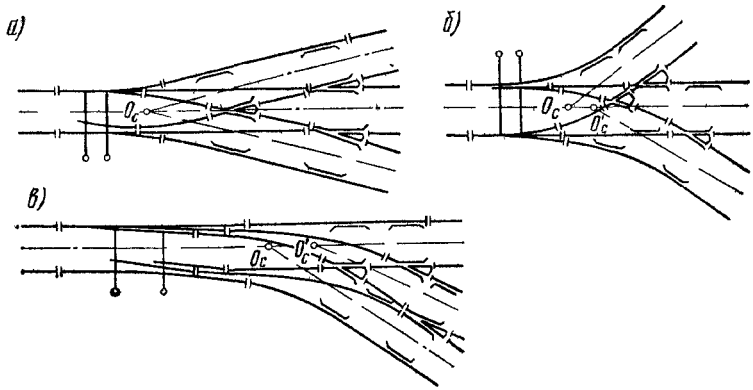


Рис III.30 Схемы в рабочих гранях двойных стрелочных переводов
а разносторонний симметричный, *б* — то же несимметричный, *в* – односторонний

Двойной разносторонний несимметричный стрелочный перевод (рис III.30, *б*) заменяет собой два одиночных — правый и левый, уложенных так, чтобы не было препятствий переводу вторых остряков из одного положения в другое и можно было свободно уложить контррельсы против крестовины. Конструктивно стрелки и крестовины двойного разностороннего несимметричного стрелочного перевода принципиально ничем не отличаются от стрелок и крестовин одиночных обыкновенных переводов. Но они имеют некоторое преимущество перед двойными симметричными — устройство стрелок у них проще. Эти переводы также весьма мало распространены на сети дорог.

Двойной односторонний стрелочный перевод заменяет собой также два одиночных перевода и состоит из двух стрелок, трех крестовин, соединительных путей и переводных брусьев. Бывает два вида таких переводов: в одном от прямого основного пути делается первое ответвление, от которого в свою очередь идет второе ответвление; в другом (рис. III.30, *в*) оба ответвления идут от прямого основного пути. Этот перевод по сравнению с двойным разносторонним симметричным и несимметричным проще в устройстве и эксплуатации и почти не уступает им по длине. Поэтому при необходимости применения двойных стрелочных переводов целесообразнее укладывать именно двойные односторонние.

III.9. Перекрестные стрелочные переводы

Перекрестный стрелочный перевод (рис. III.31) представляет собой комбинации укладки глухого косоугольного пересечения и элементов (стрелок) одиночных стрелочных переводов. Он позволяет двигаться поездам по четырем направлениям. Такой перевод заменяет собой систему, состоящую из двух обыкновенных стрелочных переводов. При этом он почти вдвое короче такой системы. Поэтому перекрестные переводы выгодно укладывать в стесненных условиях, особенно на тупиковых пассажирских станциях.

Таблица III.7

Тип рельса	Марка перевода	Большая диагональ ромба *A*	Малая диагональ ромба *B*	Сторона ромба *C*
		Для колеи 1524 мм		
Р65	1/9	27 558	1526	13 800
Р50	1/9	27 558	1526	13 800
Р43	1/9	27 558	1526	13 800
		Для колеи 1520 мм		
Р65	1/9	27 486	1522	13 764
Р50	1/9	27 486	1522	13 764

Окончание табл. III.7

Тип рельса	Расстояние по оси пути от центра перевода		Радиус переводного пути по упорной нити *R*	Размеры острой крестовины	
	до МО острой крестовины	до заднего стыка острой крестовины		Передний вылет *n*	Задний вылет *m*
			Для колеи 1524 мм		
Р65	13 758	15 848	243 000	2500	2090
Р50	13 758	15 638	243 000	2085	1880
Р43	13 758	15 638	243 000	2085	1880
			Для колеи 1520 мм		
Р65	13 722	15 812	243 000	2500	2090
Р50	13 722	15 602	243 000	2085	1880

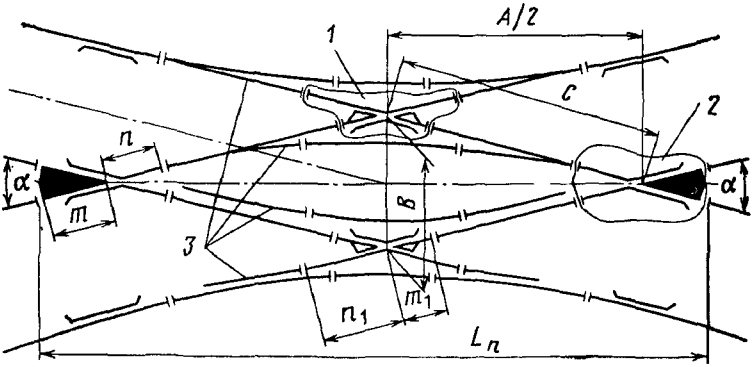


Рис. III.31. Двойной перекрестный стрелочный перевод:
1 — тупая крестовина; 2 — острая крестовина; 3 — остряки

Перекрестный стрелочный перевод состоит из двух острых крестовин; двух тупых крестовин; четырех пар остряков; рельсов между крестовинами, образующих нити прямых и кривых; переводных брусьев.

Размеры ромба перекрестного стрелочного перевода определяются с учетом того, что здесь $\gamma = \alpha$. Основные размеры, мм, двойных перекрестных стрелочных переводов дорог СССР приведены в табл. III.7.

III.10. Съезды между путями

Съезды устраивают для соединения двух близлежащих рельсовых путей посредством стрелочных переводов. Различают съезды: нормальный между двумя прямыми параллельными путями; сокращенный между двумя параллельными путями; нормальный перекрестный между двумя прямыми параллельными путями; сокращенный перекрестный между прямыми параллельными путями; между двумя прямыми непараллельными путями; между двумя криволинейными путями. Съезды последних двух видов могут быть и перекрестные.

Нормальный съезд между двумя прямыми параллельными путями представляет собой соединение путей посредством двух стрелочных переводов одной марки одного типа (рис. III. 32). Такие съезды на наших дорогах наиболее

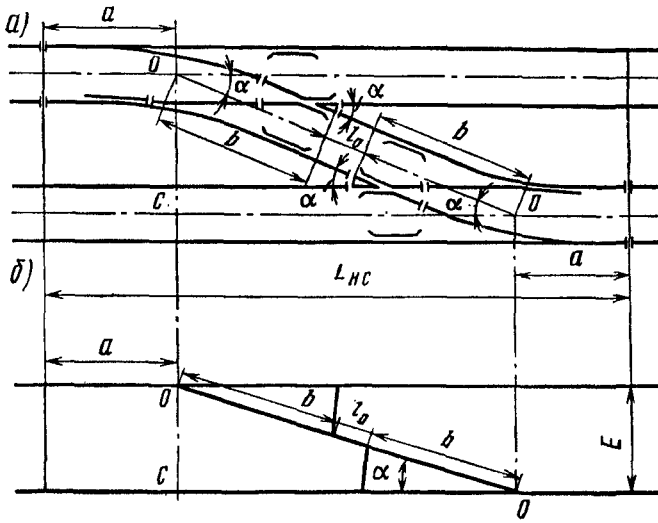


Рис. III.32. Нормальный съезд между двумя прямыми параллельными путями:

а — в рабочих гранях; *б* — в осях; $L_{нс}$ — длина съезда; l_0 — вставка между переводами

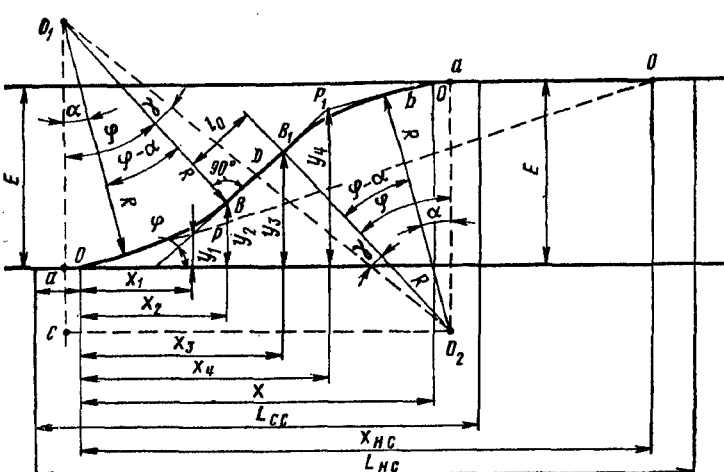


Рис. III.33. Сокращенный съезд между двумя прямыми параллельными путями

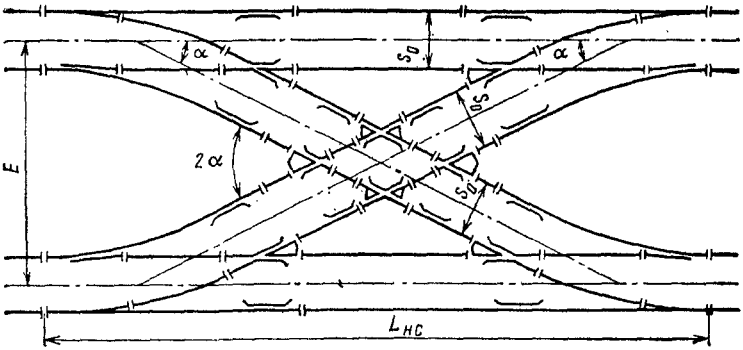


Рис. III.34. Нормальный перекрестный съезд

распространены, так как они просты в устройстве и содержании.

Сокращенный съезд между двумя прямыми параллельными путями (рис. III.33) применяется при больших междупутных расстояниях E (обычно при $E > 7$ м), чтобы получить наименьшую величину $L_{сс}$. Достигается это тем, что на соединительном пути между хвостами крестовин делают две обратные кривые, разделенные прямой вставкой l_0. Из рис. III. 33 видно, что x и $L_{сс}$ при сокращенном съезде короче, чем $x_{нс}$ и $L_{нс}$ при нормальном съезде (показано пунктиром).

Для определения необходимых элементов при разбивке сокращенного съезда следует прежде всего найти величины углов γ и φ. Из рис. III. 33 видно, что треугольник O_1BD прямоугольный, в нем известны сторона $O_1B = R$ и сторона $BD = l_0/2$ по построению, а также угол при вершине B, равный 90°. Из этого следует, что $\operatorname{tg} \gamma = l_0/2 \cdot O_1B = l_0/2R$, откуда $\gamma = \operatorname{arctg} \frac{l_0}{2R}$.

Гипотенуза треугольника O_1BD будет $O_1D = \sqrt{R^2 + \left(\frac{l_0}{2}\right)^2}$

Из другого треугольника O_1CO_2 угол φ найдется по выражению

$$\varphi = \arccos \frac{[2(R \cos \alpha + b \sin \alpha - E)]}{2R} \cos \gamma.$$

Зная углы φ и α, можно легко найти координаты x_1, y_1, x_2, y_2, x_3, x_4, y_4, а также величины x и $L_{сс}$.

Нормальный перекрестный съезд между двумя прямыми параллельными путями (рис. III.34) представляет собой пересечение двух обыкновенных съездов с помощью глухого ромбического пересечения марки $2/N$. Нормальный перекрестный съезд обеспечивает движение поездов по четырем направлениям на довольно коротком отрезке стрелочной горловины. Поэтому он и применяется в стесненных местах станции.

Сокращенные перекрестные съезды, все съезды между двумя прямыми непараллельными путями, а также все съезды между двумя криволинейными путями применяются весьма редко и только по индивидуальным проектам.

III.11. Стрелочные улицы

Стрелочной улицей называют путь, на котором расположен ряд стрелочных переводов, а иногда и глухих пересечений, на вполне определенных расчетных расстояниях одного от другого.

По назначению различают две главнейшие категории стрелочных улиц: первая включает в себя оконечные стрелочные улицы, т. е. расположенные в конце или в начале парка; вторая включает в себя промежуточные, или серединные, стрелочные улицы, обычно пересекающие парк.

По геометрическим формам в плане стрелочные улицы обеих категорий подразделяются на три группы: П — прямолинейные стрелочные улицы, оси которых прямые; Л — ломаные стрелочные улицы, у которых оси ломаные прямые; С — смешанные стрелочные улицы, у которых оси состоят из прямолинейных и криволинейных элементов.

Существует много вариантов стрелочных улиц. Рассмотрим некоторые из них:

оконечная прямолинейная (рис. III.35) из одиночных обыкновенных переводов, расположенных на основном или главном пути; в практике встречается наиболее часто;

оконечная прямолинейная, расположенная под углом α к основному пути, состоит только из одиночных обыкновенных стрелочных переводов (рис. III.36) и также значительно распространена на сети;

оконечная ломаная — состоит из одиночных обыкновенных стрелочных переводов, в которых угол наклона стрелочной улицы меняется на величину α, равную углу кресто-

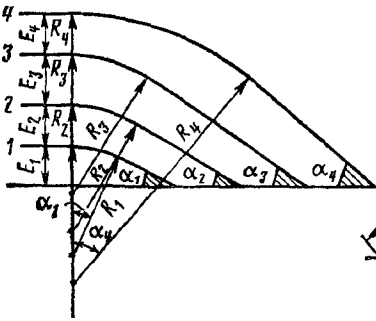


Рис. III.35. Стрелочная улица с расположением переводов на основном или главном пути

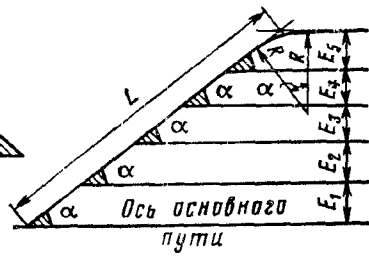


Рис. III.36. Стрелочная улица с расположением переводов под углом α к основному пути

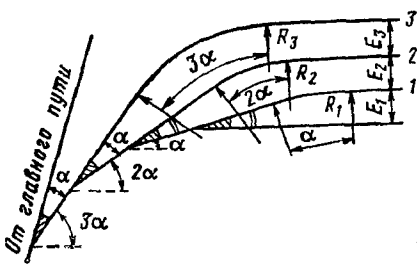


Рис. III.37. Стрелочная улица с расположением переводов, в которых угол наклона меняется на величину α

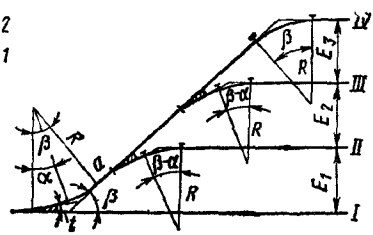


Рис. III.38. Стрелочная улица, расположенная под углом β к основному пути

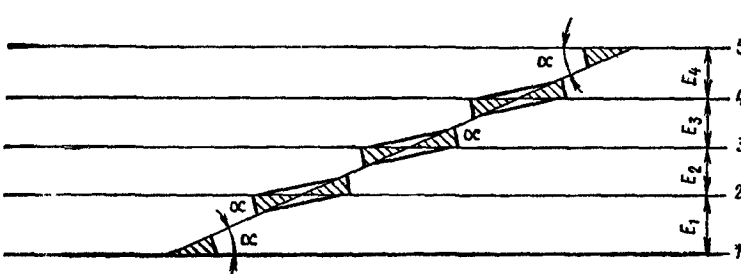


Рис. III.39. Промежуточная стрелочная улица

вины (рис. III. 37). Такие улицы распространены менее предыдущих. Их укладывают обычно в сортировочных парках. Удобно применять их тогда, когда голова парка расположена на кривой;

оконечная смешанная, состоящая из одиночных обыкновенных стрелочных переводов, расположенных под углом β к основному пути (рис. III. 38), обычно называется сокращенной. Она применяется в случаях, когда первое междупутное расстояние имеет значительные размеры;

промежуточная прямолинейная, состоящая из перекрестных и одиночных обыкновенных стрелочных переводов при параллельных путях (рис. III. 39), распространена, главным образом, в тупиковых парках. По эксплуатационным показателям такая стрелочная улица весьма выгодна, хотя и сложна в содержании.

Выбор, проектирование и укладка наиболее рациональных стрелочных улиц имеют большое значение при устройстве станций. Стрелочная улица должна обеспечивать безопасность движения поездов с установленными скоростями, наименьшие потери силы тяги при передвижении по ней экипажей, наименьшие пробеги при маневрировании подвижного состава, быть простой, удобной и дешевой при ее содержании, а также переустройстве и развитии станции.

Для сравнения вариантов стрелочных улиц по дополнительным потерям силы тяги или по дополнительному сопротивлению $W_д$ движению поезда по стрелочным улицам можно пользоваться выражением

$$W_д = nW_с + n' W_R,$$

где $W_с$ — дополнительное удельное сопротивление движению поезда только от стрелки при проходе по стрелочной улице, когда остряки в переводах поставлены на ответвление, кгс/т;

n — число переводов, которые проходит поезд по улице с указанным положением остряков;

W_R — дополнительное удельное сопротивление движению поезда от кривой, кгс/т;

n' — число кривых (переводных и сопрягающих), которые проходит подвижной состав на рассматриваемой улице.

Наименьшие пробеги подвижного состава при маневрировании определяются для каждого конкретного варианта стрелочной улицы отдельно.

III.12. Путевые поворотные устройства

Для поворота на 180° как отдельных единиц железнодорожного подвижного состава, так и целых поездов, служат поворотные круги, путевые петли и путевые треугольники.

Поворотные круги применяются, главным образом, в депо веерного типа, когда имеется лишь небольшая территория для использования под поворотное устройство Они представляют собой специальные механические устройства для соединения путей Подробное рассмотрение их конструкции здесь опускается

Петли служат для поворота на 180° целых поездов и отдельных единиц подвижного состава Они весьма удобны для быстрого поворота поездов без переформирования Поворотные петли могут быть с однопутным подходом при одиночном обыкновенном стрелочном переводе (рис. III 40), с однопутным подходом при одиночном симметричном стрелочном переводе и с двухпутным подходом

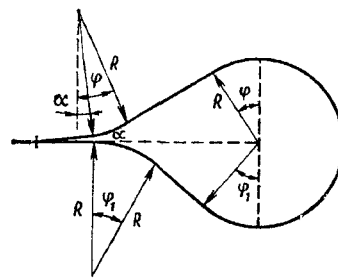


Рис III 40 Поворотная петля

Поворотные путевые треугольники служат для поворота на 180° только отдельных единиц подвижного состава. Это наиболее распространенное поворотное устройство как в СССР, так и за границей, поскольку оно просто, удобно в эксплуатации, а места для укладки требует немного

По форме в плане поворотные путевые треугольники могут быть симметричные с прямым основным путем (рис. III. 41), состоящие из двух одиночных обыкновенных и одного симметричного переводов; несимметричные с прямым основным путем, состоящие из трех одиночных обыкновенных стрелочных переводов; симметричные с

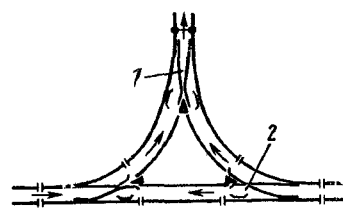


Рис. III 41. Симметричный поворотный треугольник

1 — симметричный стрелочный перевод, *2* — обыкновенный стрелочный перевод

Таблица III.8

Вид устройства	Число стрелочных переводов	Занимаемая площадь, га	Длина пробега при повороте, м	Суточная пропускная способность подвижного состава, единицы
Поворотный круг	0	0,09	30	288
Петля с однопутным подходом и симметричным переводом	1	12,45	1472	144
Треугольник симметричный с прямым основным путем (см. рис. III.41)	3	2,47	1142	144

криволинейными путями, состоящие из трех одиночных симметричных стрелочных переводов.

Технико-экономическая оценка каждого из видов поворотных устройств дается на основе сравнений суточной пропускной способности, длины пробега подвижной единицы при повороте, занимаемой площади, сложности поворотного устройства. В табл. III. 8 приведены характеристики путевых поворотных устройств (по данным В. В. Микони)

Часть IV

ЗЕМЛЯНОЕ ПОЛОТНО

Земляное полотно — это инженерная конструкция преимущественно из грунта, на которой размещается верхнее строение пути. Земляное полотно предназначено для восприятия давления от подвижного состава, передаваемого через элементы верхнего строения пути. От его состояния зависит работа верхнего строения.

Среди основных сооружений железнодорожного транспорта земляное полотно имеет по стоимости значительный удельный вес. Так, из общей стоимости 1 км строительной длины железной дороги на земляное полотно приходится более 25%.

Исходя из изложенного к земляному полотну предъявляются следующие требования: прочность, устойчивость, долговечность, экономичность постройки и содержания, постоянное исправное и опрятное состояние.

Глава 1. ПОПЕРЕЧНЫЕ ПРОФИЛИ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

IV.1. Общие сведения

Поперечным профилем земляного полотна называется разрез плоскостью, перпендикулярной его продольной оси.

Поверхность земляного полотна, на которую укладывают верхнее строение, называется основной площадкой, а линии пересечения основной площадки с откосами — бровками земляного полотна. Расстояние между бровками определяет ширину основной площадки. Боковые части основной площадки, не прикрытые балластом, называются обочинами.

В зависимости от положения основной площадки относительно поверхности земли различают несколько видов поперечных профилей (рис. IV.1): насыпи, выемки, полунасыпи, полувыемки, полунасыпи-полувыемки, нулевые места.

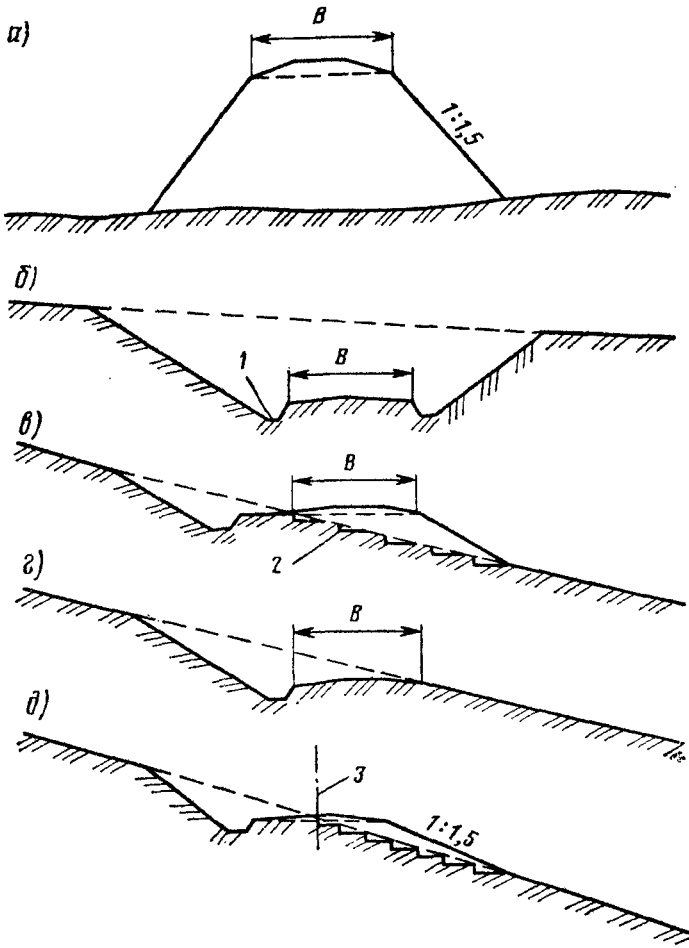


Рис. IV.1. Поперечные профили земляного полотна:
а — насыпь; *б* — выемка; *в* — полунасыпь; *г* — полувыемка; *д* — полунасыпь-полувыемка; *В* — ширина основной площадки; *1* — кювет; *2* — уступ; *3* — ось пути

Нулевые места, хотя они и неизбежны при переходе из выемки в насыпь, при проектировании продольного профиля не допускаются. Их заменяют насыпями высотой более толщины снегового покрова, но не менее 0,6 м. Это делается потому, что на нулевых местах путь легко заносится снегом.

Поперечные профили земляного полотна бывают типовыми и индивидуальными. Типовые в свою очередь подразделяются на нормальные и специальные.

Типовые нормальные профили — это такие проверенные многолетним опытом эксплуатации профили, которые применяются повсеместно при сооружении земляного полотна из обычных грунтов в обычных условиях.

Типовые специальные профили применяются при наличии некоторых местных особенностей. Однако их используют сравнительно часто, например при сооружении земляного полотна на вечной мерзлоте, в горных местностях.

Индивидуальные поперечные профили проектируются при высоте насыпей и глубине выемок более 12 м; при крутых или неустойчивых косогорах; устройстве выемок в переувлажненных грунтах, на болотах; при разработке выемок способами взрыва на выброс; при возведении насыпей способом гидромеханизации и при прочих неблагоприятных условиях.

Основная площадка земляного полотна под один путь (рис. IV. 2, *а*) для возможности укладки шпал перед балластировкой устраивается в виде трапеции высотой $h_0 = 0{,}15$ м с верхним основанием $B_0 = 2{,}3$ м, несколько менее длины шпалы 2,75 м. Это исключает образование замкнутых углублений под шпалами при вдавливании их в грунт основной площадки под тяжестью балластных составов. Скопление воды в таких углублениях привело бы к возникновению балластных корыт. В скальных и дренирующих грунтах основная площадка делается горизонтальной. Согласно рис. IV. 2, *а* ширина основной площадки земляного полотна однопутной линии B_1 может быть определена так:

$$B_1 = b_1 + 2d = B_0 + 2n_0 h_0, \qquad \text{(IV.1)}$$

где d — ширина обочины;
n_0 — уклон обочины.

Таблица IV.1

Категория линий	Число главных путей	Ширина основной площадки, м, при использовании грунтов		Категория линий	Число главных путей	Ширина основной площадки, м, при использовании грунтов	
		глинистых и недренирующих, песков мелких и пылеватых	скальных, крупнообломочных и песчаных дренирующих			глинистых и недренирующих, песков мелких и пылеватых	скальных, крупнообломочных и песчаных дренирующих
I	2	11,1	10,1	III	1	6,0	5,2
I	1	7,0	6,0	IV	1	5,5	5,0
II	1	6,5	5,8	V	1	5,5	5,0

Согласно ПТЭ ширина основной площадки земляного полотна эксплуатируемых и вновь строящихся дорог должна быть не менее: на однопутных линиях — 5,5 м, двухпутных—9,6 м; в скальных и дренирующих грунтах не менее: на однопутных — 5,0 м, двухпутных — 9,1 м. Минимальная ширина обочины 0,4 м.

На кривых участках пути радиусом менее 2000 м при возвышении наружного рельса основную площадку с наружной стороны кривой уширяют для сохранения нормальных размеров обочины на 0,1—0,5 м в зависимости от радиуса кривой.

На вновь строящихся участках ширину основной площадки принимают в зависимости от категории линий[1] (табл. IV. 1).

Очертание основной площадки земляного полотна двухпутных линий имеет вид треугольника высотой 0,2 м (рис. IV. 2, *б*) для стока воды, проникающей через балласт

Ширина основной площадки земляного полотна для дорог с двумя и более путями на прямых, в том числе и на станциях, определяется по формуле

$$B = B_1 + \sum_{i=1}^{i=n} E_i, \qquad (IV.2)$$

где E_i — расстояние между осями путей;
n — порядковый номер междупутья;
B_1 — определяется по выражению (IV.1).

[1] I категория — железнодорожные магистрали; II — линии, обеспечивающие межрайонные перевозки; III и IV — линии местного значения и подъездные пути; V — подъездные пути, обслуживаемые маневровым или поездным порядком со скоростью не более 40 км/ч.

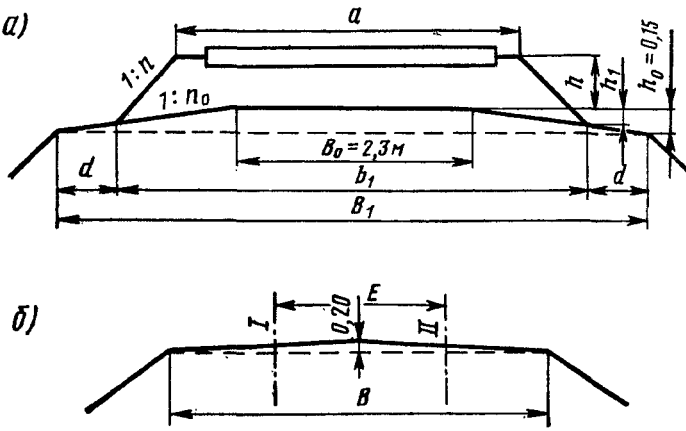


Рис. IV.2. Очертание основной площадки земляного полотна.

а — однопутной линии; *б* — двухпутной линии; B, B_1 — ширина основной площадки; E — расстояние между осями соседних путей (междупутное расстояние)

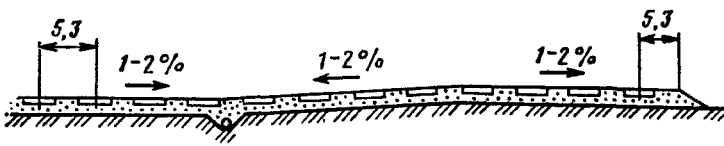


Рис. IV.3. Очертание основной площадки земляного полотна на станциях

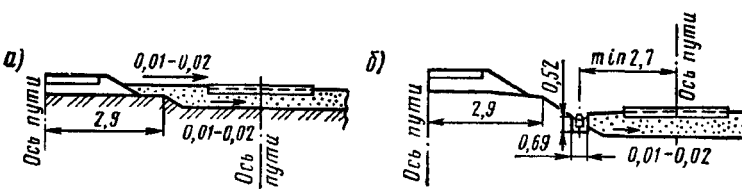


Рис. IV.4. Очертание основной площадки земляного полотна при расположении парков в разных уровнях:

а — без лотка в междупутье; *б* — с лотком

На кривых участках двухпутных и многопутных линий основную площадку согласно техническим условиям уширяют дополнительно в зависимости от радиуса кривой.

Обочины служат для удержания балласта, осыпающегося с откосов балластной призмы, для установки путевых и сигнальных знаков, устройств связи и контактной сети, для размещения материалов, инструмента, съемных машин и механизмов, для нахождения людей во время прохода поездов.

На станциях основную площадку и верхнюю поверхность балластного слоя устанавливают при хорошо дренирующих грунтах горизонтальными, а в остальных случаях — односкатными, двухскатными или многоскатными (пилообразными) (рис. IV. 3). При этом крайние скаты должны иметь уклон наружу (к полю, канавам), а остальные (при пилообразном профиле) — к продольному водоотводу. Число путей на одном скате станционной площадки при суглинках и глинах в зависимости от рода балласта и количества выпадающих осадков может быть от 2 до 8; при дренирующих грунтах допускается больше.

Отдельные пути и парки могут располагаться в разных уровнях (рис. IV. 4, *а*) с общим или раздельным земляным полотном. Если разница в отметках бровок смежных путей превышает толщину балластного слоя, то в зависимости от размеров междупутья в нем располагают канаву или лоток (рис. IV. 4, *б*). Для обеспечения безопасности работников станции расстояние от оси пути до оси лотка должно быть не менее 2,7 м.

Крутизну откосов земляного полотна устанавливают из условия его устойчивости; она зависит от рода грунта, высоты откоса и характеризуется тангенсом угла наклона образующей откоса к горизонту, т. е. $\mathrm{tg}\alpha = h/a = 1/n$ (где h — высота откоса; a — его заложение; n — показатель крутизны).

IV.2. Профили насыпей

Поперечные профили насыпей характеризуются крутизной откосов, размерами резервов, берм и водоотводных канав (рис. IV. 5).

Крутизна откосов насыпей назначается по расчету в зависимости от рода грунта, геологических, гидрологических

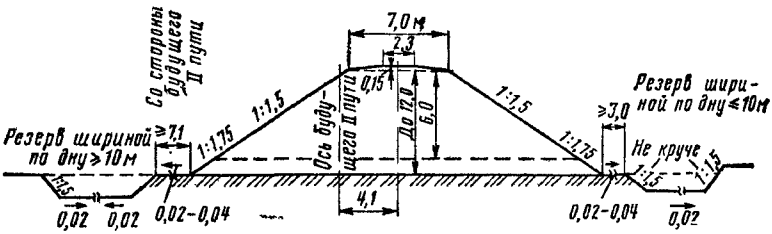


Рис. IV.5. Поперечный профиль насыпи

и климатических условий. В обычных благоприятных инженерно-геологических условиях крутизну откосов насыпей принимают по табл. IV.2.

При поперечном уклоне местности от 1/5 до 1/3 в основании насыпи устраивают уступы (см. рис. IV. 1, *д*). На косогорах из сыпучих грунтов ограничиваются рыхлением грунта в основании насыпи. На косогорах круче 1/3 насыпи сооружают по индивидуальным проектам.

Таблица IV.2

Вид грунта	Крутизна откосов при высоте насыпи, м		
	до 6	6—12	
		в верхней части высотой до 6 м	в нижней части
Скальный из слабовыветривающихся пород; гравийный, галечниковый, щебенистый и дресвяный; песок гравелистый, крупный и средней крупности; шлак металлургический	1 : 1,5	1 : 1,5	1 : 1,5
Песок мелкий и пылеватый, грунты глинистые, в том числе лессы и лессовидные суглинки	1 : 1,5 / 1 : 1,75	1 : 1,5 / 1 : 1,75	1 : 1,75 / 1 : 2
Песок мелкий барханный в условиях засушливого климата	1 : 2	1 : 2	1 : 2

Примечания. 1. В знаменателе — для пылеватых грунтов в районах с избыточным увлажнением и мелких одноразмерных песков.

2. Крутизну откосов насыпей из глинистых грунтов тугопластичной консистенции при высоте до 6 м принимают 1 : 2 на дорогах I—III категорий и 1 : 1,75 на дорогах IV—V категорий.

Насыпи возводят из грунта, получаемого от разработки соседних выемок или добываемого из резервов, расположенных в полосе отвода.

Резервы одновременно являются водоотводными сооружениями, поэтому в первую очередь их закладывают с нагорной стороны. При большой потребности в грунте во избежание одностороннего развития полосы отвода, а также при небольшом поперечном уклоне местности (положе 1/10) резервы закладывают с обеих сторон насыпи (см. рис.IV. 5). Продольный уклон резерва во избежание застоя воды и заиливания должен быть не менее 0,003, а в затруднительных случаях — не менее 0,002—0,001.

Между подошвой насыпи и резервом оставляют полосу невыбранной земли, называемую бермой, для обеспечения устойчивости насыпи и защиты ее подошвы от подмыва. Ширина бермы не менее 3 м, а на поймах рек 4—5 м (см. рис. IV.5). Уклон поверхности бермы тем круче, чем меньше дренирующая способность грунта.

Если на полосе отвода по тем или иным причинам нельзя делать резервы (вблизи пути строения, переезд, плохой грунт, косогор и т. п.), то их заменяют продольной водоотводной канавой.

Продольные водоотводные канавы делают глубиной согласно расчету, но не менее 0,6 м. Крутизна откосов в глинистых и песчаных грунтах 1:1,5. Продольный уклон канавы должен быть, как правило, не менее 0, 003 и в исключительных случаях не менее 0,002 (на болотах и речных поймах допускают уклон 0,001).

Водоотводные сооружения размещают в полосе отвода, граница которой должна отстоять от полевой бровки резервов и канав не менее чем на 2 м.

IV.3. Профили выемок

Поперечные профили выемок характеризуются крутизной откосов, размерами кюветов, кавальеров, банкетов, забанкетных и нагорных канав (рис. IV.6).

Крутизну откосов выемок назначают по расчету в зависимости от физико-механических свойств грунта, геологических и гидрогеологических условий, а также от глубины выемки. В благоприятных условиях, допускающих применение типовых профилей, для выемок глубиной до 12 м кру-

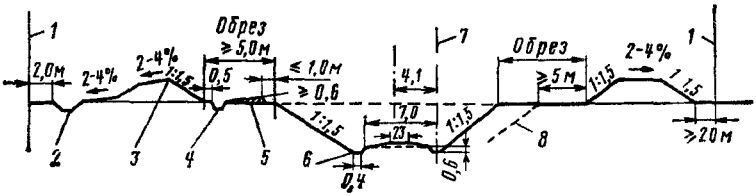


Рис. IV.6. Поперечный профиль выемки

1 — граница полосы отвода; *2* — нагорная канава, *3* — кавальер; *4* — забанкетная канава; *5* — банкет; *6* — кювет, *7* — ось будущего II пути, *8* — откос будущего II пути

тизна откосов назначается согласно СНиПу. В песчаных и глинистых грунтах она принимается 1:1,5.

Для сбора и отвода воды, стекающей с основной площадки и откосов выемки, устраивают кюветы с продольным уклоном, равным уклону земляного полотна, но не менее 0,02. В твердой слабовыветривающейся скале вместо кюветов делают бордюры 0,3×0,3 м из сухой кладки или бетонных блоков. В таких выемках для укрытия людей и складирования материалов устраивают ниши и камеры.

Неиспользуемый от разработки выемки грунт вывозят в отвалы, называемые **кавальерами** (см. рис. IV. 6). В слабых грунтах расстояние от бровки выемки до подошвы внутреннего откоса кавальера принимается равным $5+H$ м, где H — глубина выемки, но не менее 10 м. В пределах границ станций кавальеры не отсыпают.

Стекающую к выемке воду перехватывают **нагорные канавы** и отводят к ближайшему искусственному сооружению или в сторону от земляного полотна. Размеры нагорной канавы определяют расчетом по расходу воды, но ширина канавы по дну и глубина должны быть не менее 0,6 м. Нагорные канавы закладывают с обеих сторон выемки, если поперечный уклон местности менее 0,02. При наличии кавальера нагорная канава располагается в расстоянии 1—5 м от подошвы его внешнего откоса. Если кавальера нет, нагорная канава должна отстоять от бровки выемки не менее чем на 5 м с учетом будущего второго пути.

Для отвода от выемки воды, стекающей с полосы земли между подошвой кавальера и бровкой выемки с нагорной стороны, отсыпают **банкет**, и вода поступает в забанкетную канаву сечением 0,3×0,3 м с продольным уклоном дна не менее 0,005. При отсутствии кавальера вода уходит в нагорную канаву.

IV.4. Конструкции земляного полотна в сложных условиях

Земляное полотно на болотах и слабых основаниях. На болотах насыпи возводят по типовым специальным или индивидуальным проектам в зависимости от типа болота.

Различают три типа болот: I — заполненные торфом и другими болотными отложениями устойчивой консистенции, сжимающимися под воздействием насыпи высотой до 3 м; II—заполненные торфом и другими болотными отложениями разной консистенции, в том числе выдавливающимися под воздействием насыпи высотой до 3 м; III — заполненные илом и водой, в том числе с наличием торфяной корки (сплавины).

Для возведения насыпи на болотах используют дренирующие грунты. На болотах I и II типов допускается отсыпать земляное полотно из пылеватых песков, легкой крупной супеси. На болотах III типа эти грунты, а также другие глинистые грунты разрешается использовать только для верхней надземной части насыпи.

На болотах I типа насыпи высотой до 3 м сооружают с полной или частичной заменой торфа в основании минеральным грунтом. Полное выторфовывание производят на болотах глубиной до 2 м (рис. IV 7, *а*), а частичное — более 2 м (рис. IV. 7, *б*). При частичном выторфовывании болот I типа глубину траншеи назначают из расчета, чтобы сумма высоты насыпи над поверхностью болота и глубины траншеи была не менее 3,5 м. Крутизну откосов выторфовывания принимают от 1:0 до 1:0,5. Насыпи высотой более 3 м на болотах I типа устраивают без замены торфа.

На болотах II типа независимо от высоты насыпи торф удаляют полностью. На расстоянии не менее 2 м от подошвы откоса с обеих сторон насыпи устраивают канавы — торфоприемники (шириной не менее 2 м и глубиной не менее 1 м).

На болотах III типа насыпи возводят на минеральном дне. Для нижней части насыпи используют дренирующие грунты, делая крутизну откосов при мелком и пылеватом песке 1:4; при крупно- и среднезернистом песке— 1:2; гравии, гальке, щебне, камне, слабовыветривающихся породах — 1:1,5.

Земляное полотно в районах вечной мерзлоты. Районы с вечномерзлыми грунтами составляют значительную часть

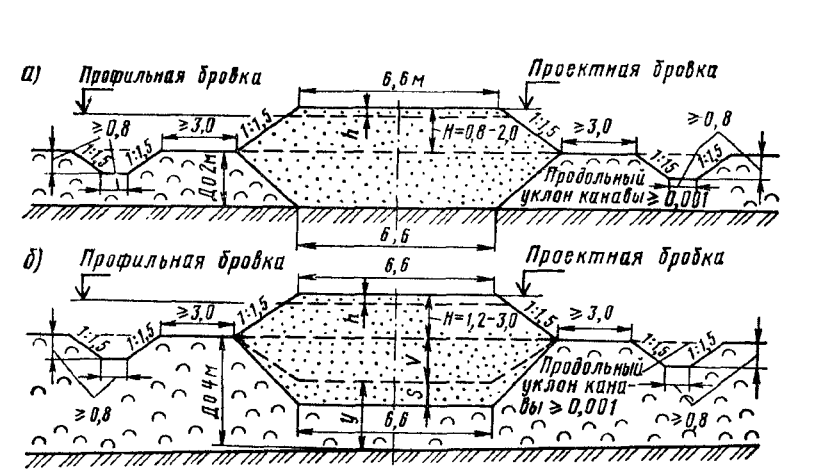


Рис. IV.7. Насыпи на болотах I типа высотой до 3 м:

а — с полным выторфовыванием; *б* — с частичным; *H* — высота насыпи над поверхностью болота; *h* — высота призмы; *V* — глубина выторфовывания; *S* — осадка торфа; *y* — толщина обжимаемого слоя торфа под насыпью

территории нашей страны. Физико-механические свойства вечномерзлых грунтов зависят от их температуры.

Грунты, имеющие температуру на глубине нулевых амплитуд выше —1 °С, относят к высокотемпературным, а грунты с температурой —1 °С и ниже — к низкотемпературным. Глубиной нулевых амплитуд называют глубину, на которой температура вечномерзлого грунта в течение года остается постоянной (принимают равной 10 м).

На слабом и просадочном основании и на участках с подземными льдами насыпи сооружают по индивидуальным проектам.

При высокотемпературных вечномерзлых грунтах на участках насыпей высотой до 1 м и на нулевых местах залегающие в основании переувлажненные глинистые грунты вырезают на глубину, определяемую расчетом. Так же поступают и с глинистыми грунтами, слагающими основную площадку в выемках, поскольку они при оттаивании переходят в текучее состояние.

Земляное полотно в горных и сейсмических районах. В горных районах насыпи возводят из камня по типовому профилю высотой до 12 м при поперечном уклоне местности не круче 1:3.

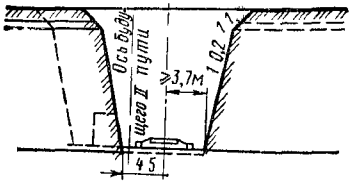


Рис IV 8 Выемка в скальных грунтах

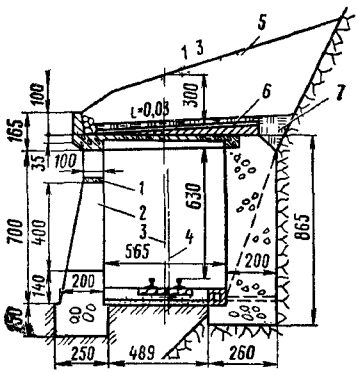


Рис IV.9 Противообвальная галерея на скальном участке

1 — железобетонная перемычка; *2* — окна сечением 150×400 мм через 4 м, *3* — ось пути, *4* — ось галереи, *5* — местный грунт, *6* — гидроизоляция, *7* — мятая жирная глина

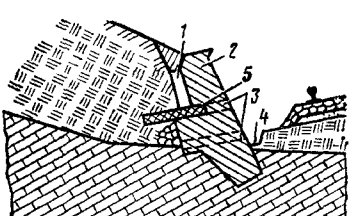


Рис. IV 10. Насыпь на косогоре с подпорной стенкой:

1 — застенный дренаж, *2* — подпорная стенка, *3* — водоотводные отверстия, *4* — лоток, *5* — железобетонная консоль

Выемки глубиной до 16 м в слабовыветривающихся скальных породах при поперечном уклоне местности не круче 1:3, отсутствии трещиноватости и наклона пластов в сторону пути сооружают по типовым проектам. Через 300 м с каждой стороны выемки в шахматном порядке располагают камеры (6×2, 8×2,5 м) для временного складирования отдельных материалов верхнего строения пути, инструмента и механизмов Между камерами устраивают ниши (3×2×1 м) для укрытия линейных работников (рис. IV.8). В таких выемках обычно вместо кюветов для отвода атмосферной воды устраивают лотки. Для возможности смены шпал расстояние от оси крайнего пути до откоса выемки на уровне подошвы шпалы должно быть не менее 3,7 м.

В выемках, разработанных в легковыветривающихся скальных породах, на уровне основной площадки устраивают полки шириной 1—2 м. Они необходимы для предотвращения засорения лотков (кюветов) грунтом, вымываемым или обваливающимся с откосов.

При строительстве железных дорог в горных районах, подверженных каменным обвалам, осыпям и снежным лавинам, устраивают противообвальные галереи (рис. IV.9)

или улавливающие траншеи. При сейсмичности 7—9 баллов крутизну откосов насыпей и выемок с рабочими отметками более 2 м делают положе (вместо 1:1,5 принимают 1:1,7; вместо 1:2—1:2,2), на косогорах с крутизной от 1:2 до 1:1 насыпи заменяют эстакадами или укрепляют подпорными стенками. В таких районах при сейсмичности 8 баллов наибольшая высота насыпи 15 м, а при 9 баллах — 12 м; откосы земляного полотна укрепляют дерном и растительностью.

Земляное полотно на крутых и неустойчивых косогорах. Конструкция насыпей на косогорах включает в себя элементы, обеспечивающие устойчивость ее от сдвига по склону: нагорную канаву, берму, уступы в основании насыпи, в необходимых случаях подпорные стенки (рис. IV.10), контрбанкеты и контрфорсы.

Контрбанкет представляет собой призму, отсыпанную у откосов насыпей из грунтов, дренирующие свойства которых не хуже, чем у грунтов насыпи. Размеры контрбанкета определяют расчетом.

Контрфорс представляет собой короткий контрбанкет, вмонтированный в откос насыпи, из бутовой кладки на цементном растворе или длинную продольную (вдоль оползневого склона) «ленту» каменной кладки.

Глава 2. ОБЕСПЕЧЕНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

IV.5. Защита земляного полотна

Главный враг земляного полотна — вода. Устойчивость увлажненного грунта понижается, поэтому в зависимости от местных условий требуется выполнить мероприятия по обеспечению стабильности земляного полотна. К их числу относятся: регулирование поверхностного стока, защита земляного полотна от влияния атмосферных факторов, понижение уровня или перехват грунтовых вод, устройство поддерживающих сооружений, укрепление грунтов.

Для защиты земляного полотна от размывного действия воды, прибоя волн, выдувания грунтов ветром и вредного влияния других атмосферных факторов применяют за-

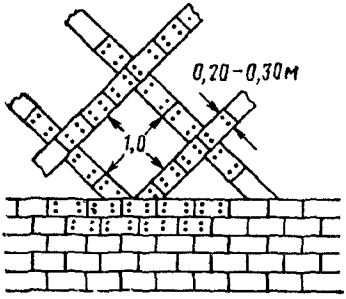
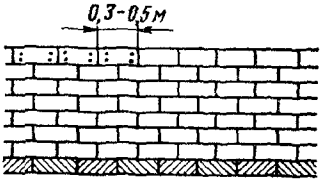


Рис. IV 11. Укрепление откосов одерновкой в клетку



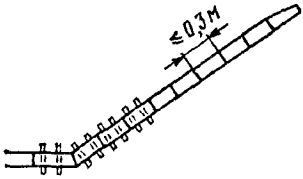


Рис. IV 12. Укрепление откосов сплошной одерновкой

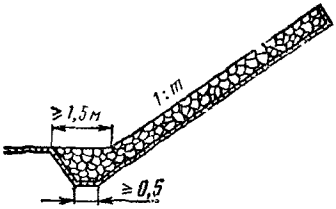


Рис. IV.13. Мощение откосов камнем

сев травой, одерновку, мощение камнем, каменные отсыпи, бетонные, железобетонные и асфальтовые покрытия, древесно-кустарниковые насаждения. Окончательное решение в каждом конкретном случае принимается на основе сравнения вариантов.

Засев травой — основной вид защиты откосов, выемок и незатопляемых насыпей. Для засева применяют смеси местных многолетних трав рыхлокустовых (тимофеевка), корневищных (костер безостый) и стержнекорневых или бобовых.

Одерновка откосов также обеспечивает достаточное сопротивление размыву. Она может быть осуществлена в клетку и сплошь.

При одерновке в клетку дерновые ленты укладывают под углом 45° к образующей откоса (рис. IV. 11). Клетки засыпают растительной землей и засеивают травой.

При сплошной одерновке дерновые ленты или штучные дернины укладывают горизонтальными рядами, перевязывая швы (рис. IV.12). Одерновка откосов применяется в комбинации с посевом трав при укреплении высоких откосов и как самостоятельная мера в условиях, неблагоприятных для произрастания трав. Откосы мокрых выемок рекомендуется укреплять сплошной одерновкой.

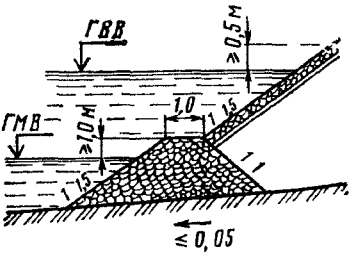


Рис IV.14 Каменная отсыпь

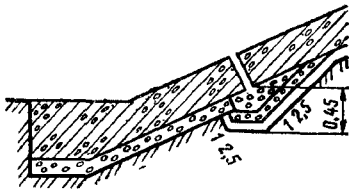


Рис. IV 15 Железобетонное покрытие откоса

Мощение камнем (крупностью 0,15—0,3 м) бывает одиночное и двойное (рис IV.13). Камень укладывают на подстилающий слой из мха, уплотненного волокнистого торфа толщиной 5—10 см, щебня или гравия толщиной 10—20 см. Мощением укрепляют омываемые откосы при скоростях течения воды 2—6 м/с в зависимости от глубины воды

Каменные отсыпи применяют для укрепления (в местностях, богатых камнем) подводных частей подтопляемых откосов насыпей (рис IV.14) Для укрепления затопляемых откосов насыпей и берегов горных рек применяют также габионы, представляющие собой ящики из оцинкованной проволочной сетки, заполненные камнем

Железобетонные покрытия устраивают при скоростях течения воды более 3,0—3,5 м/с, а также при сильном волновом воздействии. Сборные плиты имеют размеры от 1×1 до 3×3 м, а монолитные (рис. IV. 15), сооружаемые на месте, от 5×5 до 10×10 м толщиной 0,15—0,45 м. Для укрепления откосов начинают применять бетонные и железобетонные плитки размерами в плане 0,3×0,3 м, 0,5×0,5 м и более, толщиной 0,08—0,2 м.

Древесно-кустарниковые насаждения являются хорошим и недорогим видом защиты откосов земляного полотна на поймах рек при скоростях течения воды до 1,5 м/с Скорость течения воды снижается благодаря большому сопротивлению, оказываемому кроной, а корни связывают частицы грунта, повышая устойчивость откоса; стволы деревьев защищают откосы от ударов крупных льдин Для посадок используются преимущественно ивовые породы с густой сильно развитой кроной и стелящейся корневой системой.

IV.6. Сбор и отвод поверхностных вод

Для сбора и отвода поверхностных вод служат канавы и лотки. Канавам придают, как правило, трапецеидальное сечение, наиболее удобное для их устройства, ремонта и содержания. Размеры канав устанавливаются расчетом по наибольшему расходу воды $Q_{расч}$.

Расход воды определяют по нормам поверхностного стока в зависимости от размеров бассейна, интенсивности ливней, крутизны дна лога и его боков и водопроницаемости почвы. Этот расход непостоянен по длине канавы и увеличивается от верховья к устью. В длинных канавах (более 100—200 м) расход определяется в нескольких поперечных сечениях, и канава проектируется отдельными участками.

Существует несколько способов расчета. Можно задаться (рис. IV.16) шириной по дну b ($\geqslant$ 0,06 м), высотой h наполнения канавы ($\geqslant$ 0,4 м при глубине канавы $\geqslant$ 0,6 м) и уклоном дна i в соответствии с уклоном местности. Далее определяется скорость течения воды в канаве по формуле

$$v = C\sqrt{Ri}, \qquad \text{(IV.3)}$$

где C — коэффициент шероховатости, берется из справочников по гидравлике;

$R = \omega/P$ — гидравлический радиус;

ω — площадь сечения водного потока в канаве;

P — смоченный периметр: $P = b + 2h\sqrt{1 + n^2}$;

n — показатель крутизны откоса канавы.

Если скорость v превышает допускаемую для данного грунта, то предусматривают укрепление канавы или принимают более пологий уклон дна. Получив скорость течения воды в канаве, находят фактический расход:

$$Q_{факт} = \omega v, \qquad \text{(IV.4)}$$

который может пропустить канава, и сравнивают его с $Q_{расч}$ — требуемым расходом воды. Если расхождение между $Q_{факт}$ и $Q_{расч}$ превышает 5 %, то изменяют размеры канавы или уклон дна и расчет повторяют.

При неустойчивых грунтах, а также при большой глубине канав для сокращения объема земляных работ вместо канав устраивают лотки, преимущественно железобетонные (рис. IV. 17), каменные, бетонные, а в местностях, богатых лесом, как исключение,— деревянные.

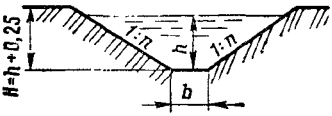


Рис. IV.16. Поперечное сечение водоотводной канавы

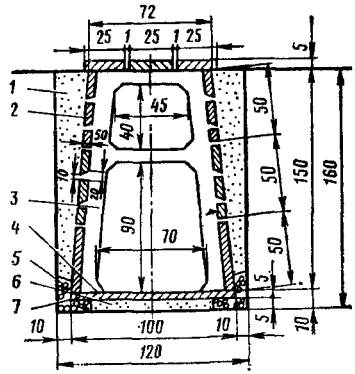


Рис. IV.17. Водоотводный железобетонный лоток:

1 — песчано-гравийный фильтр; *2* — железобетонные плиты; *3* — железобетонные рамы 10×10 см, расстояние между осями рам 105 см; *4* — цементная прослойка; *5* — забивка тощим бетоном; *6* — песчано-гравийная подготовка; *7* — подготовка из тощего бетона

При крутом уклоне местности, чтобы не делать дорогостоящее укрепление канав, последние проектируют с пологими уклонами, сопрягая отдельные участки быстротоками (рис. IV. 18) или перепадами (рис. IV. 19).

Поверхностные воды, стекающие с нагорной стороны к станционной территории, перехватываются нагорными канавами в выемках и продольными водоотводными канавами у насыпей. Собранная вода отводится к искусственным сооружениям или к пониженным местам.

Для сбора и отвода воды, попадающей непосредственно на территории путевого развития и площадки станционных

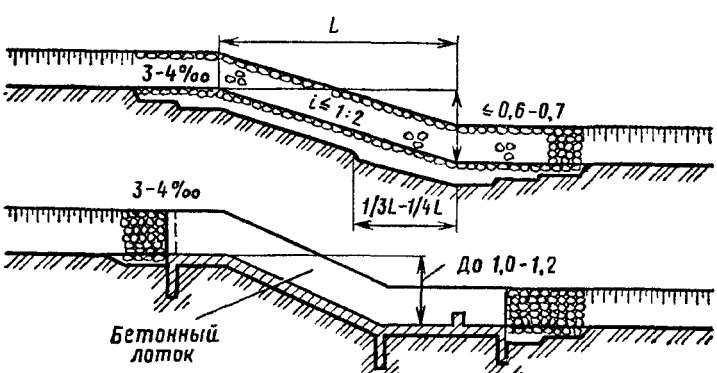


Рис. IV.18. Быстроток

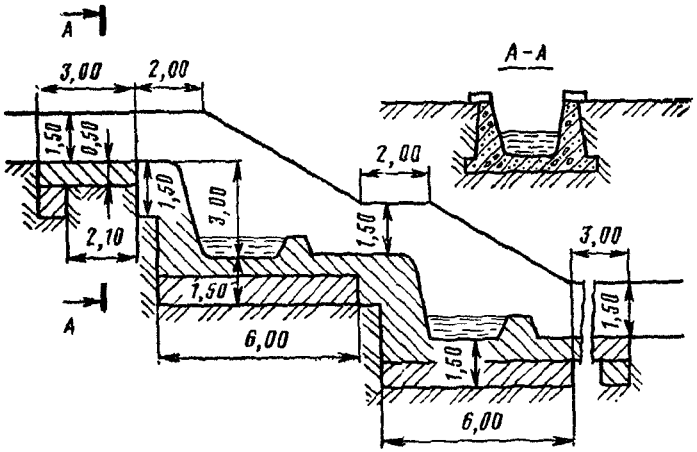


Рис. IV.19. Перепад

устройств, применяют систему продольных и поперечных водоотводов.

При пилообразном профиле земляного полотна станций в пониженных междупутьях укладывают типовые сборные железобетонные лотки глубиной 0,75—2 м. Собранная ими вода поступает в поперечные подземные трубы — коллекторы и отводится ими на поверхность земли, во внешний

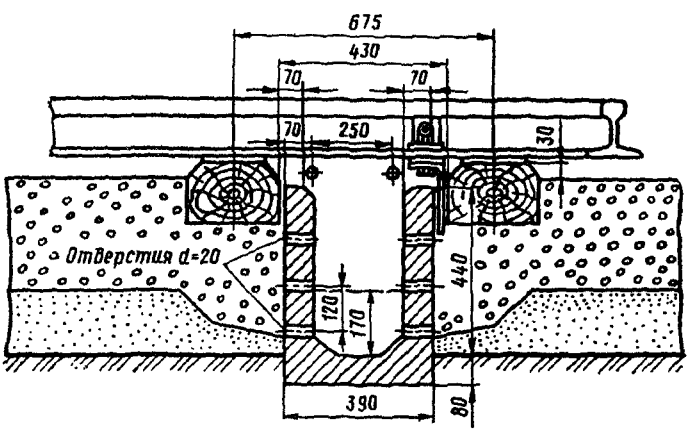


Рис. IV.20. Междушпальный водоотводный лоток на станциях

продольный водоотвод, в продольный коллектор станционной или городской канализации. Дну лотка придают уклон 0,002—0,005. В водораздельной точке глубина лотка должна быть не менее 0,25 м. Расстояние между коллекторами устанавливается расчетами (не менее 100—200 м).

При большом количестве осадков для облегчения стока на станциях к продольным лоткам укладывают через 25—50 м междушпальные деревянные или железобетонные лотки (рис. IV.20).

От централизованных стрелочных переводов на щебеночном балласте воду собирают вдоль границы их балластной призмы со стороны притока поверхностных вод и выпускают ее в поперечные междушпальные лотки глубиной 0,2 м.

На пассажирских, грузовых и технических станциях в черте городов с развитой системой канализации возможно устройство продольного закрытого водоотвода из труб.

IV.7. Сбор и отвод грунтовых вод

Если грунтовые воды угрожают нарушению прочности и устойчивости земляного полотна, то необходимо или перехватить, собрать и отвести их в сторону от земляного полотна, или понизить их уровень. Для этого служат дренажные устройства. К ним относятся открытые дренажные канавы, лотки, закрытые дренажи траншейного типа, штольни, дренажные колодцы.

Канавы и лотки с открытой водосборной частью одновременно отводят и грунтовые, и поверхностные воды. Грунтовые воды поступают в канаву, просачиваясь через ее боковые стенки и дно, или только откосы, если канава заглублена в водоупорной слой. Как дренажное устройство канавы применяют при неглубоком залегании грунтовых вод. Лотки (см. рис. IV. 17) для фильтрации воды из грунта имеют отверстия в боковых стенках. В нижней же части лотка отверстий нет. Это сделано во избежание инфильтрации воды из лотка в грунт. Дну лотка придают уклон не менее 0,003—0,005, укрепляют его в соответствии с расчетной скоростью.

Закрытые дренажи траншейного типа (рис. IV. 21) применяют взамен лотков, если необходимо устраивать их глубокими, и вместо лотков в водонасыщенных пучини-

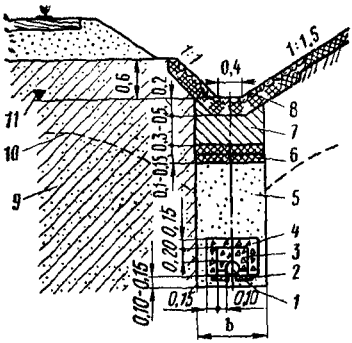


Рис. IV.21. Закрытый дренаж траншейного типа:

1 — труба; *2* — доски; *3* — щебень крупностью 50—70 мм; *4* — галька крупностью 5—7 мм; *5* — заполнитель; *6* — фильтрующий слой; *7* — глинобетон; *8* — мостовая на мху; *9* — супесь пылеватая; *10* — кривая депрессии; *11* — уровень грунтовых вод до устройства дренажа

стых грунтах. Для отвода воды на дне укладывается дренаж из гончарных, бетонных или деревянных труб. Вода в трубу поступает через отверстия в ее нижней и боковых частях. Дну дренажа придают уклон не менее 0,005. Вода выводится на поверхность земли к пониженным местам.

Для очистки трубы и контроля за работой дренажа через 50—75 м, а также на всех углах поворота и в местах перепадов устраивают смотровые колодцы, обычно железобетонные из колец диаметром 1 м и, как исключение, деревянные.

Дренажи траншейного типа глубиной более 6 м называются галереями. Экономичны и долговечны сборные железобетонные галереи из звеньев круглого сечения диаметром 1,25 м или прямоугольного — 1,3×0,8 м.

Штольни представляют собой слабо наклонный ход в толще водоносного грунта с основанием, заглубленным в водонепроницаемый слой. Конструкция и размеры поперечного сечения те же, что и у галерей. Вода фильтруется в штольню через боковые стенки. Через 150—250 м по длине штольни закладывают шахты, необходимые для производства работ, осмотра и вентиляции штольни.

IV.8. Специальные способы укрепления грунтов

К основным специальным способам укрепления грунтов земляного полотна относят цементацию, силикатизацию, клинкеризацию и электрохимическое закрепление.

Цементация — это нагнетание в грунт под давлением жидкого цементного раствора. Затвердевая в порах и трещинах грунта, цемент укрепляет его. Наиболее целесо-

образно укрепление цементацией трещиноватых скальных пород.

Силикатизация основана на химическом взаимодействии жидкого стекла и раствора хлористого кальция, нагнетаемых в грунт поочередно. Искусственное окаменение грунта, достигаемое этим способом, обеспечивает его водонепроницаемость и повышение несущей способности.

Клинкеризация — термическая обработка укрепляемого грунта, заключающаяся в обжиге глин и тяжелых суглинков. При обжиге грунт обезвоживается, теряет способность впитывать воду, и приобретает повышенные прочностные характеристики.

При электрохимическом способе укрепления через грунт посредством забитых в него электродов пропускают постоянный электрический ток. Частицы воды перемещаются от анода к катоду, и возле анода влажность уменьшается. Кроме осушения грунтов, происходит изменение их физических свойств — повышается коэффициент трения, увеличивается удельное сцепление и сопротивление размокаемости. Этот способ применим для связных глинистых грунтов и мелких песков с содержанием пылеватых и глинистых частиц более 12—15 % по массе. Для интенсивного осушения 1 м^3 грунта требуется 60—80 кВт·ч.

Глава 3. ДЕФОРМАЦИИ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

IV.9. Классификация деформаций

В земляном полотне и его основании под действием поездной нагрузки, собственного веса и под влиянием атмосферных факторов возникают упругие и остаточные деформации. Они могут быть постоянными и временными, развиваться медленно и равномерно или быстро и неравномерно. Бывают и внезапные деформации.

Г. М. Шахунянц предложил следующую классификацию деформаций земляного полотна: деформации основной площадки, пучины, оседания и выпирания, расползания, провалы, оползни и сдвиги, обвалы, осыпи, лавины, размывы и подмывы, повреждения и загромождения.

IV.10. Деформации основной площадки

Углубления в основной площадке земляного полотна, расположенные под шпалами, называют балластными корытами (рис. IV. 22, *а*). Они образуются из-за неравномерной передачи давления от шпал на земляное полотно при недостаточной толщине балластного слоя и несущей способности грунта. По мере углубления и уширения корыта сливаются и образуют так называемые балластные ложа.

При неодинаковой плотности грунта основной площадки или из-за отсыпки земляного полотна различными грунтами балласт в менее плотных местах вдавливается, образуя так называемые балластные гнезда. Значительное местное углубление ложа называется балластным мешком (рис. IV. 22, *б*). Глубина балластных лож обычно не более 1 м; гнезда и мешки развиваются в глубину до 3 м и более.

Наличие балластных корыт и лож весной и в периоды дождей приводит к просадкам пути, а зимой — к появлению пучин. На участках с глубокими балластными гнездами возможны сплывы и обвалы верхней части откосов.

Балластные корыта и неглубокие ложа можно ликвидировать срезкой всего верха полотна ниже дна корыт и

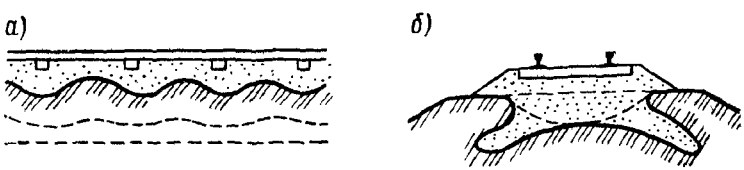


Рис. IV.22. Деформации основной площадки земляного полотна: *а* — балластное корыто; *б* — балластный мешок

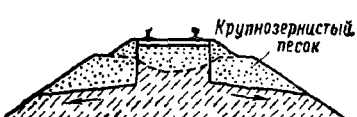


Рис. IV.23. Частичная срезка для осушения земляного полотна

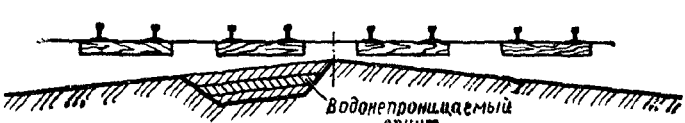


Рис. IV.24. Вырезка загрязненного балласта на станции

лож на 20—25 см и засыпкой его крупно-и среднезернистым песком или шлаком. Этот способ радикальный, но дорогой и сопряжен с перерывами движения поездов. Широкое распространение получило более дешевое осушение корыт и неглубоких лож срезкой части земляного полотна с последующей засыпкой песком (рис. IV. 23).

Более глубокие ложа, балластные мешки и гнезда иногда осушают поперечными прорезями, заполняемыми песком. При большой глубине прорези стоят дорого и поэтому целесообразно отводить воду из глубоких мешков и гнезд горизонтальной дренажной трубой, которую заводят сбоку специальной машиной горизонтального бурения. Лучшие результаты при осушении гнезда достигаются забивкой с откоса наклонных металлических труб (с отверстиями в стенках).

На станционных путях ввиду трудности осушения углублений основной площадки рекомендуется ликвидировать корыта и ложа вырезкой загрязненного грунта и трамбованием чистого (рис. IV. 24).

IV.11. Пучины

Пучением грунтов называют общее или местное поднятие земной поверхности в результате промерзания грунта и увеличения в объеме замерзающей в нем воды. При неоднородности грунта основной площадки и различных условиях попадания воды высота поднятия грунта по длине пути неодинакова, поэтому на поверхности земляного полотна образуются неровности (бугры, впадины и перепады), называемые пучинами. Соответственно этому искажается и рельсовая колея. Движение по искаженной так колее становится небезопасным. Различают пучины поверхностные (верховые) и грунтовые (коренные).

Поверхностные пучины образуются при замерзании воды, задержавшейся в загрязненном, плохо дренирующем балласте, в углублениях основной площадки. Они появляются в начале зимы, быстро достигают наибольшей высоты 20—40 мм и исчезают весной с оттаиванием балласта и верха земляного полотна. Эти пучины ликвидируют заменой или очисткой балласта, лечением деформаций основной площадки и ремонтом запущенных кюветов.

Грунтовые пучины образуются при замерзании в пучащих грунтах воды, не только имевшейся к началу зимы в зоне промерзания, но и воды, поступающей из ниже лежащих талых слоев грунта в течение всего периода промерзания. Они появляются после поверхностных пучин при более глубоком промерзании грунта и достигают высоты 100—200 мм.

Основные способы ликвидации грунтовых пучин — осушение грунта с понижением уровня грунтовых вод ниже горизонта промерзания, теплоизоляция грунта, укладка пенопластовых плит на основную площадку земляного полотна, подъемка пути на песчаный балласт или шлак, замена пучинистого грунта крупнозернистым и средней крупности чистым песком.

Осушение грунта с понижением уровня грунтовых вод применяют, если уровень свободной грунтовой воды расположен выше горизонта промерзания в грунтах с небольшой молекулярной влагоемкостью. Для этого устраивают односторонние и двусторонние подкюветные или закюветные дренажи. Глубину заложения дренажа устанавливают так, чтобы из зоны промерзания была выведена не только свободная, но и связанная с ней капиллярная вода. Из расчетной схемы двустороннего дренажа (рис. IV.25) видно, что глубина его заложения, считая от дна кювета,

$$H = P + e + d + f + h_0 - K, \qquad (IV.5)$$

где P — глубина промерзания;

e — запас, учитывающий возможные колебания глубины промерзания и принимаемый по местным условиям, но не менее 0,15 м;

d — высота капиллярного поднятия по данным лабораторного исследования (ориентировочно для песков d=0,2 м, для супесей 0,30 м, для суглинков и глин 0,35—0,5 м);

f — стрела подъема кривой депрессии; величина ее может быть принята по среднему уклону I кривой депрессии: $f = mI$;

I — для пылеватых песков равен около 0,02, супесей 0,02—0,05, суглинков 0,05—0,10, глин 0,10—0,15;

m — расстояние от оси пути до стенки дренажа;

h_0 — толщина слоя воды, собранной дренажем (расстояние от дна дренажа до верха трубы);

K — расстояние от дна кювета до поверхности балластной призмы.

Формула (IV.5) справедлива и для одностороннего дренажа с учетом того, что стрела подъема кривой депрессии f определяется для сечения, отстоящего от внешнего торца дальней шпалы на расстояние 0,2—0,5 м в сторону поля.

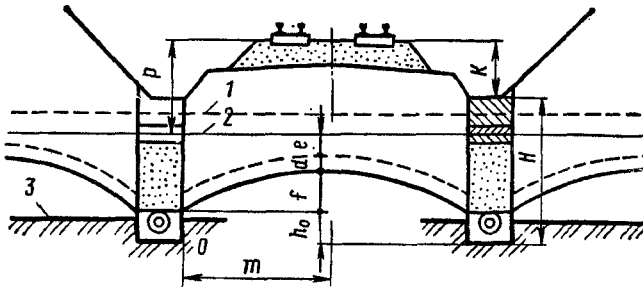


Рис. IV.25. Поперечное сечение двустороннего дренажа:
1 — горизонт воды до понижения; *2* — горизонт промерзания; *3* — водоупор

Теплоизоляция грунта заключается в укладке под балласт материала малой теплопроводности слоем такой толщины, чтобы грунт под ним не замерзал. На дорогах СССР для этой цели используют просеянный угольный котельный шлак крупностью 2—30 мм и асбестовые отходы. Толщина врезной шлаковой подушки Z определяется расчетом в зависимости от термических характеристик шлака и глубины промерзания, но ее принимают не менее 0,4 м:

$$Z = 23n\sqrt{\Sigma t + 2}, \qquad (IV.6)$$

где Σt — средняя за много лет сумма абсолютных значений среднемесячных зимних отрицательных температур воздуха, 0 °С;

n — для глинистых и суглинистых грунтов $n = 1$, а для супесей, мелких и пылеватых песков $n = 1{,}2$.

При устройстве шлаковых подушек надо обязательно отводить от них воду в углубленные кюветы или дренажи траншейного типа (рис. IV. 26, *а*), а также плавно сопрягать подушку с грунтом земляного полотна в продольном направлении (рис. IV. 26, *б*) на длине l, равной

$$l = h/i, \qquad (IV.7)$$

где h — высота равномерного пучения;

i — уклон отвода от неликвидированного равномерного пучения к невспученному участку, принимаемый равным 0,001—0,0025.

Укладка пенопластовых плит на основную площадку земляного полотна влечет за собой выведение зоны промерзания из зоны пучения. Под руководством Г.М. Шахунянца покрытия из пенопластовых плит размером 2×2 м и тол-

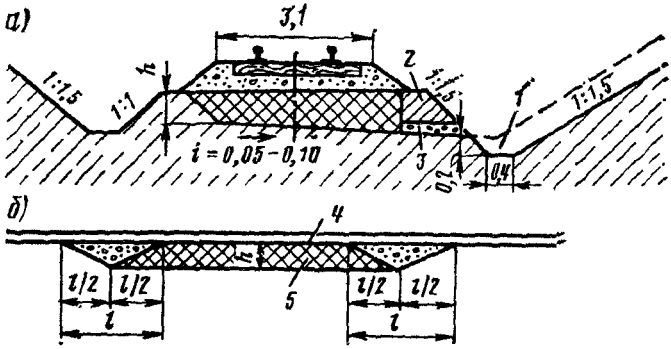


Рис. IV.26 Укладка шлаковой подушки.

а — поперечное сечение; *б* — продольное, *1* — углубленный кювет; *2* — засыпка местным грунтом, *3* — слой крупнозернистого песка или щебня толщиной 0,2 м, *4* — балластный слой; *5* — шлаковая подушка

щиной 5—5,5 см с 1972 г. укладывали на дорогах, и получены положительные результаты.

Подъемка пути на балласт или шлак основана также на принципе удаления пучинистого грунта из зоны промерзания. Высоту подъемки устанавливают специальными расчетами. Производство работ в этом случае проще и дешевле, чем врезка шлаковой подушки.

Замена пучинистого грунта непучинистым на всю глубину промерзания целесообразна при постройке. В эксплуатационных условиях ввиду большой трудоемкости и необходимости в длительных «окнах» она применяется редко.

IV.12. Другие виды деформаций

Оседания земляного полотна происходят или вследствие уплотнения грунта основания под нагрузкой от массы насыпи и проходящих поездов, или из-за выпирания грунта из-под основания насыпи (рис. IV. 27). В первом случае просадки пути исправляют подъемкой на балласт в течение всего периода уплотнения. Во втором случае отсыпают пригрузочные бермы, препятствующие выпиранию грунта. Если недостаточная несущая способность основания вызвана высокой влажностью грунта, то принимаются меры к его осушению. Просадки могут возникать также над гор-

ными выработками из-за деформации крепления шахт и штолен.

Расползание насыпи возникает, главным образом, из-за грубых нарушений технических условий на сооружение земляного полотна, например насыпь сооружена из мокрых грунтов или зимой из грунтов с комьями мерзлой глины. До восстановления нормального профиля расползшийся грунт осушают обычно поперечными дренажными прорезями.

Провалы насыпей случаются вследствие разрыва торфяной корки на болотах (рис. IV.28), а также из-за разрыва кровли над горными выработками. При восстановлении разрушенной насыпи принимаются меры для ее стабилизации или трасса переносится в обход провала.

При обвалах происходит падение с опрокидыванием грунтовых масс. Обвалы отдельных камней и глыб, а также снега, каменные и снежные лавины, осыпи продуктов

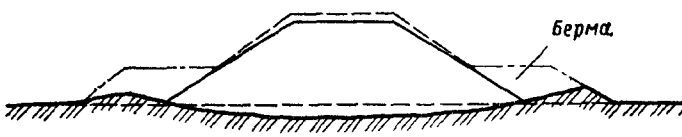


Рис. IV.27. Оседание насыпи

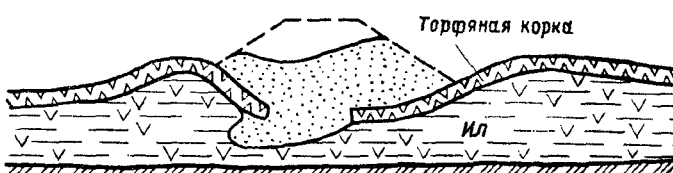


Рис. IV.28. Провал насыпи

Рис. IV.29. Оползень

разрушения в горных районах могут загромоздить путь. Для предупреждения и борьбы с этими явлениями создаются специальные проекты.

Оползни — это перемещения грунта по грунту без падения или опрокидывания смещающихся масс. Оползни могут происходить в однородных грунтах при большой крутизне склонов и откосов и в результате чрезмерного увлажнения, а также в разнородных грунтах, когда поверхность скольжения предопределена геологической структурой склона (рис. IV. 29) и если недостаточна прочность и устойчивость ниже лежащих наклонно расположенных слоев. Борьба с оползнями включает обширный комплекс мероприятий по регулированию поверхностного стока, отводу и понижению уровня грунтовых вод, укреплению грунтов, устройству поддерживающих сооружений и др.

Часть V

СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ И ВЛИЯНИЕ ИХ НА ПУТЬ

Повышение скоростей движения пассажирских и грузовых поездов — это наиболее эффективный способ дальнейшей интенсификации перевозочного процесса. Анализ развития и состояния железнодорожного транспорта указывает на тенденцию к увеличению скоростей движения поездов во всех странах. Какие же скорости движения поездов на железных дорогах можно реализовать и следует ожидать в перспективе?

Глава 1. УВЕЛИЧЕНИЕ СКОРОСТЕЙ ДВИЖЕНИЯ

V.1. Перспективы повышения скоростей

Современный железнодорожный путь с верхним строением, состоящим из рельсо-шпальной решетки и щебеночного балласта, теоретически позволяет реализовать скорость до 500 км/ч. Дальнейшее повышение скорости на колейном транспорте ограничивается.

Исследовательским институтом японских железных дорог установлено, что при увеличении скорости от 100 до 400 км/ч эффективный сцепной вес подвижной единицы уменьшается в 2,5 раза, а сопротивление движению возрастает настолько, что в определенный момент уравновешивает силу тяги. Такой момент наступает, по данным японских исследователей, при скорости 370 км/ч. Попытки превысить эту скорость успеха не имели, а дополнительное ускоряющее усилие приводило лишь к скольжению колес.

При анализе процесса повышения скоростей движения считают существенным не максимальное значение скорости, а среднюю скорость между пунктами посадки и назна-

чения. Так, считается, что длительность проезда по железной дороге в дальнем пассажирском сообщении при средней скорости 120 км/ч меньше, чем на легковом автомобиле, а на расстояние до 250 км— меньше, чем на воздушном транспорте. В равной мере при средней скорости поезда до 160 км/ч железные дороги имеют преимущество во времени по сравнению с воздушным транспортом при дальности до 350 км, а при скорости 200 км/ч — при дальности до 450 км. В качестве примера можно привести скоростную линию Японии Токио — Осака длиной 515 км, построенную для максимальной скорости движения 250 км/ч.

Инженерная общественность нашей страны исходя из реальных потребностей и возможностей технического вооружения железных дорог признала возможным в ближайшее время реализовать скорости движения поездов на ряде основных направлений: грузовых — до 120 км/ч, грузовых рефрижераторных—до 140 км/ч, пассажирских— до 160—180 км/ч, а на специальных скоростных линиях— до 200—250 км/ч.

V.2. Факторы, ограничивающие скорости движения

Как известно, изменение скоростей движения поездов влияет на состояние пассажиров, конструкцию пути, подвижной состав, устройство автоматики, связи, энергоснабжения, а также на формы и методы эксплуатации железных дорог. Например, потеря кинетической энергии на удар при взаимодействии пути и подвижного состава пропорциональна квадрату скорости. А физиологические изменения у пассажиров и людей, обслуживающих поезда, в зависимости от изменения скорости движения до сих пор во многом еще не изучены. Повышение скоростей движения вызывает и финансово-материальные затраты.

Рассмотрим факторы, ограничивающие рост скоростей движения поездов. Найти все эти факторы чрезвычайно сложно. В первом приближении критериями ограничения скоростей движения в зависимости от характеристик железнодорожного пути можно считать экономическую целесообразность, обеспечение комфортабельности езды пассажиров и безопасности движения, обеспечение прочности и устойчивости железнодорожного пути.

Экономическая целесообразность повышения скоростей движения для каждой конкретной линии определяется технико-экономическим расчетом. Исследования ВНИИЖТа показали, что ежегодная экономия, которую может дать повышение скоростей движения грузовых поездов от 80 до 100 км/ч, составляет 140 млн. руб., а поднятие средней маршрутной скорости только дальних и местных пассажирских поездов с 40 до 80—100 км/ч на каждые 100 млрд. пассажиро-км дает экономию 15 млн. руб. в год.

По данным Института комплексных транспортных проблем, повышение участковой скорости только на 10% на каждые 100 км решающих направлений дает экономию: на локомотивном парке — 60 тыс. руб., вагонном — 60 тыс. руб., на пропускной способности около 300—400 тыс. руб. При этом эксплуатационные расходы увеличиваются примерно на 30 тыс. руб. в год.

Таким образом, можно констатировать, что рациональное и систематическое увеличение скоростей движения поезда есть необходимое технико-экономическое мероприятие.

Под комфортабельностью езды пассажиров в данном случае понимается степень переносимости раздражающих факторов без нарушения физиологических функций организма подавляющего числа пассажиров. Эти факторы возникают при движении поезда и зависят от его скорости, конструкции и состояния пути и подвижного состава.

Насколько известно, скорость движения сама по себе, когда она уже достигла определенной величины и в это состояние введен человек, не оказывает ощутимого влияния на человеческий организм. Например, мы все несемся вместе с Землей со скоростью около 30 км/с, т. е. более 100 000 км/ч, и даже не ощущаем этого. К большим скоростям движения в современных условиях человек уже привык при полетах на самолетах, скорость которых достигает свыше 800—1000 км/ч. Однако если достигнутая равномерная скорость движения сама по себе не оказывает влияния на организм человека, то ускорения линейное и центробежное, а также их изменения в единицу времени определяют собой степень раздражения и нарушения физиологических функций организма.

Организм человека испытывает ускорение, когда на него воздействуют определенные силы. Независимо от того, в каком направлении действуют силы, их влияние сказы-

вается, главным образом, на мягких опорных тканях, костной ткани, органах, подвешенных в полостях тела, и на жидкостях организма. При ускорениях эти силы развивают на поверхности тела давление, могущее в некоторых случаях стать причиной травмы.

При действии центробежных сил более тяжелые органы, расположенные в полостях тела, либо несколько смещаются из обычного положения, либо испытывают противодавление со стороны надлежащих частей скелета. Из тканевых жидкостей кровь в значительной мере подвержена воздействию ускорения. Силы ускорения вызывают перераспределение крови и давления внутри крупных и мелких сосудов.

Таким образом, скорости движения поездов по условиям обеспечения комфортабельности езды пассажиров должны определяться в зависимости от допускаемых величин так называемых непогашенных ускорений.

Создавая надлежащие условия пассажирам, одновременно следует определять скорости и по условиям обеспечения безопасности движения поездов.

Фактор обеспечения прочности и устойчивости пути требует установления скоростей движения поездов согласно расчетам пути на прочность и устойчивость, а также экспериментальным исследованиям.

Глава 2. УСЛОВИЯ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ

V.3. Комфортабельность езды пассажиров

Как известно, при движении экипажа по кривой возникает центробежная сила $J = mv^2/R = ma$, откуда видно, что ускорение

$$a = v^2/R. \qquad (V.1)$$

При отсутствии переходной кривой и возвышения наружного рельса, что имеет место в стрелочных переводах, эта величина является полностью непогашенным центробежным ускорением.

Как известно, на основании исследований для наших дорог принято как осредненная величина непогашенное центробежное горизонтальное ускорение $a_д = 0{,}7$ м/с². Исследованиями ЛИИЖТа установлено, что при движении поезда по стрелочным переводам на боковое направление можно принять $a_д = 2$ м/с² как импульсное, кратковременное, а при следовании поездов по перегону с небольшим числом кривых (примерно 20%) $a_д = 1$ м/с².

Следовательно, зная для тех или иных конкретных условий величины $a_д$ и R, мы найдем из выражения (V.1) скорость в кривой при возвышении h, равном нулю:

$$v_{max} = \sqrt{a_д R}. \qquad (V.2)$$

В настоящее время величины допускаемых непогашенных горизонтальных ускорений в различных странах приняты в пределах 0,5—1 м/с².

При возвышении наружного рельса h в кривых центробежная сила частично будет гаситься и поэтому непогашенное горизонтальное ускорение

$$a_п = \frac{v^2}{R} - \frac{gh}{S_1}, \qquad (V.3)$$

где S_1 — расстояние между осями головок рельсов, принимаемое равным обычно 1600 мм;
g — ускорение силы тяжести, равное 9,81 м/с²;
h — возвышение наружного рельса в кривой радиусом R.

При известных значениях $a_д$, R, h, S_1 и g из выражения (V.3) максимальная скорость движения на кривой с наличием h по условиям обеспечения комфортабельности езды пассажирам

$$v_{max} = \sqrt{\left(\frac{h}{S_1} g + a_д\right) R} = A\sqrt{R}. \qquad (V.4)$$

В СССР при $h_{max} = 150$ мм, $S_1 = 1{,}6$ м и $a_д = 0{,}7$ м/с² параметр $A = 4{,}6$.

Воздействие вертикальных ускорений на организм человека также вредно. Оно появляется в результате вертикальных колебаний кузова вагона при его движении. Эксперименты показали, что вертикальное ускорение $F < 60$ см/с² легко переносят большинство пассажиров, при $F = 80$ см/с² требуется, чтобы повторяемость воздействий не превышала 20% общего их числа, а амплитуда колебаний была 10—15 мм. При $F = 100$ см/с² эта повторяемость не должна превышать 10%.

V.4. Безопасность движения

Скорость движения поездов из условия предотвращения опрокидывания экипажей. При движении отдельного железнодорожного экипажа по кривой радиуса R при отсутствии на ней возвышения наружного рельса ($h = 0$) и без учета давления на экипаж силы ветра допустимую скорость движения можно проверять по формуле

$$v = \sqrt{\frac{gR\,(S_1/2)}{nb}}, \qquad (V.5)$$

где g — ускорение силы тяжести;
R — радиус кривой, м;
S_1 — расстояние между осями рельсов (1600 мм);
n — коэффициент запаса устойчивости экипажа против опрокидывания, который во всех случаях должен быть больше 1. По исследованиям ЛИИЖТа, для стрелочного перевода марки 1/11 и ряда экипажей (4-осный битумный вагон, цистерна с водой — полная и с недоливом на 600 мм) при скоростях 40—70 км/ч наименьший коэффициент запаса устойчивости получился 1,32, а при $v = 55$ км/ч — 2,13;
b — расстояние от центра тяжести экипажа до уровня поверхности катания рельса (принимается равным 2 м).

При наличии возвышения наружного рельса в кривой допускаемую скорость движения поездов по кривой можно определять по формуле

$$v_{max} \approx 3{,}6\sqrt{gR\left(\frac{S_1}{2nb} + \frac{h}{S_1}\right)} \qquad (V.6)$$

Скорость движения поездов по условию предотвращения вкатывания (вползания) колеса на рельс. Г. И. Иващенко предлагает определять допускаемую скорость движения по стрелочному переводу, при которой невозможно вползание колеса на рельс, по следующим формулам:

при входе на остряк (на боковое направление)

$$v = 2{,}26/\mathrm{tg}\,\beta_y; \qquad (V.7)$$

при входе на крестовину до ее горла

$$v = 2{,}08/\mathrm{tg}\,\beta_y; \qquad (V.8)$$

при входе на крестовину между горлом и математическим центром

$$v = 2{,}71/\mathrm{tg}\,\beta_y; \qquad (V.9)$$

во всех формулах β_y — угол удара.

V.5. Прочность пути

Как известно, действующие на путь динамические нагрузки зависят от скорости движения поездов и обусловливают его напряженное состояние. Если показатели напряженного состояния элементов пути превышают допускаемые, то, очевидно, необходимо усилить эти элементы либо ограничить скорости движения.

В настоящее время напряжения в рельсах нормируются из условия непревышения предела выносливости рельсовой стали. Исходя из этих соображений величины допускаемых напряжений для рельсов типов Р50, Р65 и Р75 приняты равными 2352 МПа (2400 кгс/см^2), а для рельсов старых типов (Iа, Р38, IIIа и IVа длиной 12,5 м) — 1960 МПа (2000 кгс/см^2).

Допускаемые напряжения, МПа, на смятие деревянных шпал и переводных брусьев под подкладками зависят от вида подвижной нагрузки (в числителе — от локомотивов, в знаменателе—от вагонов) и приняты для типов верхнего строения пути следующими:

Особо тяжелый	1,2/1,1
Тяжелый	1,6/1,5
Нормальный	2,0/1,8
Нетиповой	3,0/2,7

Допускаемые напряжения, МПа, в балласте в зависимости от его материала и рода расчетной нагрузки (в числителе — локомотивная, в знаменателе — вагонная) таковы:

Щебень крупностью 25—60 мм . . .	0,5/0,325
Щебень крупностью 7—25 мм, гравий и смешанный балласт (до 50% мелкого щебня)	0,4/0,25
Карьерный гравий и ракушка . . .	0,3/0,225
Песок, отвечающий требованиям технических условий	0,275/0,20

Допускаемые напряжения в основной площадке земляного полотна определяются для каждого рода грунта, из которого возводится земляное полотно. Для здорового земляного полотна из наиболее распространенного суглинистого грунта допускаемое напряжение принимают равным 0,08 МПа.

Допускаемая скорость по условиям обеспечения прочности элементов пути устанавливается расчетом и экспериментами, в которых определяются кромочные напряжения.

Дадим краткое описание определения динамических напряжений в элементах пути, которые у нас в стране находят по Правилам расчета пути на прочность, разработанным ВНИИЖТом. В этих Правилах использованы зависимости между силовыми факторами и характеристиками напряженно-деформированного состояния пути, справедливые для балки бесконечной длины на сплошном упругом основании.

В соответствии с этими Правилами динамические напряжения в элементах пути определяются по следующим формулам:

кромочные напряжения от изгиба в подошве рельса

$$\sigma = \frac{f}{4KW}(P_{ср} + 2{,}5S + \Sigma P_{ср}\mu); \qquad (V.10)$$

напряжения смятия шпалы под подкладкой

$$\sigma = \frac{Kl}{2\omega}(P_{ср} + 2{,}5S + \Sigma P_{ср}\eta); \qquad (V.11)$$

напряжения сжатия в балласте под шпалой

$$\sigma = \frac{Kl}{2\Omega\alpha}(P_{ср} + 2{,}5S + \Sigma P_{ср}\eta), \qquad (V.12)$$

где f — коэффициент, учитывающий горизонтальные силы, равный 1,1—2,25; он берется из таблиц Правил расчета пути на прочность;

$K = \sqrt{\frac{U}{4EI}}$ — коэффициент относительной жесткости рельса и рельсового основания при вертикальном изгибе, см$^{-1}$ (здесь U — модуль упругости рельсового основания при вертикальном изгибе, МПа; E — модуль упругости рельсовой стали, равный $2{,}1 \cdot 10^5$ МПа; I — момент инерции рельса относительно нейтральной оси, параллельной его подошве, см^4);

W — момент сопротивления рельса, см^3;

l — расстояние между осями шпал или брусьев, см;

ω — площадь подкладки (подушки), см^2;

Ω — опорная площадь полушпалы, см^2;

α — коэффициент изгиба шпалы (бруса);

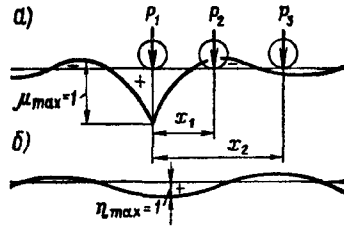
μ — ордината линии влияния изгибающего момента под соответствующим колесом (рис. V.1, *а*);

η — ордината линии влияния перерезывающих сил под соответствующим колесом (рис. V.1, *б*);

$P_{ср}$ — среднее значение вертикального давления расчетного колеса на рельс;

Рис. V.1. Эпюры линий влияния:

а — моментов; *б* — перерезывающих сил



$P_{ср} + 2{,}5\,S$ — максимальное значение давления расчетного колеса на рельс;

S — среднее квадратичное отклонение воздействия (суммарное) переменных сил;

$\left.\begin{matrix}\Sigma P_{ср}\,\mu;\\ \Sigma P_{ср}\,\eta\end{matrix}\right\}$ — эквивалентные грузы, учитывающие влияние соседних (с расчетным) колес в их среднем значении.

Под средним значением вертикального давления расчетного колеса на рельс $P_{ср}$ понимают

$$P_{ср} = P_{ст} + P_{р}^{ср}, \qquad (V.13)$$

где $P_{ст}$ — статическое давление колеса на рельс (берется из паспортных данных расчетного экипажа);

$P_{р}^{ср}$ — среднее значение дополнительной силы от колебания рессор в расчетном сечении:

$$P_{р}^{ср} = 0{,}75 P_{р}; \qquad (V.14)$$

$P_{р}$ — максимальное значение указанной силы от колебания рессор, определяется в зависимости от жесткости рессор и максимального их динамического прогиба:

$$P_{р} = Ж Z_{max}; \qquad (V.15)$$

$Ж$ — жесткость рессор, приведенная к колесу; ее численные значения берутся из паспортных данных расчетного экипажа (в зависимости от экипажа $Ж = 0{,}73 \div 5{,}31$, кН/мм);

Z_{max} — максимальный динамический прогиб рессор, мм, величина которого определяется по эмпирическим формулам, ее берут из Правил расчета пути на прочность.

Суммарное среднее квадратичное отклонение воздействия переменных сил

$$S = \sqrt{S_{р}^2 + S_{нп}^2 + \frac{q_1}{100} S_{инк}^2 + \left(1 + \frac{q_1}{100}\right) S_{ннк}^2}, \qquad (V.16)$$

где $S_{р}$ — среднее квадратичное отклонение дополнительной вертикальной силы $P_{р}$ от колебания рессор. Опытным путем установлено, что

$$S_{р} = 0{,}08 P_{р} = 0{,}08 Ж Z_{max}; \qquad (V.17)$$

$S_{нп}$ — среднее квадратичное отклонение дополнительного инерционного вертикального давления на рельс $P_{нп}$ от влияния изолированной неровности на пути, его можно принимать как

$$S_{нп} = 0,707 P_{нп}; \qquad (V.18)$$

для участков пути с деревянными шпалами

$$P_{нп} = 0,565 \cdot 10^{-8} \beta \gamma l_п P_{ср} \sqrt{U/K} \sqrt{q} v; \qquad (V.19)$$

β — коэффициент, учитывающий влияние типа рельсов на возникновение динамической неровности и равный для рельсов: типа Р75—0,82; Р65—0,87; Р50—1,0; Р43—1,1;

γ — коэффициент, учитывающий влияние рода балласта на образование динамической неровности в пути, принимается для щебня и сортированного гравия 1, для карьерного гравия и ракушки 1,1, для песчаных балластов 1,5;

$l_п$ — расстояние между осями шпал или брусьев;

$P_{ср}$, U, K — имеют те же значения, что и в выражении (V.10);

q — неподрессоренная масса железнодорожного экипажа, приходящаяся на одно колесо, кг, берется из паспортных данных;

v — скорость движения, м/с;

для железобетонных шпал (брусьев)

$$P_{нп} = 0,169 \cdot 10^{-8} \beta \gamma l_п P_{ср} \sqrt{U/K} \sqrt{q} v; \qquad (V.20)$$

$S_{инк}$ — среднее квадратичное отклонение давления $P_{инк}$ колеса на рельс, вызванного силами инерции неподрессоренных масс вследствие наличия изолированных неровностей на колесе.

Вертикальное давление на рельс от воздействия на него колеса, вызванное неровностью на колесе,

$$P_{инк} = y_{max} \frac{2U}{K} a_1, \qquad (V.21)$$

где y_{max} — дополнительный прогиб рельса от дополнительных инерционных сил (по Королеву, $y_{max} \approx 1,47$);

U — модуль упругости подрельсового основания;

K — коэффициент относительной жесткости подрельсового основания и рельса;

a_1 — глубина неровности.

Исследованиями кривых изменений динамических давлений, получающихся при прохождении колеса с неровностью, доказано, что среднее значение этих инерционных давлений равно нулю, а наибольшее значение равно при-

ближенно четырем средним квадратичным отклонениям, т. е. $P_{инк\,max} = 0 + 4S_{инк}$. Отсюда

$$S_{инк} = 0{,}25P_{инк} = 0{,}25a_0 \frac{2U}{K} y_{max}\, a_1, \qquad (V.22)$$

где a_0 — для пути с деревянными шпалами 0,433, а с железобетонными — 0,403;

a_1 — для колес локомотивов, тендеров и моторвагонного подвижного состава с буксовыми подшипниками качения 0,047 см; для колес локомотивов, тендеров и моторвагонного подвижного состава с буксовыми подшипниками скольжения и для колес вагонов с буксовыми подшипниками качения — 0,067 см; для колес вагонов с буксовыми подшипниками скольжения — 0,133 см;

$S_{инк}$ — среднее квадратичное отклонение давления колеса на рельс от сил инерции неподрессоренных масс $P_{инк}$, возникающих вследствие наличия непрерывных неровностей на колесе;

q_1 — в формуле (V.16) процент колес в поезде, имеющих изолированные неровности на колесе. Обычно в расчетах $q_1 = 5\%$.

Максимальное инерционное давление, возникающее при отклонении центра неподрессоренной массы от прямолинейной траектории из-за наличия непрерывных плавных неровностей на колесе, определяют по формуле, предложенной М. Ф. Вериго:

$$P_{инк} = \frac{a_0 K_0 U v^2 \sqrt{q}}{d^2 \sqrt{KU - 3{,}26K^2 q}}, \qquad (V.23)$$

где a_0 — для пути с деревянными шпалами — 0,433, а с железобетонными — 0,403;

$$K_0 = K_1/0{,}225;$$

K_1 — для колес электровозов, тепловозов, моторвагонного подвижного состава и вагонов — 0,052; для сцепных колес паровозов — 0,103; для ведущих колес паровозов — 0,205;

U — модуль упругости подрельсового основания;

v — скорость движения, м/с;

q — неподрессоренный груз, Н;

d — диаметр колеса, см.

Исследования изменения $P_{инк}$ показывают, что среднее значение этой силы равно нулю, а максимальное — примерно 4,5 среднего квадратичного отклонения, т. е. $P_{инк\,max} = 0 + 4{,}5\, S_{инк}$, отсюда

$$S_{инк} = 0{,}225 P_{инк\,max}. \qquad (V.24)$$

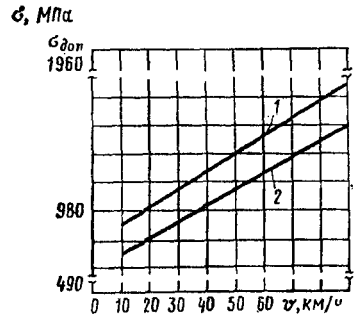


Рис. V.2. График изгибных напряжений в рельсах в зависимости от скорости движения поездов:

1 — на кривой радиусом 600 м; *2* — на прямой

Вычислив все величины, входящие в подкоренное выражение (V.16), пользуясь формулами (V.10); (V.11) и (V.12), определяют расчетные напряжения и строят графики (рис. V.2), по которым находят скорость движения в зависимости от напряжений.

Этими же расчетами пользуются при выборе элементов верхнего строения пути при заданных скоростях движения.

Допускаемую скорость движения поездов по стрелочному переводу из условия обеспечения прочности его элементов **следует проверять и по ограничению потери кинетической энергии** на удар в остряк (при входе на боковое направление), а также в усовик и контррельсы следующим образом.

Как известно, потеря кинетической энергии на удар, если пренебречь упругостью соударяющихся тел, выражается как

$$\frac{m}{2} v^2 \sin^2 \beta_у.$$

Для сравнительных расчетов принимают $m/2 = \text{const}$ и потерю кинетической энергии при ударе (пренебрегая упругостью соударяющихся тел) оценивают квадратом потерянной скорости:

$$W = v^2 \sin^2 \beta_у. \qquad (V.25)$$

Принимая W за допускаемую величину $[W]$, м²/с², можно из выражения (V. 25) найти искомую величину

$$v = \sqrt{[W]}/\sin \beta_у. \qquad (V.26)$$

где $[W]$ — допускаемая условная характеристика потери кинетической энергии на удар в остряк или в элементы крестовинного узла, которая принимается в США 0,0595—0,076 м²/с², во Франции 0,0595—0,0729 м²/с², в Чехословакии 0,076 м²/с². В СССР для расчета при наезде колес на остряки и переводные кривые принимают $[W] = 0{,}0627$ м²/с²; при наезде на направляющие грани контррельсов и усовиков участвует значительно меньшая масса подвижного состава, поэтому для этих случаев проф. Г. М. Шахунянц рекомендует принимать $[W]$, равную 0,157—0,470 м²/с²;

$\beta_у$ — угол удара; для прямых остряков равен стрелочному углу, т. е. $\beta_у = \beta$; для криволинейных остряков секущего типа

$$\beta_у = \arccos\left(\cos\beta_н - \frac{\delta_{max}}{R_0}\right);$$

$\beta_н$ — начальный угол остряка;

δ_{max} — максимальный зазор между рабочей гранью рамного рельса и гребнем колеса;

R_0 — радиус кривизны остряка

В зоне крестовины $\beta_у$ берут из рабочего чертежа (проекта).

V.6. Устойчивость бесстыкового пути

При установлении скорости движения поездов по состоянию пути особое значение придается обеспечению прочности и устойчивости бесстыкового пути. В связи с этим приведем краткие сведения из технических условий на укладку и содержание бесстыкового пути.

Рельсовые плети бесстыкового пути должны работать так, чтобы сумма напряжений в рельсе от воздействия подвижной нагрузки $\sigma_к$ с учетом коэффициента запаса прочности и от изменения температуры σ_t не превосходила допускаемых $[\sigma]$.

Напряжения в кромках подошвы $\sigma_к$ определяются по формуле (V.10) для зимних условий работы при модулях упругости пути на деревянных шпалах $U = 45{,}5$ МПа и 49,0 МПа и на железобетонных $U = 170$ МПа и 185 МПа (соответственно для 1840 и 2000 шпал/км) при принятых скоростях движения.

Напряжение в головке $\sigma_г$ определяют по формуле

$$\sigma_г = \frac{\sigma_к}{f}\left[\frac{Z_г}{Z_п} + (f-1)\frac{b_г}{b_п}\right], \qquad (V.27)$$

где $Z_г$, $Z_п$ — расстояния от оси, проходящей через центр тяжести рельса, до наиболее удаленных волокон соответственно на головке и подошве рельса;

$b_г$, $b_п$ — ширина соответственно головки и подошвы;

$\bar{f}$ — коэффициент, учитывающий изгиб рельса в горизонтальной плоскости и кручение.

Так как $\sigma_к$ определяется в зависимости от скорости движения, то, следовательно, и $\sigma_г$, определяемое по формуле (V.27), зависит от скорости движения.

Температурные напряжения

$$\sigma_t = E\alpha\Delta t \approx 25\Delta t, \qquad (V.28)$$

где E — $2{,}1 \cdot 10^5$ МПа — модуль упругости рельсовой стали;

α — коэффициент линейного расширения, равный 0,0000118 на 1°;

Δt — разность между температурой, при которой определяют напряжение, и температурой закрепления плети на шпалах, °С.

Допускаемое изменение температуры рельсов на растяжение $\Delta t_р$ и сжатие $\Delta t_с$ по сравнению с температурой их закрепления принимают в сторону понижения $\Delta t_р = \Delta t_{пп}$, а в сторону повышения $\Delta t_с = \Delta t_{пг} + 6°$, если $\Delta t_{пг} + 6° < \Delta t_у$, или $\Delta t_с = \Delta t_у$, если $\Delta t_{пг} + 6° > \Delta t_у$.

Здесь наибольшее допускаемое по условию прочности изменение температуры рельсовой плети по сравнению с ее температурой при закреплении в сторону понижения (по прочности подошвы)

$$\Delta t_{пп} = \frac{[\sigma] - K_п \sigma_к}{E\alpha} = \frac{3500 - 1{,}3\sigma_к}{25}; \qquad (V.29)$$

в сторону повышения (по прочности головки)

$$\Delta t_{пг} = \frac{[\sigma] - K_п \sigma_г}{E\alpha} = \frac{3500 - 1{,}3\sigma_г}{25}, \qquad (V.30)$$

где $\Delta t_у$ — допускаемое повышение температуры по условиям устойчивости пути на выброс, устанавливаемое теоретически и экспериментально, берется из технических условий на укладку и содержание бесстыкового пути;

6° — повышение температуры по сравнению с расчетной, которое допускается при необходимости снятия ограничений по укладке бесстыкового пути за счет некоторого повышения напряжений в головке рельса в период максимальных температур.

Возможность укладки и эксплуатации бесстыкового пути устанавливается сравнением допускаемой температурной амплитуды $[T]$ для данных условий с фактически наблюдавшейся T_A.

Величина T_A определяется как разность между наивысшей $t_{max.max}$ и наинизшей $t_{min.min}$ температурами рельса, наблюдавшимися за ряд лет: $T_A = t_{max.max} - t_{min.min}$.

Допускаемая температурная амплитуда определяется как

$$[T] = \Delta t_p + \Delta t_c - [\Delta t_з],$$

где $[\Delta t_з]$ — интервал температур, в котором можно окончательно закреплять бесстыковые плети.

Если по расчету получится $T_A \leqslant [T]$, то бесстыковой путь можно укладывать и эксплуатировать без сезонных разрядок напряжений. В этом случае расчетный температурный интервал закрепления рельсовых плетей будет $\Delta t_з = \Delta t_p + \Delta t_c - T_A$. Границы интервала закрепления будут: нижняя $\min t_з = t_{max.max} - \Delta t_c$, верхняя $\max t_з = \Delta t_p + t_{min.min}$.

В технических условиях на укладку и содержание бесстыкового пути даются указания для определения условий укладки и эксплуатации пути с сезонными разрядками.

Часть VI

ОСНОВЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПУТИ[1]

Нормальная эксплуатация железнодорожного пути обеспечивается строго определенной системой ведения путевого хозяйства, слагающими компонентами которой являются технические, технологические и организационные основы.

К техническим основам относятся: типизация верхнего строения пути, предусматривающая использование тех или иных типов в зависимости от эксплуатационных условий; классификация путевых работ, устанавливающая решаемые задачи при выполнении ремонта каждого вида, номенклатуру и объемы работ; нормы, допуски и требования, предъявляемые к содержанию отдельных элементов и всего пути в целом в различных условиях эксплуатации; технический паспорт дистанции и отчетность о техническом состоянии путевого хозяйства.

Технологической основой служат типовые технологические процессы на ремонты и работы, выполняемые в процессе текущего содержания пути, типовые технически обоснованные нормы времени для учета работ текущего содержания пути (технолого-нормировочные карты), тарификация монтеров пути и система материального поощрения.

Организационными основами являются строго регламентированное назначение и производство каждого из видов капитальных работ, непрерывное содержание пути и сооружений в исправном состоянии, обеспечивающем обращение поездов с установленными скоростями и нагрузками на оси подвижного состава, длительные сроки службы элементов пути.

---

[1] При написании части VI частично использованы материалы Л. М. Дановского из учебника С. В. Амелина и Л. М. Дановского «Путь и путевое хозяйство» (М.: Транспорт, 1972).

Глава 1. ТЕХНИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ВЕДЕНИЯ ПУТЕВОГО ХОЗЯЙСТВА И ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТ

VI.1. Структура управления

Всеми подразделениями путевого хозяйства руководит Главное управление пути Министерства путей сообщения (ЦП МПС). Аппарат Главного управления состоит из отделов, контролирующих и координирующих деятельность работников путевого хозяйства на железных дорогах сети.

На каждой железной дороге путевым хозяйством руководит служба пути, возглавляемая начальником службы (П). Служба имеет следующие основные отделы: технический, эксплуатации и текущего содержания пути, капитального ремонта, механизации, инженерных сооружений, промышленных предприятий, плановый и финансовый, кадров.

Служба руководит дистанциями пути (ПЧ), путевыми машинными станциями (ПМС), щебеночными и шпалопропиточными заводами, дистанциями защитных лесонасаждений, ремонтными мастерскими и другими предприятиями путевого хозяйства.

Железная дорога состоит из отделений (НОД), которые руководят производственной и финансовой деятельностью предприятий и организаций, находящихся в границах отделения. В отделении дороги имеется отдел пути (НОДП).

Основная эксплуатационная хозяйственная единица в путевом хозяйстве — дистанция пути. Она обеспечивает безопасное движение поездов с установленными скоростями, выполняя для этого комплекс работ по текущему содержанию пути и сооружений и некоторые капитальные работы.

Организационная структура дистанции (рис. VI.1) предусматривает деление ее на околотки протяженностью 20—25 км на однопутных линиях и 22—30 км приведенной длины на двухпутных. Околоток, возглавляемый дорожным мастером (ПД), состоит из двух-трех рабочих отделений во главе с бригадирами пути (ПДБ).

Под приведенной длиной пути, обслуживаемого тем или иным подразделением, понимают условную длину всех путей, расположенных в пределах участка обслуживания, приведенную к длине I главного пути. При этом 1 км II

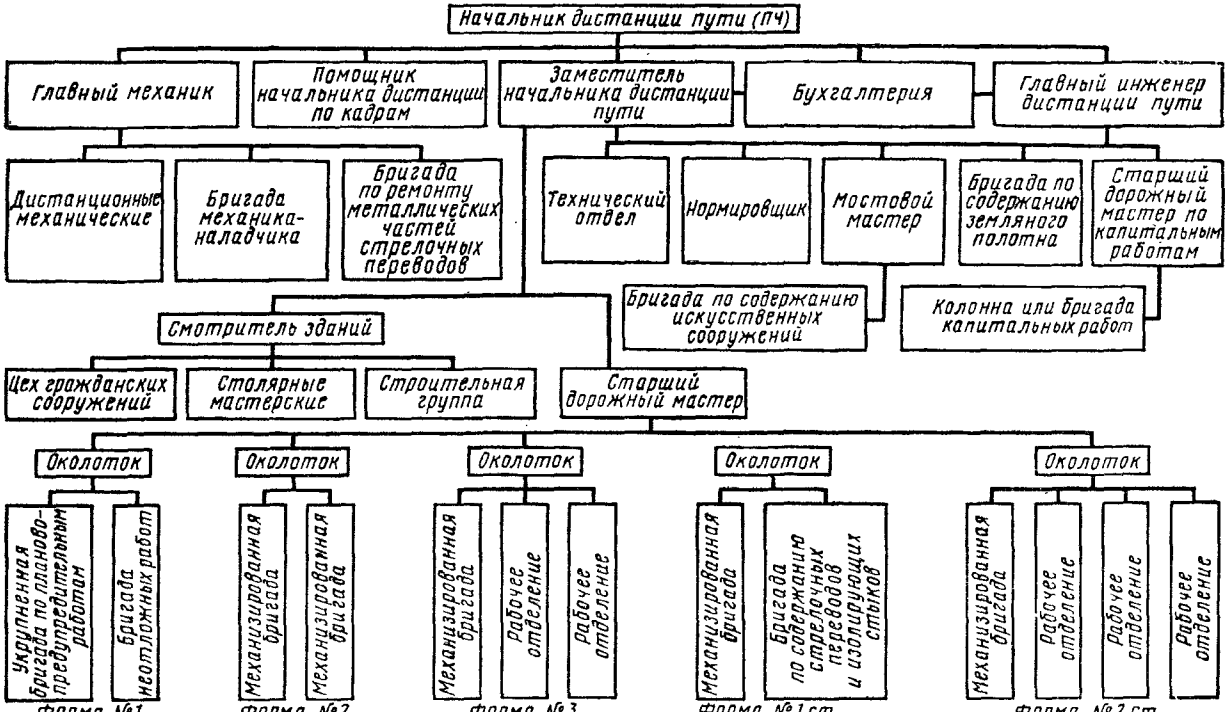


Рис. VI.1 Организационно-административная структура дистанции пути

главного пути принимается эквивалентным 0,75 км, 1 км станционного — 0,33 км, 20 стрелочных переводов — 1 км I главного пути.

Развернутой длиной главного пути называется суммарная длина главных путей, расположенных в пределах обслуживания конкретного путейского подразделения.

Эксплуатационная длина выражает расстояние по оси трассы железнодорожного полотна между осями раздельных пунктов.

Развернутая длина рабочего отделения 7—10 км. Его обслуживает отделенческая бригада из монтеров пути, состав которой должен быть не менее 5 чел., при необходимости назначаются дежурные по переездам и путевые обходчики.

В зависимости от сложности и местных особенностей приведенная длина путей, обслуживаемых одной дистанцией, составляет 180—250 км на одиопутных и 200—300 км на двухпутных и многопутных линиях.

Текущее содержание пути на околотках в пределах перегонов и малых станций может осуществляться по трем формам.

Форма № 1 — околоток имеет две бригады: укрупненную механизированную для производства планово-предупредительных работ и малую (5—6 чел.) для выполнения неотложных работ. Эта структура применима, если земляное полотно здоровое, а тип верхнего строения пути соответствует грузонапряженности и скоростям движения поездов, если соблюдаются межремонтные сроки, если есть возможность подъезда автотранспорта к любой точке пути и если все работиики околотка живут в одном пункте.

Форма № 2 — на околотке создают две-три механизированные отделенческие бригады, в состав каждой из которых входят 10—12 чел. Бригады выполняют весь комплекс работ текущего содержания пути в пределах своих рабочих отделений. Эта структура применима при всех эксплуатационных условиях и типах верхнего строения.

Форма № 3 — на околотке организуют рабочие отделения с бригадами в составе не менее 5 чел. и механизированное звено, работающее по скользящему графику. Звено объединяется с отделенческой бригадой и работает под общим руководством бригадира местного отделения.

На узлах и крупных станциях структурные формы видоизменяются.

Форма № 1 ст — на околотке создают механизированную бригаду в составе 17—20 чел. и специализированную бригаду по содержанию стрелочных переводов и изолирующих стыков (5—6 чел.).

Форма № 2 ст — на околотке имеются два-три рабочих отделения (каждое состоит из 5—6 чел.) и механизированная бригада, которая по усмотрению дорожного мастера периодически объединяется с отделенческой и производит планово-предупредительные работы на стрелочных переводах и станционных путях.

При всех структурных формах бригаду возглавляет бригадир пути.

Дорожный мастер отвечает за состояние пути и сооружений, безопасность движения поездов, планирование и организацию работ, расходование материалов, соблюдение правил техники безопасности на околотке. Бригадир пути несет такую же ответственность на рабочем отделении.

На крупных станциях и узлах, а также при значительной протяженности дистанции разрешается два-три околотка объединять в механизированный участок, возглавляемый старшим дорожным мастером (начальником участка).

С переходом на машинизированное текущее содержание с использованием таких машин, как СМ-2, СМ-3, ПМГ-16, ВПР-1200, ВПРС-500, Р-2000, оказывается необходимым для выполнения сопутствующих работ привлекать укрупненную бригаду в составе 16—18 монтеров пути. Руководят такой бригадой дорожный мастер и два бригадира пути. Бригада создается за счет объединения трех-четырех околотков в механизированный участок во главе с начальником (старшим дорожным мастером) и сокращения количества монтеров пути в отделенческих бригадах до 5—7 чел.

Приведенная длина участка 60—80 км, околотка 25—30 км, рабочего отделения 6—10 км. Однако структурно-организационные формы машинизированного текущего содержания пути окончательно еще не оформились.

На дистанции пути могут также создаваться специализированные подразделения: для текущего содержания искусственных сооружений, земляного полотна, для выправки кривых, ремонта шпал, переводных и мостовых брусьев, а также колонны или укрупненные бригады для производства капитальных работ.

На каждой дистанции пути имеются механические мастерские, гаражи, кладовые и др.

VI.2. Классификация работ. Сроки ремонтов пути. Паспортизация

Классификацией, введенной Госстроем СССР в 1964 г., установлены следующие виды основных путевых работ: текущее содержание, подъемочный ремонт, средний ремонт, капитальный ремонт, сплошная смена рельсов новыми и старогодными, капитальный ремонт переездов; кроме этих работ, смена стрелочных переводов (новыми), смена переводных брусьев, постановка стрелочных переводов на щебень, очистка щебня на переводах, сварка рельсов, шлифовка рельсов, ремонт шпал и др.

Задача текущего содержания пути — поддержание постоянной его исправности, выявление и устранение причин, вызывающих неисправности, обеспечение длительных сроков службы всех его элементов.

Наиболее трудоемкая и сложная работа — **капитальный ремонт пути.** Задача капитального ремонта — усиление или оздоровление всего верхнего строения пути и лечение земляного полотна. Капитальный ремонт проводится только на главных путях с грузонапряженностью 10 млн. т·км брутто на 1 км и более.

Задача среднего ремонта — усиление и оздоровление балластного слоя и шпального хозяйства. Он выполняется на путях всех категорий.

Подъемочный ремонт производится на путях всех категорий с целью восстановления равноупругости основания рельсо-шпальной решетки и дренирующих свойств балластной призмы.

Сплошная смена рельсов новыми выполняется на главных путях для их усиления при хорошем состоянии балластного слоя и шпал.

Сплошная смена рельсов старогодными производится на главных и станционных путях и сопровождается работами в объеме подъемочного или среднего ремонта пути.

Капитальный ремонт переездов включает замену или укладку железобетонного настила, ремонт подходов к ним, водоотводов, надолбов, шлагбаумов, при необходимости перевод их на автоматическое действие, оборудование автоматической светофорной оповестительной и заградительной сигнализацией, реконструкцию переездных постов.

Сроки между двумя капитальными ремонтами определяются пропущенным по пути тоннажем, при котором до-

стигается предельный допустимый выход рельсов из строя по изломам и другим дефектам (см. § I.6).

Срок среднего ремонта определяется пропущенным по пути тоннажем, при котором достигается предельная допустимая засоренность балластного слоя и возникает необходимость его очистки или замены (см. § I.16), а сроки подъемочного ремонта — тоннажем, после пропуска которого заметно ухудшается несущая способность балластного слоя.

Периодичность среднего и подъемочного ремонтов пути зависит от удаленности участков от мест массовой погрузки таких сыпучих грузов, как уголь, руда, торф и др.(см. табл. I. 9).

В период между капитальными ремонтами в кривых радиусом от 1000 до 651 м производится одна и в кривых радиусом 650 м и менее — две сплошные смены рельсов новыми.

Путь в целом, как и другие железнодорожные сооружения и устройства, на каждой дистанции имеет технический паспорт. Паспорт содержит таблицы, отражающие сведения о границах путевых подразделений, негабаритных местах, плане и профиле пути, водоотводах, характеристиках рельсов, шпал, балласта, скреплений, стрелочных переводов, переездов, земляного полотна, искусственных сооружений, зданий, снеговых защит, машин и оборудования. Паспорт не только количественно, но и качественно характеризует элементы пути и сооружений — показывает износ элементов верхнего строения, неустойчивые места земляного полотна, вид, место и время проведения ремонтов и др. В него ежегодно по состоянию на 1 января вносят данные, взятые с натуры. Паспортные данные позволяют планировать ремонтные работы.

VI.3. Обеспечение безопасности движения поездов при производстве путевых работ

Путевые работы выполняются, как правило, без нарушения графика движения поездов. Для производства больших по объемам работ (ремонты пути) в графике движения поездов предусматривают «окна».

В зависимости от характера нарушения целостности и устойчивости пути место работ ограждают сигналами остановки, уменьшения скорости, знаками «Свисток». Запрещается приступать к работам до ограждения мест их про-

изводства, если имеется опасность для следования поездов, а также снимать сигналы до полного окончания работ и проверки состояния пути.

Места работ на перегоне ограждаются в зависимости от количества путей (рис. VI.2). На станционных путях при необходимости оградить место работ сигналами остановки все ведущие к этому месту стрелки переводятся, чтобы на него не мог попасть подвижной состав. Стрелку в таком положении запирают на замок или зашивают костылями.

Перечень работ с указанием вида сигналов, ограждения, порядка их установки, должности руководителя работ, скорости пропуска поездов по месту работ приводится в Инструкции по обеспечению безопасности движения поездов при производстве путевых работ.

VI.4. Контроль за состоянием пути

Нормы содержания пути и сооружений, сроки и порядок их осмотров и проверок установлены Инструкцией по текущему содержанию пути. Контроль за их состоянием осуществляется натурным осмотром, путеизмерительными вагонами и тележками, дефектоскопными вагонами и тележками.

Бригадир пути проверяет путь 1 раз в неделю; дорожный мастер совместно с бригадиром пути — 1 раз в 2 недели; старший дорожный мастер и начальник участка — не реже одного раза в месяц в границах обслуживаемых ими участков.

Обходчики железнодорожных путей и искусственных сооружений или специально назначаемые монтеры пути, а также дежурный по переезду осматривают путь согласно графику. Кроме этого, проводятся комиссионные месячные и квартальные, весенние и осенние осмотры и проверки.

Для проверок колеи по ширине и уровню применяют путевые шаблоны и путеизмерительные вагоны. Путевые шаблоны бывают рабочие, которыми пользуются при перешивке колеи, и контрольные (рис. VI. 3). Путеизмерительные вагоны обеспечивают измерения и регистрацию на ленте геометрических параметров рельсовой колеи, которые влияют на плавность и безопасность движения.

На бумажной ленте путеизмерительного вагона фиксируются взаимное положение рельсовых нитей по уровню,

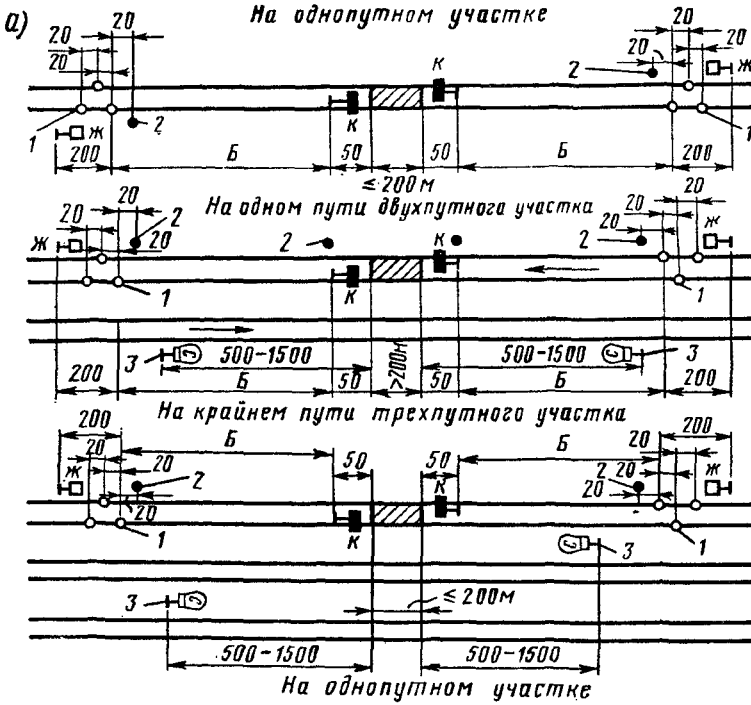


Рис. VI.2. Некоторые схемы ограждения мест

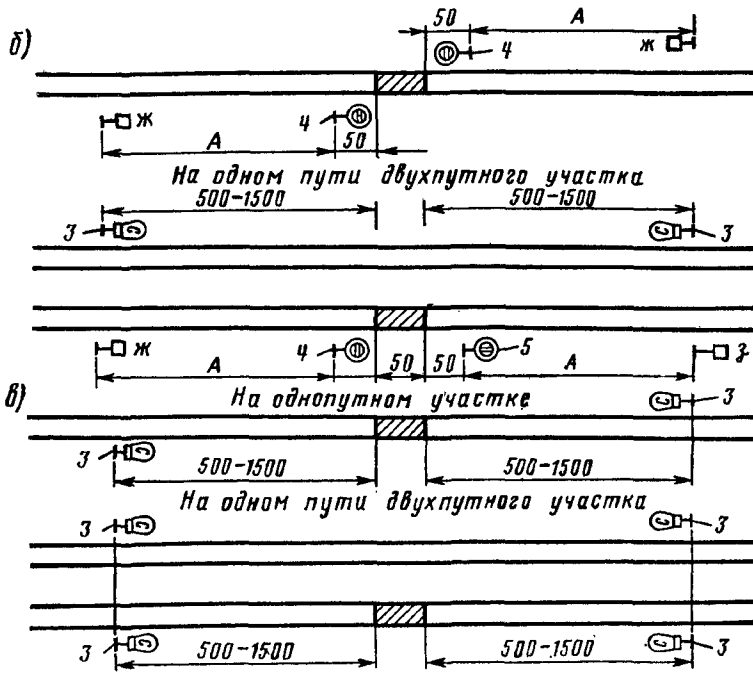
а — сигналами остановки; *б* — сигналами уменьшения скорости; *в* — сигналь-
1 — петарды; *2* — сигналисты с красными ручными сигналами; *3* — сигнальный
А и *Б* — устанавливаются Инструкцией по сигнализации в зависимости от

ширине колеи, горизонтальные и вертикальные толчки, расположение рельсовых нитей в горизонтальной плоскости. Путеизмерительным вагоном системы ЦНИИ проверяют путь при следовании по перегону со скоростью до 100 км/ч.

На дорогах СССР установлены 4 качественные оценки состояния пути: отличная, хорошая, удовлетворительная и неудовлетворительная. Отличная, хорошая или удовлетворительная оценка может быть дана, если:

путь полностью исправен, что определяется натурным осмотром и оценивается натурными показателями;

число штрафных баллов, начисляемых за отклонение от установленных норм по показаниям путеизмерительного вагона, не превышает установленных значений (табл. VI.1).



производства работ (заштриховано) на перегонах:

ными знаками «С»; *К* — красный щит; *Ж* — желтый щит; *З* — зеленый щит; знак «С»; *4* — «Начало опасного места»; *5* — «Конец опасного места»; руководящего спуска и максимальной скорости движения

Все неисправности пути классифицируются пятью степенями. Отклонения в пределах установленных допусков являются неисправностью I степени. Наибольшие и недопустимые отклонения относятся к V степени. Неисправности оценивают по системе возрастающих баллов. Каждая неисправность в зависимости от ее величины получает определенный балл.

Состояние рельсовой колеи в пределах рабочего отделения, околотка, участка, дистанции пути, направления или дороги оценивается средневзвешенным баллом, который получается делением общей суммы баллов по всем установленным отступлениям на число проверенных километров данного участка.

Таблица VI.1

Качественная оценка пути	Сумма баллов за все отступления на 1 км	
	для пути с непросроченным капитальным ремонтом	для пути с просроченным капитальным ремонтом, переложенными рельсами, а также с рельсами Р43 и легче
Отлично	0—40	0—60
Хорошо	41—100	61—120
Удовлетворительно	101—500	121—500
Неудовлетворительно	>500	>500

Примечание. Километр считается также неудовлетворительным при наличии хотя бы одного отступления V степени, а на участках движения пассажирских поездов со скоростями 121 км/ч и более, грузовых 81 км/ч и более — также и отступления IV степени (кроме сужения колеи и отступлений в плане длиной от 20 до 40 мм).

Для своевременного обнаружения дефектов в рельсах, лежащих в пути, используются электромагнитные и ультразвуковые дефектоскопы съемные — смонтированные на тележках и перемещаемые вручную (рис. VI. 4), и дефектоскопные вагоны. Принцип действия электромагнитных дефектоскопов основан на намагничивании рельсов постоянным магнитным полем и фиксации возникающих у дефектов местных возмущений магнитного поля (полей дефектов) с помощью расположенных над рельсом искательных устройств. При наезде на дефектное место аппарат дает звуковой сигнал и отклоняется стрелка миллиамперметра.

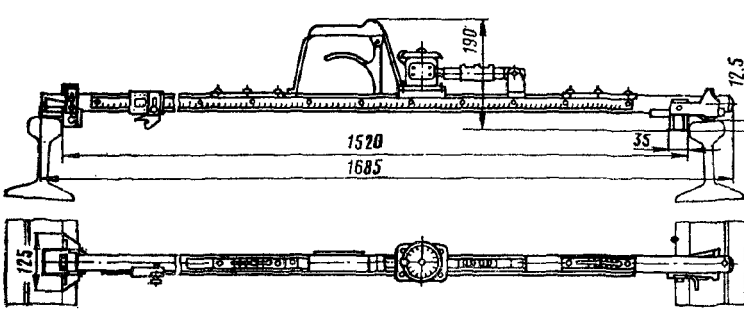


Рис. VI.3. Контрольный шаблон для проверки колеи по ширине и по уровню

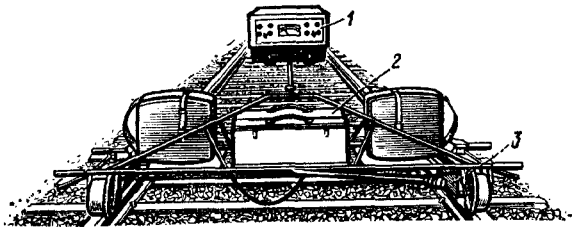


Рис. VI.4. Ультразвуковой съемный рельсовый дефектоскоп УЗД-НИИМ-6М:

1 — прибор; *2* — источник питания; *3* — искательная система

Магнитные дефектоскопные вагоны в рабочем состоянии следуют по перегону с отдельным локомотивом со скоростью 70 — 80 км/ч.

Действие ультразвуковых дефектоскопов основано на прозвучивании рельса импульсами ультразвуковых колебаний. Внутренние трещины в головке, шейке или подошве рельса препятствуют распространению ультразвука и могут быть обнаружены как по исчезновению сигнала, соответствующего ультразвуковому импульсу, отраженному от подошвы рельса, так и по появлению сигналов, соответствующих попаданию в приемное устройство импульсов, отраженных и рассеянных гранями дефекта.

Ультразвуковой метод используется в съемных рельсовых дефектоскопах УЗД-НИИМ-6М, «Рельс-4», «Рельс-5», «Поиск-2», а также в портативном однониточном контрольном аппарате УРД-63 и приборах для контроля сварных стыков «Рельс-6» и ДУК-66П. Детали стрелочных переводов проверяют дефектоскопом УРДО-3. Для сигнализации о наличии дефекта в ультразвуковых дефектоскопах используются электронно-лучевые трубки или устройства, дающие звуковой сигнал и отклонение стрелки миллиамперметра.

Глава 2. МЕХАНИЗАЦИЯ ПУТЕВЫХ РАБОТ

VI.5. Основные виды машин, механизмов и инструмента

Механизация и автоматизация являются технико-экономической основой путевого хозяйства, обеспечивающей снижение трудоемкости и себестоимости работ, повышение производительности и качества труда.

Путевые машины можно классифицировать либо по признаку работы — с занятием или без занятия перегона (машины тяжелого и легкого типа), либо по характеру выполняемых работ и назначению.

К путевым машинам тяжелого типа относятся такие, которые на весь период путевых работ занимают перегон. К машинам легкого типа относятся те, которые можно снять с рельсов, если надо пропустить поезд. Для их работы нет надобности закрывать движение поездов.

По назначению машины могут быть разделены на 8 групп: для лечения земляного полотна (путевые струги, прорезекопатели); для смены путевой решетки и ее элементов (путеукладочные и рельсоукладочные краны и устройства для смены рельсовых плетей, машины для замены шпал); машины для работы с балластным слоем и для выправки пути (электробалластеры, щебнеочистительные, выправочно-подбивочно-отделочные, выправочно-подбивочно-рихтовочные, рихтовочные); для поддержания путевой решетки в исправном состоянии (передвижные рельсосварочные машины,

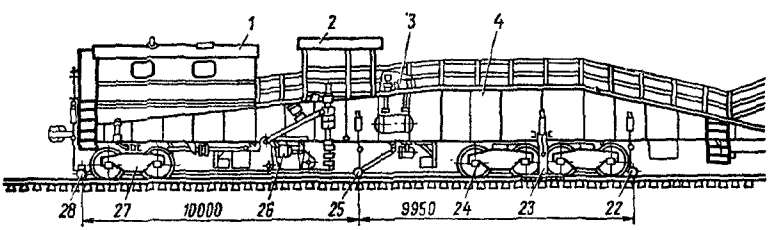


Рис. VI.5. Электробал

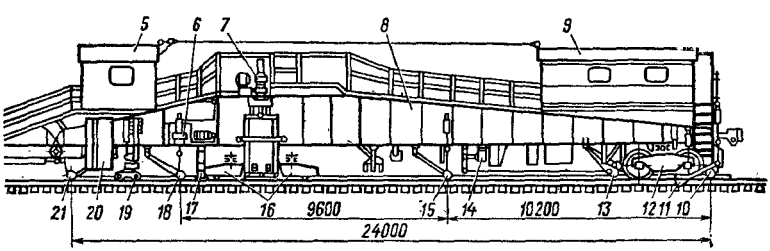
1, 9 — задняя и передняя кабины; *2* — будка дозатора; *3* — пневмооборудова механизм сдвига электромагнитов; *10, 21* — концевые тележки рабочего стрекаток; *14, 26* — натяжные устройства; *15, 18* — следящие тележки рабочего *прижатия*; *22, 28* — концевые тележки контрольного стрелографа;

машины для очистки от грязи рельсов и скреплений, для закрепления болтовых соединений, поливочные поезда с гербицидами); для контроля состояния рельсов (дефектоскопы съемные и несъемные, путеизмерительные вагоны и тележки); специальный подвижной состав для перевозки грунта и материалов верхнего строения пути (думпкары, хопперы-дозаторы, специальный состав для перевозки рельсовых звеньев и рельсовых плетей); для очистки и уборки снега с пути (снегоочистители и снегоуборочные машины, устройства автоматической очистки стрелок от снега); машины для транспортировки людей и материалов, оборудованные погрузочно-разгрузочными кранами (автомотрисы, дрезины, краны и др.).

Электробалластер предназначен для дозировки и подъемки путевой решетки на балласт. Дозировкой называется равномерное распределение ранее выгруженного балласта слоем заданной толщины в пределах балластной призмы.

Электробалластер ЭЛБ-3 (рис. VI.5) при подъемке пути на балласт вывешивает путевую решетку до 350 мм. Максимальная высота задозированного слоя балласта достигает 300 мм выше головки рельсов. Рабочая скорость при дозировке 10—15 км/ч, при подъемке 3—8 км/ч. Применение электробалластера позволяет сократить затраты труда на 1 км по сравнению с работами вручную до 175—200 чел.-дней.

С 1980 г. серийно выпускаются **щебнеочистительные машины ЩОМ-4** (рис. VI. 6), в качестве базы которой использован электробалластер ЭЛБ-3. Основными особенностями ЩОМ-4 являются роторное устройство, конвейер для



ластер ЭЛБ-3:

ние; *4, 8* — фермы; *5, 20* — кабины управления; *6* — гидрооборудование; *7* — лографа; *11* — рыхлитель; *12, 24, 27* — ходовые тележки; *13* — масштабный стрелографа; *16* — электромагниты; *17* — механизм рихтовки; *19* — механизм *23* — уплотнение; *25* — следящая тележка контрольного стрелографа

отбора щебня и механизм для пробивки шпальных ящиков. Роторное устройство служит для вырезки балласта на плечах балластной призмы с целью уменьшить сопротивление передвижению машине и представляет собой два многоковшовых ротора, размещенных за первой тележкой по бокам фермы. Механизм для пробивки ящиков предназначен для удаления щебня, застрявшего между шпалами поднятой путевой решетки. Это вращающаяся на оси втулка, имеющая спицы с наконечниками по концам. Спицы при вращении попадают в пространство между шпалами и проталкивают застрявший между шпалами щебень под путевую решетку.

Конвейер для отбора щебня предупреждает переподъемку пути. Он имеет сетчатую ленту и дополнительный бункер, из которого щебень по желобам может сыпаться или в шпальные ящики, или вдоль колеи за концы шпал. Производительность машины до 3000 м³/ч, максимальная глубина очистки 25—30 см ниже подошвы шпалы. Экипаж — 5 чел. Перемещается машина тепловозом мощностью не менее, чем ТЭ3, одна секция которого используется как силовая установка для питания электродвигателей основного рабочего органа — звездочки сетчатой ленты щебнеочистительного механизма.

Выправочно-подбивочно-отделочная машина (ВПО-3000) предназначена для уплотнения балласта, выправки и отделки пути при ремонтах. Уплотнение балласта под шпалами основано на непрерывном вибрационном обжатии всей балластной призмы со стороны торцов шпал. При этом производится оправка балластной призмы и уплотнение откосов. Машина (рис. VI.7) смонтирована на однопролетной ферме, установленной на первой двухосной и второй трехосной тележках. Рабочие органы управляются полуавтоматически и вручную. Для питания рабочих органов машина имеет электростанцию мощностью 200 кВт. Производительность ВПО-3000 достигает 3000 м/ч. Перемещается машина тепловозом, обслуживается 5 чел. и используется при капитальных работах.

При капитальном ремонте пути со сменой рельсо-шпальной решетки применяются **путеукладочные краны В. И. Платова.** — УК-25/9 или УК-25/9-18 (рис. VI.8). Грузоподъемность УК-25/9—90 кН (9 т), а УК-25/9-18—180 кН (18 т). Оба могут укладывать рельсовые звенья длиной до 25 м.

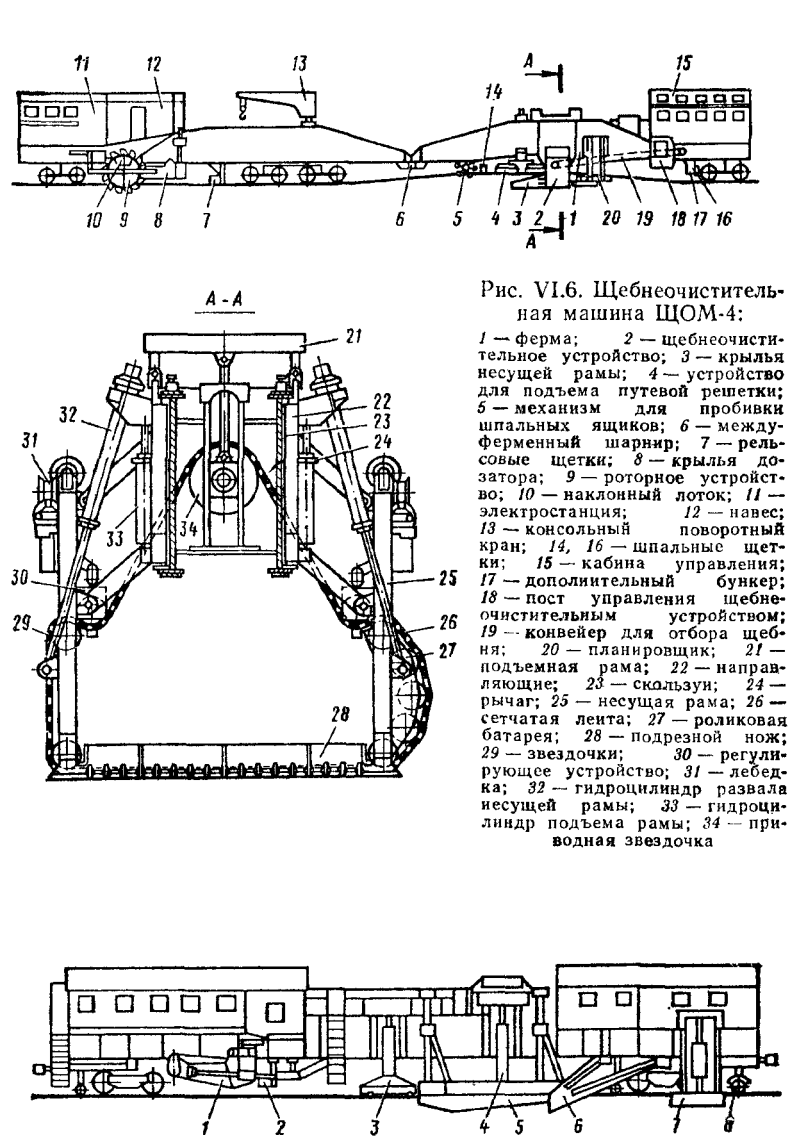


Рис. VI.6. Щебнеочистительная машина ЩОМ-4:

1 — ферма; *2* — щебнеочистительное устройство; *3* — крылья несущей рамы; *4* — устройство для подъема путевой решетки; *5* — механизм для пробивки шпальных ящиков; *6* — междуферменный шарнир; *7* — рельсовые щетки; *8* — крылья дозатора; *9* — роторное устройство; *10* — наклонный лоток; *11* — электростанция; *12* — навес; *13* — консольный поворотный кран; *14, 16* — шпальные щетки; *15* — кабина управления; *17* — дополнительный бункер; *18* — пост управления щебнеочистительным устройством; *19* — конвейер для отбора щебня; *20* — планировщик; *21* — подъемная рама; *22* — направляющие; *23* — скользуи; *24* — рычаг; *25* — несущая рама; *26* — сетчатая лента; *27* — роликовая батарея; *28* — подрезной нож; *29* — звездочки; *30* — регулирующее устройство; *31* — лебедка; *32* — гидроцилиндр развала несущей рамы; *33* — гидроцилиндр подъема рамы; *34* — приводная звездочка

Рис. VI.7. Выправочно-подбивочно-отделочная машина ВПО-3000:

1 — дозатор; *2* — рельсовые щетки; *3* — первый механизм сдвига и перекоса для черновой выправки; *4* — второй механизм для чистовой выправки; *5* — основная вибрационная уплотнительная плита; *6* — планировщик откосов; *7* — уплотнители откосов балластной призмы; *8* — механизм обметания шпал

Разборка старой и укладка новой путевой решетки ведутся комплектом разборочно-укладочных средств. В него входят два путеукладочных крана и соответственно два состава платформ, оборудованных роликами для перемещения пакетов с рельсовыми звеньями. В разборочный и укладочные поезда включаются моторные платформы (одна на 10 немоторных) для перемещения пакетов вдоль состава и как тяговые единицы.

Укладочные краны и моторные платформы имеют одинаковое энергетическое оборудование: два дизеля мощностью по 110 кВт; два генератора по 100 кВт; четыре тяговых двигателя мощностью по 43 кВт, каждый из которых приводит в движение одну колесную пару; по два компрессора для питания тормозной системы; пневматические тормоза.

Моторные платформы используются для перевозки пакетов звеньев в пределах фронта работ и для их перетяжки вдоль состава. Грузоподъемность моторной платформы 320 кН, длина 16, 24 м, ширина 3,25 м.

Часовая производительность путеукладочного крана 0,46 км пути при укладке звеньев длиной 12,5 м и 0,8 км при укладке звеньев длиной 25 м. Применение путеукладчиков по сравнению с работами вручную снижает затраты труда на 1 км на 150—175 чел.-дней.

При текущем содержании пути и основных работах среднего и подъемочного ремонтов подбивка шпал во всевозрастающих объемах ведется **выправочно-подбивочно-рихтовочными машинами ВПР-1200** (рис. VI.9). ВПР-1200— это самоходная универсальная путевая машина цикличного действия, выправляющая путь в плане и профиле. Продолжительность цикла с одновременной подбивкой двух

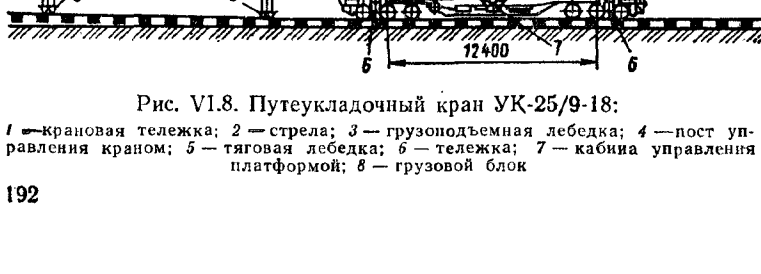


Рис. VI.8. Путеукладочный кран УК-25/9-18:

1 — крановая тележка; *2* — стрела; *3* — грузоподъемная лебедка; *4* — пост управления краном; *5* — тяговая лебедка; *6* — тележка; *7* — кабина управления платформой; *8* — грузовой блок

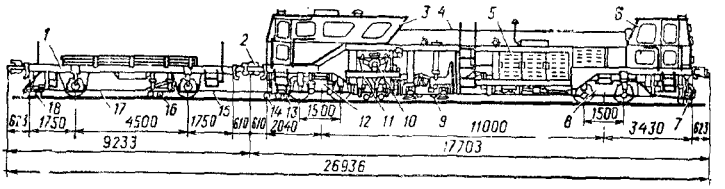


Рис. VI.9. Выправочно-подбивочно-рихтовочная машина (ВПР-1200): *1* — платформа; *2* — автосцепка; *3, 6* — кабины управления; *4, 15, 17* — тросы; *5* — дизель; *7, 13, 16, 18* — измерительные тележки; *8, 12* — ходовые тележки; *9* — подъемно-рихтовочное устройство; *10* — подбивочный блок; *11* — виброуплотнитель; *14* — масштабный каток

шпал в зависимости от состояния балластного слоя составляет 6—12 с.

Основу машины составляет рама, опирающаяся на две двухосные тележки и имеющая по концам две кабины — водителя и оператора (см. рис. VI. 9). Перед второй тележкой на специальной раме подвешены два подбивочных блока, перемещающиеся вертикально и работающие независимо один от другого. Каждый блок имеет 16 подбоек (по 8 на каждую рельсовую нить), перед ними расположены подъемно-рихтовочный агрегат и уплотнитель балласта. Измерение отклонений в положении пути, подача сигналов на подъемку и сдвижку пути, контроль за результатами выправки осуществляется контрольно-измерительной системой, состоящей из двух частей: рихтовочной и нивелировочной. Технологическая производительность машины 400—600 шпал/ч, максимальное время непрерывной работы 3 ч. Машина имеет силовую установку ЯМЗ-238 мощностью 176 кВт. Обслуживают ее 5 чел. Машиной можно управлять вручную, полуавтоматически или автоматически.

Для лечения больных мест земляного полотна используются прорезекопатели, станки для бурения горизонтальных и наклонных скважин для выпуска воды из балластных корыт или мешков. Особенно эффективен для этой цели пневмопробойник конструкции Института горного дела Сибирского отделения Академии наук СССР. Пневмопробойник работает по принципу пневматических машин ударного действия (отбойного молотка и др.). Корпус имеет форму гладкого цилиндра, заостренного в передней части. При работе движется подобно забиваемой свае, уплотняя грунт впереди и в стороны, и оставляет за собой скважину

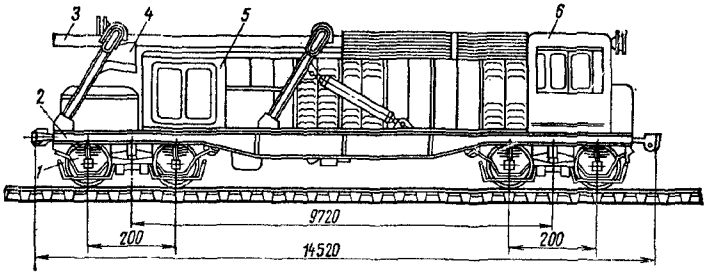


Рис. VI.10. Передвижная рельсосварочная машина ПРСМ-3:
1 — двухосная самоходная тележка; *2* — рама; *3* — стрела; *4* — электрическая таль; *5* — кузов; *6* — кабина

диаметром до 200 мм. В пробитую скважину можно ввести дренажную трубу или дренажный заполнитель. Масса пневмопробойника 80 кг.

Для электроконтактной сварки рельсов, лежащих в пути, восстановления целостности рельсовых плетей при изломах применяют передвижные рельсосварочные машины ПРСМ-1 и ПРСМ-3 (рис. VI.10). ПРСМ-1 перемещается тепловозом, а ПРСМ-3 — самоходная. Рельсы сваривают электросварочной головкой К-355. Машина построена на базе четырехосной платформы, на которой смонтированы две качающиеся портальные рамы со стрелой, размещаются две электросварочные головки и кузов дизель-генераторного отделения. В нем размещена электростанция У-36 мощностью 200 кВт, питающая сварочный агрегат, тяговые двигатели и все вспомогательные механизмы. В специальном отделении установлены два шкафа электросварочного оборудования, агрегат для охлаждения сварочных головок и две гидроустановки.

На перегоне рельсы сваривают по двум технологическим схемам: непосредственно в пути и в колее действующего пути. Плети сваривают при температуре рельсов, соответствующей расчетному температурному интервалу закрепления.

Для ликвидации волнообразного износа поверхности головок рельсов используется рельсошлифовальный поезд, состоящий из локомотива, рельсошлифовального вагона и цистерны с водой для охлаждения и смачивания абразивных камней. На тележках вагона размещается 24 шлифовальных камня, а на тележках цистерны—16. Они прижимаются

к головке рельса с усилием 100—140 кН. Рабочая скорость поезда 30—65 км/ч. Управляют шлифовальными механизмами с пульта управления, находящегося в вагоне, при помощи электронно-пневматической системы. Для удаления неровностей на рельсах на величину до 1 мм поезд совершает до 35—40 проходов.

В путевом хозяйстве большое распространение получил **гидравлический и электрифицированный инструмент.** Источником питания для электрического инструмента служат передвижные электростанции или постоянные линии энергоснабжения.

Электрические вибрационные шпалоподбойки предназначены для уплотнения балласта под шпалой. На отечественных дорогах применяют электрошпалоподбойки двух типов: ЭШП-7, ЭШП-9 мощностью 250 Вт. Колебания корпуса вибратора передаются подбивочному полотну и наконечнику. За счет вибраций и давления наконечника балласт приходит в движение и заполняет пустоты под шпалой.

Путевые гаечные ключи применяют двух типов: с вертикальным расположением шпинделя ШВ-2, ПГК и с горизонтальным — ЭК-1М. Шуруповерт ШВ-1 и путевые гаечные ключи ЭК-1М и ПГК имеют электрический двигатель мощностью соответственно 1; 0,4; 0,6 кВт. Все электрогаечные ключи снабжены специальными роликами для перемещения по рельсам, так как масса их значительна (от 24 до 63 кг). Шуруповерт ШВ-2 служит для отвинчивания и завинчивания шурупов, гаек клеммных и закладных болтов, сверления отверстий в шпалах и брусьях.

Электрический рельсорезный станок РМ-3 предназначен для резки рельсов всех типов. Мощность двигателя 1 кВт, время резания рельсов Р75, Р65, Р50 соответственно 22, 17, 10 мин.

Электрические рельсосверлильные станки применяют типов 1024-В и РСМ-1. Они сверлят отверстия в шейках рельсов под стыковые болты. Мощность электродвигателя 1 кВт. Масса станка 35—37 кг.

Рельсошлифовальные станки могут быть электрические МРШ-3 и с бензиновым двигателем РТ-2. Применяются также станки для затески шпал и моторные гидравлические рихтовщики РГУ-1.

Гидравлические домкраты предназначены для вывески пути. Наибольшее распространение получили домкраты

ДГ-9 и ДГП-8 грузоподъемностью 60 и 80 кН, вывешивающие путь на высоту до 200 мм. Их масса 17—20 кг.

Рихтовочный прибор РГ-12Б предназначен для выправки пути в плане. Его грузоподъемность 60 кН, ход штока до 100 мм, а масса 10,5 кг.

Для разгонки зазоров применяется гидравлический прибор РН-03. Он создает распорное усилие 250 кН, обеспечивая передвижку рельсов до 150 мм за одну установку. Масса прибора 78—100 кг, он передвигается по рельсам на роликах.

VI.6. Энергетика путевого хозяйства и подъемно-транспортные средства

Энергетическая база железнодорожного транспорта в целом включает локомотивы и специальные энергетические установки. В путевом хозяйстве локомотивы используются как тяговые единицы, а в ряде случаев — и для питания приводов рабочих органов машин тяжелого типа. Например, одна секция тепловоза ТЭ3 перемещает машину ЩОМ-Д, а другая приводит в движение решетчатую ленту. В энергетическую базу путевого хозяйства входят также постоянные линии электроснабжения, переносные и передвижные электростанции, двигатели внутреннего сгорания, автомобили, тракторы и др.

В качестве источника электроэнергии для электроисполнительного инструмента и механизмов применяются переносные и передвижные электростанции АБ2-Т/230Ж и АБ4-Т/230Ж мощностью 1,6 и 3,2 кВт. Для питания силовых и осветительных линий используется передвижная электростанция ЖЭС-30С, а также дизель-генераторная установка У14-ГС мощностью 200 кВт; для наплавки изношенных концов рельсов и крестовин — электростанции на тракторах ДТ-54 и Т-74 мощностью соответственно 37,5 и 50 кВт.

В последние годы для питания электроисполнительного инструмента и механизмов на некоторых дорогах используют высоковольтные воздушные линии электропередачи ЛЭП-10, пролегающие вдоль трассы железной дороги. Наиболее простыми по способу подключения путевых инструментов являются трехфазные линии напряжением 220 В.

Отбор электроэнергии для питания электроисполнительного инструмента производится от токоотборных точек, размещаемых через 70—100 м на обочине.

Транспортные средства используются для перевозки рабочих, инструмента, материалов. На короткие расстояния материалы перевозят на путевых вагончиках, однорельсовых тележках. Для транспортировки материалов и рабочих на значительные расстояния используются моторные дрезины и мотовозы, автомотрисы.

Автодрезина типа АСГ может перевозить до 32 чел., а автомотриса типа АС-1 — до 24 чел. со скоростью 90 км/ч, съемная дрезина ТД-5 с двумя прицепами — до 20 чел. или груз массой до 1 т, съемная мотодрезина СМ-4—4 чел. при скорости до 50 км/ч.

Большое распространение имеют дрезины АГМ^{у} грузоподъемностью до 5 т, оборудованные поворотным краном грузоподъемностью 1 т, и дрезины ДГК^{у} с краном грузоподъемностью до 3,5 т, развивающие скорость до 85 км/ч. Для осмотра пути используются инспекторские дрезины типов СМ-4 и ИД-1, которые могут двигаться со скоростью 50—60 км/ч. На грузонапряженных участках, где занятие перегона сопряжено со снижением пропускной способности, наряду с транспортными средствами на железнодорожном ходу все шире внедряются автомашины и тракторы.

К местам путевых работ балласт может доставляться в полувагонах и на платформах. Однако наибольший технико-экономический эффект достигается при использовании хопперов-дозаторов ЦНИИ, производящих механизированную разгрузку балласта одновременно с его дозировкой и разравниванием. Управление хопперами-дозаторами пневматическое; сжатый воздух подается от локомотива. Емкость хоппера-дозатора ЦНИИ-ДВ3 при загрузке с «шапкой» достигает 40 м^3. В состав обычно входят 20 хопперов-дозаторов.

Рельсы длиной 25 м перевозят на сцепах из нормальных платформ, а длинные плети — на специальных составах, оборудованных роликами и аппарелью. Длина специального состава 800 м, причем в его голове размещается вагон с электролебедками и силовой установкой, обеспечивающими плавную погрузку и выгрузку длинномерных рельсовых плетей. В передней части головного вагона расположены бытовые помещения обслуживающего персонала (2 чел.). Плети выгружают методом «вытаскивания» из-под них под-

вижного состава, при этом концы плетей прикрепляют к рельсам, лежащим в пути.

На погрузке и выгрузке материалов верхнего строения на базах ПМС и дистанций пути используются козловые краны грузоподъемностью 100 кН.

Глава 3. ТЕКУЩЕЕ СОДЕРЖАНИЕ ПУТИ

VI.7. Планирование

Работы текущего содержания пути планируются в соответствии с годовыми, квартальными и полумесячными планами. Состав работ текущего содержания, их объем зависят от грузонапряженности, скоростей движения поездов, нагрузок на оси, характера перевозимых грузов, рода тяги, степени износа элементов верхнего строения, засоренности балластного слоя, плана и профиля пути, климатических и других местных особенностей. В связи с сезонными особенностями состав и объемы работ в течение года меняются. Общие объемы регламентируются нормами расхода труда в человеко-годах на 1 км пути.

Полумесячное планирование осуществляется по данным сплошной натурной проверки и осмотра пути дорожным мастером совместно с бригадиром. Неисправности, угрожающие безопасности движения поездов (остродефектные рельсы, излом накладок и др.), устраняют немедленно, как только обнаружат. В первые два дня каждого полумесяца планируют неотложные работы (ликвидация отступлений от допусков по ширине колеи и уровню, резких толчков и др.), а затем — предупредительные.

Квартальный план составляет начальник дистанции пути с учетом сезонности. В нем указывается порядок и сроки выполнения комплекса предупредительных работ, свойственных данному сезону (например, сплошная выправка кривых весной и осенью и др.).

Годовой план разрабатывается на основании данных производственно-финансового плана, плана поступления материалов верхнего строения с учетом утвержденного задания по капитальному, среднему и подъемочному ремонтам пути.

Работы текущего содержания зависят от времени года. **В состав летних планово-предупредительных работ** входят регулировка зазоров, замена негодных и поправка ослабших противоугонов, одиночная смена шпал, выправка пути по уровню и в продольном профиле, рихтовка, перешивка, планировка балластной призмы и обочин, очистка рельсов и скреплений от грязи, уборка грязи с пути, очистка водоотводных канав и кюветов.

В осенний период выполняется комплекс работ для подготовки пути к периоду дождей и к зиме: выправка пути с подбивкой шпал, сплошная рихтовка, сплошная смазка болтов, закрепление пути от угона, проверка рельсовых цепей, планировка балластной призмы, отвод воды и др. Кроме того, готовятся к снегоборьбе: устанавливают знаки для снегоочистителей, колья и снеговые щиты, ремонтируют снегозащитные заборы, на раздельных пунктах во всех местах с междупутий убирают препятствия для работы снегоуборочных машин и др.

В зимние планово-предупредительные работы входят: замена дефектных рельсов, перешивка пути, регулировка зазоров, исправление пути укладкой карточек. Неотложные работы в этот период — исправление пути на пучинах, во время метелей контроль за работой снеговых защит, перестановка щитов, очистка пути от снега и др.

В конце зимы вскрывают от снега канавы и кюветы, русла малых мостов и труб, очищают от снега откосы больных насыпей и выемок.

Весной в первую очередь отводят воду от земляного полотна и балластной призмы и выполняют работы по предупреждению размывов и подмывов при проходе весенних вод. Путевые работы выполняют в два этапа. На первом для предупреждения угона пути при оттаивании балласта до подошвы шпал регулируют зазоры и приводят в порядок противоугонную систему, добивают костыли, исправляют путь на пучинах, подтягивают болты. На втором этапе, после оттаивания балласта ниже подошвы шпал, производят одиночную смену шпал для «разрядки кустовой гнилости», зачищают заусенцы на шпалах, устраняют толчки и перекосы, перешивают колею, очищают рельсы, скрепления и верх балластной призмы от грязи, исправляют путь на пучинах, сплошь рихтуют путь, приводят в порядок водоотводы после паводка.

Планирование контингента рабочей силы. Потребность в монтерах пути определяют на основании дифференцированных норм расхода рабочей силы на 1 км развернутой длины главных и станционных путей и на один стрелочный перевод в зависимости от грузонапряженности, типа рельсов и рода балласта. Для главного пути с деревянными шпалами нормы изменяются от 0,45 до 1,5 чел/км. На станциях нормы зависят от категории станционных путей и равны 0,45—0,8 чел/км развернутой длины.

На содержание одного централизованного стрелочного перевода норма расхода рабочей силы составляет 0,23—0,34 чел., нецентрализованного — 0,065 чел. на главных и станционных путях первой и второй категорий и 0,045 чел. на прочих путях.

Для руководства оперативной и производственной деятельностью дистанций пути установлены типовые штаты инженерно-технических работников и служащих.

VI.8. Объемы основных работ

Наиболее трудоемкая работа текущего содержания — выправка пути по уровню и в продольном профиле. Количество выправляемых концов шпал в течение года на 1 км пути может быть определено зависимостью

$$\Sigma\Sigma K = \Sigma K_{\text{ст}} + \Sigma K_{\text{пром}} = 2\left[N_{\text{год}}^{\text{ст}} n_{\text{ст}} n_{\text{ш}} + N_{\text{год}}^{\text{пром}} (Ш_{\text{км}} - n_{\text{ш}} n_{\text{ст}})\gamma\right], \qquad (\text{VI.1})$$

где $N_{\text{год}}^{\text{ст}}$, $N_{\text{год}}^{\text{пром}}$ — количество выправок в зоне стыков и во внестыковой зоне на 1 км пути в год;

$n_{\text{ш}}$ — количество шпал в зоне стыка (при деревянных $n_{\text{ш}} = 6$, при железобетонных $n_{\text{ш}} = 8$);

$n_{\text{ст}}$ — количество стыков на 1 км;

$Ш_{\text{км}}$ — количество шпал на 1 км;

γ — доля промежуточных шпал, подлежащих выправке, принимаемая равной 0,25.

Количество выправок в течение года

$$N_{\text{год}} = C\,\frac{\sqrt[4]{Г_{\text{г}}^{3}}}{P}\prod_{i=1}^{8}\beta_i + n, \qquad (\text{VI.2})$$

где C — коэффициент пропорциональности, принимаемый для пути с деревянными шпалами равным 8 и с железобетонными шпалами 10;

$\Gamma_г$ — грузонапряженность участка, млн. т·км брутто на 1 км;

P — масса рельса, кг/м;

$\prod_{i=1}^{8} \beta_i$ — произведение коэффициентов β_i, зависящих от расположения выправляемого участка относительно рельсового болтового стыка, рода балласта и степени его засоренности, осевой нагрузки, скорости обращения подвижного состава, конструкции скреплений, состояния земляного полотна, плана трассы;

n — количество выправок, не зависящих от грузонапряженности и определяемых конструкцией пути и климатическими условиями.

Количество рихтовок в год, необходимых для содержания пути в исправном состоянии,

$$N_{рихт} = \frac{\Delta f \Gamma_г \sqrt{\frac{v_{ср}}{55} + 2{,}5\sigma_f}}{[f]} \prod_{i=1}^{4} \gamma_i \frac{P}{140}, \qquad (VI.3)$$

где Δf — интенсивность накопления остаточных деформаций рельсовых нитей в горизонтальной плоскости, выраженная в росте стрелы прогиба в мм после прохода 1 млн. т грузов брутто;

$\Gamma_г$ — грузонапряженность участка, млн. т·км/км брутто в год;

σ_f — среднеквадратичное отклонение интенсивности накопления остаточного прогиба от его математического ожидания, мм;

$[f]$ — наибольшая допускаемая стрела прогиба рельса в горизонтальной плоскости в различных условиях эксплуатации, мм;

$\prod_{i=1}^{4} \gamma_i$ — произведение коэффициентов, учитывающих материал балласта, ширину плеча балластной призмы, план трассы, конструкцию скреплений;

$v_{ср}$ — средняя квадратичная скорость обращения поездов, км/ч;

P — средневзвешенная осевая нагрузка, кН.

Довольно значительны на пути с деревянными шпалами объемы перешивок, которые определяются так:

$$\Sigma\Sigma K_{пер} = \Sigma K_{пер}^{ст} + \Sigma K_{пер}^{пром} = n_{ст} Ш_{ст} N_{пер}^{ст} + (Ш_{км} - n_{ст} Ш_{ст}) \varphi_{пер} N_{пер}^{пром}, \qquad (VI.4)$$

где $Ш_{ст}$ — количество перешиваемых (регулируемых) концов шпал в зоне болтового стыка (при деревянных шпалах $Ш_{ст} = 6$, при железобетонных $Ш_{ст} = 4$);

$n_{ст}$ — количество болтовых стыков на 1 км;

$N^{ст}_{пер}$, $N^{пром}_{пер}$ — количество регулировок ширины колеи в зоне болтовых стыков и во внестыковой зоне;

$Ш_{км}$ — количество шпал на 1 км;

$\varphi_{пер}$ — доля концов шпал, подвергающихся перешивке во внестыковой зоне (при железобетонных шпалах $\varphi_{пер} = 0{,}2$, при деревянных $\varphi_{пер} = 0{,}25$).

Количество массовых перешивок в течение года

$$N_{пер} = \frac{2\left(\Delta S^{мест}_{ср} \Gamma_г \sqrt{\frac{v_{ср}}{55}} + 2{,}5\sigma_S\right)}{l_S[i]} \prod_{i=1}^{3} \gamma_i \frac{P}{140}, \qquad (VI.5)$$

где $\Delta S^{мест}_{ср}$ — интенсивность средневзвешенного накопления местной деформации по ширине колеи, мм/млн.т брутто;

$\Gamma_г$ — грузонапряженность участка, млн. т·км/км брутто в год;

$v_{ср}$ — средняя квадратичная скорость обращения поездов, км/ч;

σ_S — среднее квадратичное отклонение изменения ширины колеи от ее среднего значения, мм;

l_S — длина волны изменения ширины рельсовой колеи, м (для середины плети $l_S = 6$ м; для зоны стыков $l_S = 3$ м);

$[i]$ — допускаемый градиент изменения ширины колеи, ‰;

$\prod_{i=1}^{3} \gamma_i$ — произведение коэффициентов, учитывающих ширину плеча балластной призмы, радиус кривизны пути, конструкцию скреплений;

P — средневзвешенная осевая нагрузка, кН.

Объемы работ по подтягиванию гаек болтовых соединений бесстыкового пути со скреплениями КБ-65

$$\Sigma\Sigma K_{болт} = \Sigma K^{ур}_{болт} + \Sigma K^{пром}_{болт} = 8 \cdot 23 \left\{ N^{ур}_{болт}\left(n_{ур} + \frac{50 \cdot 4}{12{,}5}\right) + \right.$$
$$\left. + N^{пром}_{болт}\left[Ш_{км} - 23\left(n_{ур} + \frac{50 \cdot 4}{12{,}5}\right)\right]\right\}, \qquad (VI.6)$$

где $N^{ур}_{болт}$, $N^{пром}_{болт}$ — количество подтягиваний гаек клеммных болтов в течение года на уравнительных звеньях и за их пределами;

$n_{ур}$ — количество уравнительных звеньев на 1 км;

$Ш_{км}$ — количество шпал на 1 км.

Количество подтягиваний гаек закладных и клеммных болтов

$$N_{\text{болт}} = \frac{\Delta M_{\text{кр}} \Gamma_{\text{г}} \psi}{M_{\text{кр}}^{\max} - M_{\text{кр}}^{\min}} \sqrt{\frac{v_{\text{ср}}}{55}}, \qquad \text{(VI.7)}$$

где $\Delta M_{\text{кр}}$ — интенсивность ослабления затяжки гаек закладных и клеммных болтов, Н·м/млн.т брутто;

$\Gamma_{\text{г}}$ — грузонапряженность, млн. т·км брутто на 1 км;

$M_{\text{кр}}^{\max}$, $M_{\text{кр}}^{\min}$ — экстремально допустимые значения моментов кручения гаек закладных и клеммных болтов;

Ψ — коэффициенты, учитывающие план трассы;

$v_{\text{ср}}$ — средняя квадратичная скорость подвижного состава, км/ч.

В расчетной формуле (VI.7) в уравнительный пролет включены температурно-перемещаемые концы рельсовых плетей длиной 50 м каждый.

VI.9. Организация работ

Работы текущего содержания пути, как правило, выполняют без нарушения графика движения поездов в интервалы между поездами 20 мин и более. На линиях с большой интенсивностью движения поездов для работ текущего содержания в графике движения выделяют «окна» продолжительностью 1—2 ч. На двухпутных линиях «окна» выделяют по каждому пути. Используются также «окна», предоставляемые для ремонтов пути и контактной сети. В «окна» выполняют работы, которые невозможно по условиям технологии и безопасности движения поездов выполнять в интервалы времени между поездами, а также работы с применением путевых машин тяжелого типа.

Одно из действенных средств улучшения текущего содержания — внедрение передовых методов и опыта путейцев-новаторов.

В современных условиях для выполнения основных работ текущего содержания все шире внедряются машины. При выполнении комплексных планово-предупредительных работ с использованием таких машин, как РОМ-3, 16-шпиндельный гайковерт ПМГ и ВПР-1200, образуется технологическая цепочка, которая эффективна при предоставлении технологических «окон» продолжительностью не менее 1,5—2,0 ч.

VI.10. Содержание бесстыкового пути

Содержание бесстыкового пути сводится к предупреждению возникновения в рельсовых плетях дополнительных (сверх расчетных) продольных сил и обеспечению достаточной его устойчивости при производстве работ во избежание выброса пути при высоких температурах и разрыва плетей при низких температурах.

Работы текущего содержания, связанные с ослаблением сопротивления бесстыкового пути боковым и вертикальным перемещениям или с уменьшением жесткости путевой решетки, запрещается производить, если температура рельсов превышает на прямых участках температуру закрепления плетей на 15 °С, а в кривых радиусом 800 м и менее — на 10 °С.

В процессе эксплуатации бесстыкового пути температура закрепления рельсовых плетей изменяется, и возникает необходимость проверять фактическую температуру их закрепления. Эту температуру можно найти по действующему погонному сопротивлению подрельсового основания продольному перемещению рельсовой плети и по перемещению концов рельсовых плетей в течение суток в связи с изменением температуры рельсов.

При изломах рельсовой плети дефектное место вырезают и временно укладывают короткий рельс (длиной 8—11 м), который соединяют с концами плети шестидырными накладками. Окончательно восстанавливают плеть вариванием в нее электроконтактным способом рельса, при этом концы плетей с болтовыми отверстиями отпиливают. Сварка производится в установленном температурном интервале закрепления плетей.

При поперечной трещине, вышедшей на поверхность рельса, или сквозном поперечном изломе с зазором менее 25 мм для кратковременного пропуска поездов допускается соединить концы плети в месте повреждения накладками, сжатыми струбцинами.

VI.11. Содержание стрелочных переводов, пути на искусственных сооружениях и на участках с автоблокировкой и электрической тягой

Исправность переводов обеспечивается: содержанием их в чистоте; тщательным закреплением от угона; отводом воды; контролем за содержанием по ширине колеи, уровню и в плане, по износу металлических частей и ширине желобов; систематическим выполнением плановых работ по предупреждению появления неисправностей; немедленным устранением появившихся опасных неисправностей, при которых запрещается эксплуатировать стрелочные переводы. Нормы содержания стрелочных переводов изложены в Инструкции по текущему содержанию пути.

Рельсовый путь на мостах может быть на щебеночном балласте с деревянными и железобетонными шпалами или без балласта — на деревянных поперечинах или на железобетонных плитах (с укладкой рельсов непосредственно на плиту). На металлических мостах с температурными пролетами *более 100 м укладывают уравнительные приборы.* На мостах и путепроводах длиной более 25 м или на тех, длина мостового полотна которых на деревянных поперечинах более 5 м, укладывают контррельсы (контруголки). Расстояние от внутренней грани головки путевого рельса до контррельса при ходовых рельсах Р50 составляет 220 мм, а при Р65 и Р75—245 мм.

На однопролетных металлических мостах с мостовым полотном на деревянных поперечинах возможна укладка бесстыкового пути при длине пролетных строений до 55 м, а на многопролетных при суммарной длине пролетных строений — до 66 м.

Особенность путевых работ на линиях с автоблокировкой, электротягой и электрической централизацией определяется тем, что рельсовые нити используются как токопроводящие цепи, а также тем, что имеются опоры контактной сети, контактный провод, светофоры и напольные устройства. Разъединение рельсовых цепей нарушает работу автоблокировки, а на участках электротяги препятствует движению обратного тока, что опасно для людей. Поэтому при производстве работ с разрывом колеи устанавливают временные перемычки из гибкого троса: при постоянном тяговом токе сечением до 70 мм², а при переменном — 50 мм².

Чтобы не замыкать рельсовые цепи, путевой инструмент, тележки, съемные дрезины, вагончики должны иметь электрическую изоляцию. Не реже одного раза в год перебирают изолирующие стыки. Настил на переездах внутри колеи устраивают на 30—40 мм выше головок рельсов. На линиях с автоблокировкой подъемка или рихтовка пути на величину более 60 мм, а на электрифицированных участках при любых их значениях согласовывается с начальником участка энергоснабжения и начальником дистанции сигнализации и связи.

Для нормальной работы рельсовых цепей сопротивление подрельсового основания должно быть не менее 1,0 Ом.

Глава 4. РЕМОНТ ПУТИ

VI.12. Классификация, способы и организация работ

Организация путевых работ должна обеспечивать безопасность движения поездов, высокое качество выполнения при наименьших затратах труда, материалов и энергии, эффективное использование средств механизации и автоматизации производственных процессов, соблюдение правил техники безопасности и охраны труда.

Все работы при ремонтах пути разделяются на предварительные, подготовительные, основные и отделочные.

К предварительным относятся лечение больных мест земляного полотна, ликвидация пучин. Их выполняют за год до основных работ, чтобы земляное полотно за этот период стабилизировалось.

К подготовительным работам относятся обмеры пути для уточнения объемов работ, относ путевых знаков, обрезка длинных концов шпал и смена гнилых, добивка костылей, регулировка зазоров, смазывание болтов, сборка рельсовых звеньев на базе и др.

Основные работы определяют сущность данного вида ремонта. Так, при капитальном ремонте основные работы— это смена рельсо-шпальной решетки, очистка и усиление балластного слоя с подъемкой пути на балласт и подбивкой шпал.

Отделочные работы обеспечивают состояние пути, полностью отвечающее требованиям ПТЭ и технических условий, установленных для данного вида ремонта.

При составлении технологических процессов существенное значение имеют выбор методов и способов производства работ и расстановка рабочей силы.

При комплексном методе все основные работы (сплошная смена путевой решетки, очистка балласта, балластировка, подбивка шпал) выполняются одновременно в «окно».

При раздельном методе выполняются последовательно операции, входящие в комплекс. Например, сначала сплошь заменяют рельсы, а потом шпалы и т. д.

Комплексный метод полнее охватывает работы средствами механизации, обеспечивает четкую специализацию труда, исключает повторяемость однородных операций, создает лучшие условия для руководства, снижает поездные потери.

По расстановке рабочей силы различают способы организации: звеньевой, поточный, смешанный (поточно-звеньевой).

При звеньевом способе каждый рабочий или группа выполняет на своем участке весь комплекс работ одновременно по всему фронту. Этот способ применяют на простейших (1—3 операции) немеханизированных работах.

Поточным способом называется такой, при котором бригады делятся на группы по числу последовательно выполняемых операций. Все операции, входящие в состав отдельной работы, а следовательно, и все работы, объединяемые в потоки, выполняются в одном темпе, равном темпу ведущей работы, за которую принимается механизированная и трудоемкая. Только при этом способе возможна комплексная механизация и автоматизация (рис. VI. 11). Однако поточный способ имеет и недостатки. Группы монтеров пути вступают в работу и заканчивают ее не одновременно, а последовательно одна за другой, из-за чего много времени затрачивается на развертывание и свертывание работ.

Если работы не полностью механизированы, то может оказаться целесообразным применение смешанного способа.

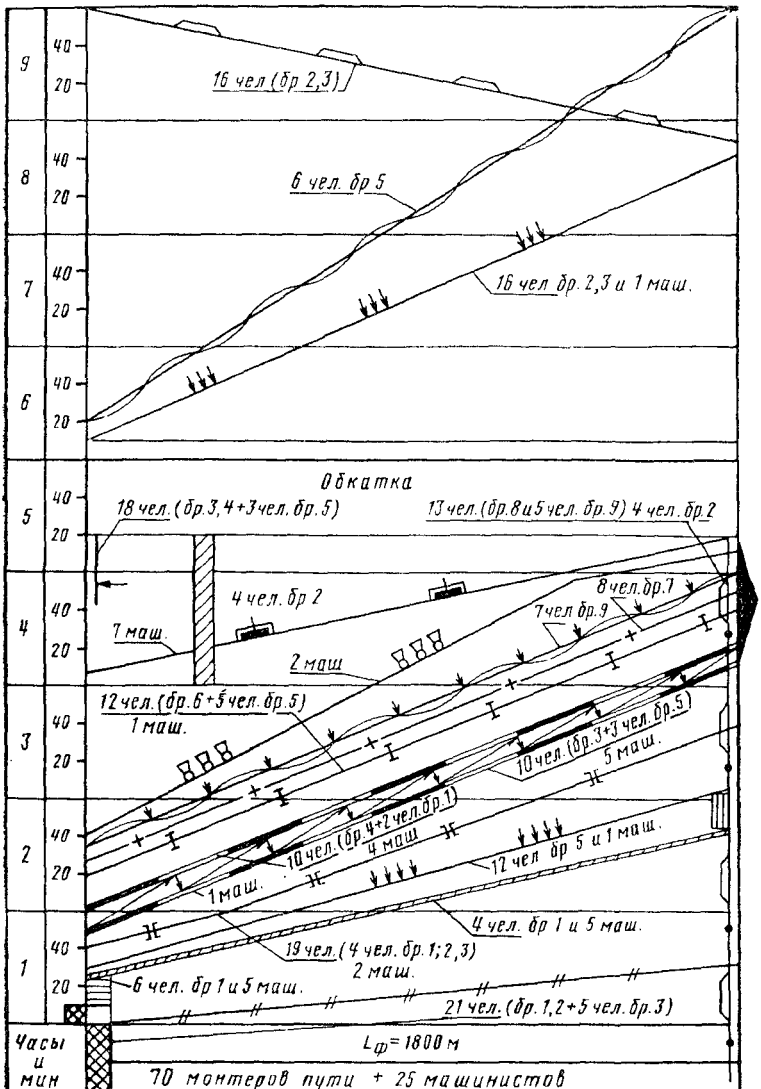


Рис. VI.11. График производства основных работ капитального шнной

Подготовка места для зарядки и разрядки ЩОМ-Д и ВПО-3000

Разборка переездного настила, снятие двух болтов в каждом стыке

Оформление закрытия перегона и пробег машин к месту работ

Зарядка ЩОМ-Д

Очистка щебня ЩОМ-Д

Выправка пути после работы ЩОМ-Д для пропуска путеразборочного поезда

Разрядка ЩОМ-Д

Разболчивание стыков электрогаечными ключами, снятие болтов и установка штырей ОПМС в стыках

Разборка пути путеукладчиком, снятие накладок и укладка их на звено, уборка оторвавшихся шпал

Планировка щебеночного слоя

Укладка пути путеукладчиком, установка нормальных стыковых зазоров приборами ПМС-62, погрузка стыкователей и оторвавшихся шпал

Постановка накладок, сболчивание стыков, перегонка стыковых шпал

Рихтовка пути с постановкой их на ось, выправка пути с подбивкой шпал электрошпалоподбойками в местах препятствий для работы ВПО-3000

Оборудование изолирующего стыка

Выгрузка щебня из хоппер-дозаторов

Выправка пути со сплошной подбивкой шпал, рихтовкой и оправкой балластной призмы машиной ВПО-3000

Заготовка и укладка рельсовых рубок на отводе

Частичная выправка пути после обкатки поездами с подбивкой шпал электрошпалоподбойками

Рихтовка пути, подтягивание клеммных болтов

Пополнение щебня в шпальных ящиках, грубая оправка призмы в местах препятствий для работы машин

Установка инвентарных противоугонов

ремонта пути с укладкой деревянных шпал и очисткой щебня ма-
ЩОМ-Д

VI.13. Технологические процессы производства путевых работ

Все путевые работы выполняются по технологическим процессам. В технологическом процессе приводятся: условия работ (в «окно» или на открытом для движения поездов перегоне, число проходящих поездов, порядок доставки материалов и машин к месту работ, ограждение); характеристика пути по показателям, влияющим на организацию и объем работ; расчеты трудоемкости, количество монтеров пути на выполнение отдельных операций, продолжительность операций и работы машин; описание и графики организации работ; производительность и численный состав производственной единицы; перечень машин, механизмов, инструментов, приборов и инвентаря. Составление технологического процесса начинается с расчета затрат труда по нормам времени, необходимых на выполнение данной операции при достигнутом уровне техники и передовой организации производства, без учета времени на переходы, отдых и про-

Таблица VI.2

Вид ограждения места работ	Норма времени на пропуск поезда, мин			
	грузового	пассажирского	моторвагонного	локомотива
Сигналы остановки с пропуском поездов со снижением скорости	5	3	2,5	1,5
Сигналы остановки с пропуском поездов без снижения скорости	2,5	1,5	1,3	1,0
Сигнальные знаки «Свисток»	1,8	1,3	1,0	0,7
Сигналы уменьшения скорости	3	2	1,6	1,2
Пропуск поездов по соседнему пути при всех видах ограждения места работ	1,5	1,0	0,7	0,5

Примечание. Время на пропуск скоростных поездов увеличивается на 10 мин, а по соседнему пути — на 5 мин.

Таблица VI.3

Наименование работ	Техническая норма времени, чел-мин	Объем работ	Затраты труда		Число монтеров пути	Продолжительность работы T, мин
			без учета непроизводительных потерь	с учетом непроизводительных потерь		
Добивка костылей, шт.	a_1	V_1	$a_1 V_1$	$\alpha a_1 V_1$	$K_{мп}$	$T=\frac{\alpha \Sigma a_i V_i}{K_{мп}}$
Отрывка шпальных ящиков, шт.	a_2	V_2	$a_2 V_2$	$\alpha a_2 V_2$		
Перегонка шпал, шт.	a_3	V_3	$a_3 V_3$	$\alpha a_3 V_3$		
Вывеска пути, количество	a_4	V_4	$a_4 V_4$	$\alpha a_4 V_4$	$K_{мп}$	
Подбивка шпал, шт.	a_5	V_5	$a_5 V_5$	$\alpha a_5 V_5$		
Засыпка шпальных ящиков, шт.	a_6	V_6	$a_6 V_6$	$\alpha a_6 V_6$		

пуск поездов. Для учета этих факторов определяют поправочный коэффициент α к техническим нормам по формуле

$$\alpha=\frac{T}{T-\Sigma t}, \qquad (VI.8)$$

где T — продолжительность рабочего дня, мин;

Σt — затраты времени на переходы в рабочей зоне (15 мин за смену), отдых (30 мин), пропуск поездов (по табл. VI.2) и на технологические перерывы (15 мин).

Затраты труда рассчитывают по форме, приведенной в табл. VI.3 (пример для сплошной подбивки шпал). После составления такой расчетной таблицы вычерчивают график технологического процесса.

VI.14. Организация ремонта пути

Капитальный и средний ремонты пути выполняют путевые машинные станции (ПМС), которые оснащены машинами тяжелого типа, средствами малой механизации и обычно имеют звеносборочные базы. На этих базах выполняется весь

комплекс механизированных работ, связанных со сборкой новых рельсовых звеньев, стрелочных переводов, с разборкой снятых звеньев, ремонтом старых шпал. На базах создается зимний запас материалов верхнего строения (балласта, например, до 50% годовой потребности), расходуемых при основных работах в «окно». Звеносборочные базы оснащаются звеносборочными комбайнами. Для погрузочно-разгрузочных работ имеются козловые и стреловые краны. На базах выполняется до 40% работ по общей трудоемкости капитального ремонта пути. Схемы звеносборочных баз ПМС (рис. VI. 12) могут быть разнообразными и зависят от размеров площадки, рельефа местности, оснащения технологическим оборудованием и др. Производство работ на базе позволяет обеспечить высокий уровень их механизации и высокое качество, снизить себестоимость.

Капитальный ремонт пути планируется участками на длине тягового плеча и выполняется ПМС по индивидуальным проектам. Ведущее место занимают основные работы, выполняемые в «окно» (см. рис. VI.11). На перегоне работает цепочка машин, образующих поточную линию; ЩОМ-Д очищает загрязненный щебень; разборочный кран Платова снимает звенья старой рельсо-шпальной решетки и грузит их на платформы; укладочный кран собранные на базе звенья укладывает в путь; балласт выгружается из хопперов-дозаторов; машина ВПО-3000 выправляет, подбивает шпалы и оправляет балластную призму.

Средний ремонт планируют участками длиной не менее перегона, а на станциях — с охватом всех путей парка. Этот ремонт выполняется ПМС или дистанционными колоннами по объемным ведомостям и калькуляциям, а на участках, где путь переводится на щебеночное основание,—по индивидуальным проектам. Организация работ среднего ремонта со сплошной сменой рельсов старогодными с применением путеукладчиков такая же, как и при капитальном.

Подъемочный ремонт главных и станционных путей со стрелочными переводами планируется выборочно на отдельных участках или километрах и выполняется дистанционными колоннами или укрупненными бригадами по объемным ведомостям, калькуляциям и принятым технологическим процессам.

Перегоны, на которых ведутся капитальные работы с использованием тяжелых путевых машин, закрываются для движения поездов по графику на время «окна».

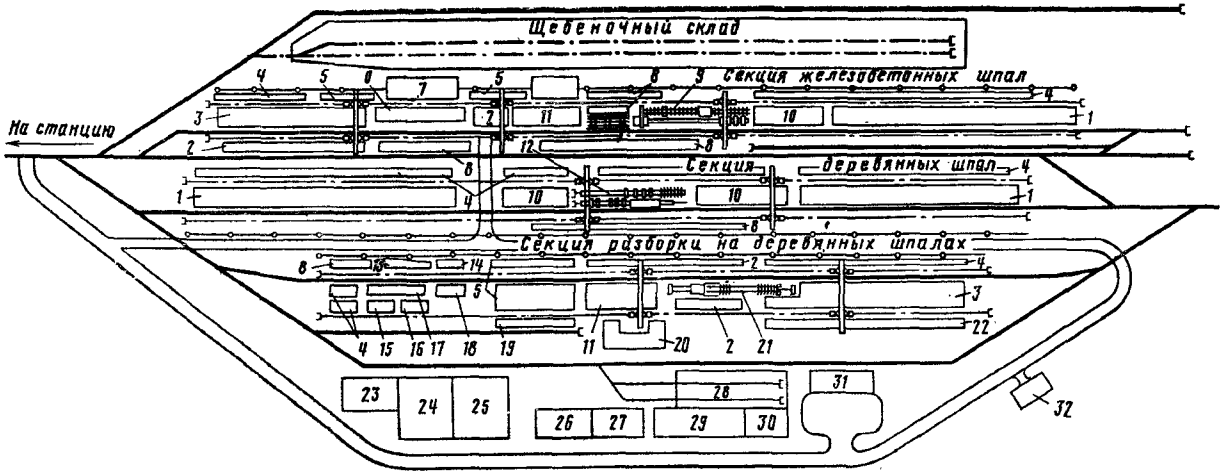


Рис. VI.12. Механизированная производственная база ПМС:

1 — штабеля новых шпал; *2* — места для складирования старых скреплений; *3* — штабеля старых звеньев; *4* — штабеля новых шпал; *5* — штабеля отремонтированных шпал; *6* — стенд для ремонта звеньев с железобетонными шпалами; *7* — ремонт железобетонных шпал; *8* — места для складирования новых скреплений — болтов, костылей, подкладок, накладок; *9* — звеносборочная линия ХабИИЖТа, ЗЛХ-300; *10* — штабеля новых рельсов; *11* — штабеля старогодных рельсов *12* — звеносборочная линия; *13* — переводные брусья; *14* — крестовины; *15* — рамные рельсы; *16* — контррельсы; *17* — стенд для сборки стрелочных переводов; *18* — готовые блоки стрелочных переводов; *19* — негодные шпалы; *20* — шпалоремонтные мастерские; *21* — звенобразборочная линия ХабИИЖТа ЗРС; *22* — старые шпалы, идущие в ремонт; *23* — гардероб и душевая; *24* — столовая; *25* — контора и красный уголок; *26* — инструментальный склад; *27* — центральный склад; *28* — депо путевых машин; *29* — механические мастерские; *30* — котельная; *31* — гараж; *32* — склад ГСМ

VI.15. Выбор оптимальной продолжительности «окна» в графике движения поездов

Проектирование технологических процессов капитальных путевых работ начинается с их основной части. Во всем комплексе работ основные являются определяющими.

Как известно, объем возможного выполнения основных работ зависит от продолжительности предоставляемого «окна». Оптимальной продолжительностью «окна» будет та, при которой непроизводительные издержки окажутся минимальными. К числу непроизводительных издержек при выполнении основных работ в «окно» относятся простой рабочей силы, путевых машин и механизмов, поездов вследствие закрытия перегона. Каждый из перечисленных видов простоя может быть математически описан уравнениями.

Исследование уравнения суммарных непроизводительных издержек на экстремум в частных производных по продолжительности «окна» и трудоемкости работ позволяет получить формулу для определения продолжительности оптимального «окна» в зависимости от упомянутых издержек:

$$T_{\text{ок}} = \Sigma t + \sqrt{(\Sigma t)^2 + \frac{b_0}{a_0}\Sigma t\,\frac{\Sigma C_{\text{м}i}}{a_0 C_{\text{п}}} + \frac{\Sigma C_{\text{р}i}\,\Sigma t\,\Pi_{\text{в}}}{a_0 C_{\text{п}}(1-0{,}2\Pi_{\text{в}})}}, \qquad (\text{VI.9})$$

где $\Sigma t = a_{\text{н}} + a_{\text{к}} + \sum_{i=1}^{n-1} a_i + \sum_{j=1}^{\kappa} \Delta t_j$;

$\sum_{i=1}^{n-1} a_i$ — суммарное время развертывания работ, принимаемое в первом приближении для капитального ремонта равным 1,5—2,0 ч;

$\sum_{i=1}^{\kappa} \Delta t_j$ — суммарное время технологических перерывов, составляющее от 0,3 до 0,4 ч;

$a_{\text{н}}$, $a_{\text{к}}$ — время пробега машин от ближайшей станции до места работы и возвращение их обратно;

a_0, b_0 — коэффициенты, определяемые размерами движения и способами сношений по организации движения;

$C_{\text{п}}$ — себестоимость простоя поездов, руб./ч;

$\sum C_{\text{м}i}$ — суммарная себестоимость машино-смен комплекса машин, руб/комплект;

$\sum C_{\text{р}i}$ — заработная плата рабочих, занятых на работах в «окно», руб.;

$\Pi_{\text{в}}$ — производительность ведущей машины, км/ч.

Таблица VI 4

Коэффициент заполнения пропускной способности в графике движения	Число «окон», которое может быть предоставлено в неделю, при их продолжительности, ч					
	3	4	5	6	7	8
≤0,6	4	4	3	3	3	3
0,7	4	3	3	3	2	1
0,8	3	3	2	2	1	1*
0,9	3	2	1; 2*	1; 2*	1**	1**
0,95	2	2	1*, 2**	1**, 2**	1**	1**

Примечание. Знаком * отмечены дни предоставления «окон», в которые требуется уменьшение размеров графикового грузового движения поездов; знаком ** — дни, когда требуется уменьшение размеров движения не только в дни «окон», но и в дни действия предупреждения об ограничении скорости движения.

Вычисленная по формуле (VI.9) продолжительность «окна» может иметь погрешности в пределах от 0,1 до 0,5 ч. Значительно чаще продолжительность «окна» и их количество, предоставляемое в неделю, устанавливается Инструкцией о порядке предоставления и использования «окон» ЦД/3532, 1978 г. Согласно этой Инструкции «окна» для капитального ремонта пути должны предоставляться, как правило, на двухпутных линиях продолжительностью 4,0—6,0 ч и на однопутных — 4,0—4,5 ч. Для выполнения среднего ремонта пути «окна» должны предоставляться продолжительностью 3—4 ч, а для подъемочного ремонта 2—2,5 ч.

Продолжительность «окон» и порядок их предоставления для лечения земляного полотна и ремонта искусственных сооружений в каждом конкретном случае устанавливаются Главным управлением пути и утверждаются первым заместителем министра.

Ориентировочное число «окон», которое может быть предоставлено в неделю без уменьшения размеров грузового движения (при скорости следования поездов по отремонтированному пути не ниже 60 км/ч) в зависимости от коэффициента заполнения пропускной способности в графике движения, приведено в табл. VI. 4.

Необходимая продолжительность выполнения капитального ремонта пути, мес.,

$$T_{пр}=\frac{L_{год}}{4n_{н}^{ок}L_{рв}}, \qquad (VI.10)$$

где $L_{год}$ — планируемый годовой объем капитального ремонта пути между сортировочными станциями, км;

$n_{н}^{ок}$ — число «окон», предоставляемых в неделю;

$L_{рв}$ — расчетная выработка в «окно» одной ПМС, км.

Расчетная выработка в «окно» принимается согласно Инструкции ЦД/3532. Если нет возможности закрыть два и более перегонов, но необходимо форсировать работы, ремонт на одном перегоне ведут силами двух ПМС, при этом протяженность перегона должна быть не менее 16 км.

На участках, где коэффициент заполнения графика движения поездов по наличной пропускной способности составляет 0,6 и выше, капитальный, средний и подъемочный ремонты надо вести так, чтобы с открытием движения сразу после «окна» состояние пути обеспечивало пропуск одного-двух поездов со скоростью 25 км/ч, а последующих — не менее 60 км/ч.

VI.16. Техника безопасности при производстве путевых работ

Железнодорожный путь — зона повышенной опасности. Пребывание на нем допускается только для лиц, выполняющих служебные обязанности и знающих Правила охраны труда и техники безопасности при производстве работ в путевом хозяйстве, а также Инструкцию по обеспечению безопасности движения поездов при производстве путевых работ.

Для обеспечения безопасности подчиненных руководитель проводит инструктаж перед началом работ, обеспечивает организованный проход к месту работ и обратно, организует тщательное наблюдение за безопасностью труда. Руководитель работ или специально выделенное лицо должны правильно расставить подчиненных по фронту работ и указать место, куда они должны уходить на время прохода поезда; не допускать пребывания посторонних людей в зоне работ; отводить рабочих в сторону от пути при приближении

поезда не ближе чем за 400 м от места работ при обращении поездов со скоростью до 120 км/ч и за 800 м при большей скорости движения.

Сходить с пути при приближении поезда надо не менее чем на 2 м от крайнего рельса; при работе путеукладчика, электробалластера, уборочной машины, рельсошлифовального поезда и других машин тяжелого типа — на 5 м; при работе путевого струга — на 10 м; при работе машин, оборудованных щебнеочистительными устройствами, двухпутных и роторных снегоочистителей — на 5 м в сторону, противоположную выбросу снега, льда и засорителей; при работе однопутных снегоочистителей — на 25 м от крайнего рельса.

При работах на централизованных стрелках между отведенным остряком и рамным рельсом или между подвижным сердечником и усовиком против тяг электроприводов ставят деревянный вкладыш.

Ночью или при плохой видимости стрелки очищают группой не менее двух человек, один из которых только наблюдает за движением поездов.

Если приближается гроза, пыльная буря или ураган, рабочих организованно отводят в укрытия.

Места производства путевых работ с нарушением целостности и устойчивости пути и сооружений, а также препятствия на пути и около него в пределах габарита приближения строений ограждаются переносными сигналами с выдачей в необходимых случаях предупреждений на поезда. Не допускается приступать к работам, связанным с нарушением целостности и устойчивости пути, не оградив место работ соответствующими сигналами.

Глава 5. ЗАЩИТА ПУТИ ОТ СНЕГА, ПЕСКА И РАЗМЫВОВ

VI.17. Снегозаносимость пути и его защита

Снежные отложения образуются: при снегопаде в безветренную погоду; при верховой метели, т. е. снегопаде во время ветра с переносом выпавшего снега; при низовой метели, когда ранее выпавший снег ветром поднимается на

высоту 2 м и более и переносится им в виде снежного потока; при поземке, когда ранее выпавший снег гонится по поверхности на высоте до 10—20 см; при общей метели. Наблюдения показывают, что перенос снега начинается при скорости ветра более 3 м/с.

Различные профили земляного полотна по-разному подвержены снежным заносам. Над насыпью скорость снегового потока вследствие его сжатия увеличивается (рис. VI. 13, *а*), и путь не заносится. Снежные отложения образуются в зоне затишья у подошвы откосов насыпи. На двухпутных и многопутных насыпях высотой 12 м и более возможны отложения снега с подветренной стороны из-за отклонения снеговетрового потока вверх и образования зоны затишья за бровкой.

В выемках образуется основной вихрь и два мелких в кюветах. Мелкие вихри способствуют быстрому отложению снега в кюветах, а основной — отложению на откосах (рис. VI.13, *б*). В выемках глубиной более 8,5 м основной вихрь имеет большую скорость, при которой циркуляция потока не допускает отложения снега на пути. Интенсивной снегозаносимости подвержены участки путей на перегонах, расположенные в разных уровнях (более 15 см).

Станционные территории также заносимы, так как подвижной состав, здания и другие устройства создают условия для завихрения, снижения скоростей снеговетрового потока и отложения снега.

На дорогах СССР установлены три категории снегозаносимости, определяющие очередность ограждения заносимых мест: к первой категории (наиболее быстро заносимые) относятся выемки глубиной 0,4—8,5 м, участки на перегонах с путями в разных уровнях, территории станций и нулевые места, расположенные на косогорах; ко второй (начинают заноситься с середины зимы) — мелкие выемки глубиной до 0,4 м и нулевые места; к третьей категории — на-

Рис. VI.13. Схемы движения снеговетровых потоков:
а — над насыпью; *б* — над выемкой

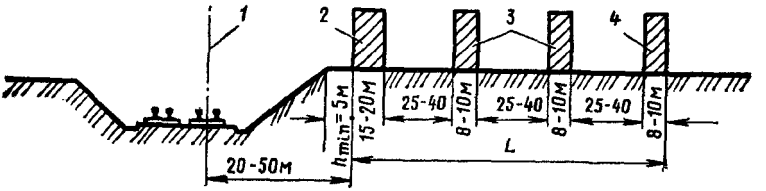


Рис. VI.14. Снегозащитная полоса с разрывами:
1 — ось крайнего пути; *2* — путевая полоса; *3* — промежуточные полосы; *4* — полевая полоса

сыпи высотой до 0,65 км, а на косогорах и сильно заносимых участках — высотой до 1 м.

По степени снегозаносимости участки пути делятся на слабозаносимые — при переносе к пути до 100 м³/м снега за зиму; среднезаносимые — при переносе 100—250 м³/м; сильнозаносимые — 250—400 м³/м; особо сильнозаносимые — при переносе более 400 м³/м снега.

Для ограждения путей от снежных заносов используются естественные леса, лесные насаждения (живая защита), переносные решетчатые щиты, решетчатые заборы и надоткосные щиты.

Принцип действия всех видов снеговых защит (кроме надоткосных щитов) основан на замедлении снеговетрового потока при встрече с преградой, выпадании снега из потока с образованием снежных отложений.

Естественный лес — наилучший вид защиты пути. Он эффективен и сравнительно дешев. Естественный лес и лесные насаждения защищают поезда и от воздействия бокового и лобового ветров, уменьшая сопротивление движению.

Ширина снегозащитной полосы должна быть такая, чтобы она могла собрать весь приносимый к пути снег ровным слоем, исключающим снеголом. В этом случае потребная ширина полосы определяется по формуле

$$L = \omega / h_{раб}, \qquad (VI.11)$$

где ω — площадь поперечного сечения снежных отложений, м²;
$h_{раб}$ — высота рабочей части насаждений, зависящая от почвенных условий; принимается равной на черноземах 2,5—3 м, на каштановых почвах 2—2,5 м, на средне-солонцеватых 2—1,5 м.

Наиболее эффективны полосы с разрывами по ширине (рис. VI.14), при которых экономится посадочный материал, создаются «магазины» влаги в разрывах. Для предотв-

ращения выноса снега на путь ближайшая к нему полоса должна быть наиболее густой и иметь ширину 10—15 м, а для равномерного отложения снега полевая и промежуточные полосы должны быть редкими шириной не более 10 м.

Снегозащитные насаждения располагают параллельно пути с одной или с двух сторон в зависимости от направления и режима поземко-метелевых ветров. Ассортимент древесно-кустарниковых пород определяется климатом и почвами района.

Щитовые снегозащитные линии состоят из кольев, забиваемых в грунт, и прикрепленных к ним щитов. Снеговые щиты изготовляют трех типов:

I — 2×1,5 м с площадью просветов 47% — применяются ограниченно на дорогах, где метели бывают с плотным и мокрым снегом и сопровождаются сильными ветрами;

II — 2×2 м с площадью просветов 43 % — применяются на всех дорогах СССР (рис. VI.15);

III — 2×1,5 м с площадью просветов 37 % — применяются на дорогах Сибири, для которых характерны сильные ветры, сухой и подвижный снег.

Сначала щиты устанавливают на расстоянии от уреза откоса выемки (и на нулевых местах от бровки полотна) не менее 30 м при трех перестановках за зиму и не менее 50 м при большем числе перестановок.

Переносные щиты обладают малой снегосборностью (до 30—35 м³/м). При образовании возле них снежного вала более 2/3 высоты щита основание последнего начинает заноситься, резко возрастает вынос снега на путь (до 75—50% переноса с поля), и щиты надо переставлять. Первый раз их перемещают в сторону поля на расстояние 20—30 м от начального положения. При последующих перестановках (II, III, IV) щиты ставят на верх снежного вала в сторону пути каждый раз, когда высота снежного вала достигает 2/3 высоты щита (рис. VI. 16).

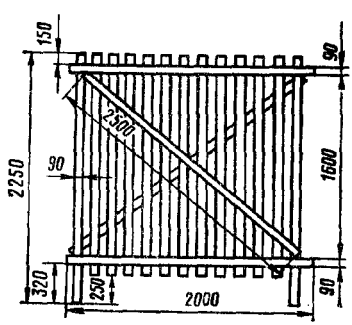


Рис. VI.15. Снегозащитный щит II типа

Снегосборность можно увеличить в 6—8 раз, если поставить двойную линию щитов, обладающую наибольшей

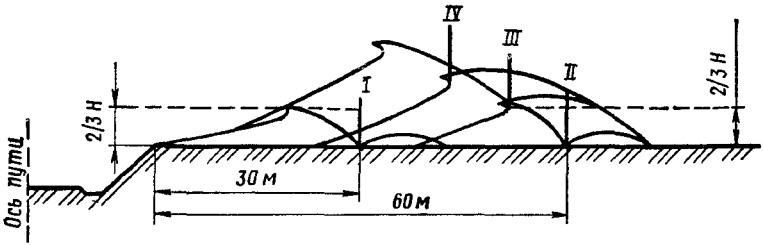


Рис. VI.16. Схема перестановки щитов по мере их заработки снегом

снегосборностью. При этом минимальный вынос снега на путь будет в случае, если первый ряд установить от оси пути на расстоянии, равном 12—15-кратной высоте щита, а второй — на расстоянии от первого, равном 20 — 24-кратной высоте щита.

В последнее время получили распространение щиты с увеличенной площадью просветов в нижней части, которые обеспечивают большую снегосборность, особенно в районах с продолжительными метелями.

Снегозащитные заборы являются надежным видом защиты пути от заносов при длительных метелях с сильными ветрами на участках, где лесные насаждения произрастать не могут. Максимальная снегосборность достигается при прямом угле между забором и направлением господствующих ветров. Если этот угол менее 30°, снегозащитные заборы малоэффективны.

Различают три типа снегозащитных заборов: с вертикальной, горизонтальной и комбинированной обшивкой. Тип обшивки существенно не влияет на работу решетчатых заборов. Однако в период таяния снег лучше скользит по вертикальной обшивке и после таяния не вызывает ее разрушений или обрывов.

На дорогах СССР строят деревянные снегозащитные заборы высотой 4,2; 5,2; 6,2 и 6,7 м и железобетонные высотой 4,6; 5,5; 6,0 м. Заборы устанавливают на расстоянии от оси пути, равном 12,5—13-кратной их высоте, при площади просветов 34—40%, и на расстоянии, равном 15-кратной высоте, при площади просветов 47%. Решетчатые заборы высотой 6,7 м имеют снегосборность до 350—400 м³/м. Заборы высотой более 6,7 м экономически нецелесообразны.

При переносе к пути в конце зимы более 400 м³/м снега выгодно строить двойные решетчатые заборы с расстоянием

Таблица VI.5

Конструкция средств снегозащиты	Количество снега за расчетную зиму, м³/м			
	< 100	101—250	251—400	> 400
Лесонасаждения:				
общая ширина лесопосадок, м	25—35	60—90	90—150	150—180
ширина лесополос, м	25—35	Полевая 15—25	Все полосы шириной 10—15	
ширина полевого интервала, м	—	До 40	35—50	35—50
то же остальных межполосных интервалов, м	—	—	20—25	20—25
Заборы и переносные щиты	1—2 ряда щитов	Забор $H=4\div5$ м, 2 ряда щитов с перестановкой	Забор $H=4$ м с щитовой линией	2 ряда заборов с щитовой линией

между ними, равным 20—24-кратной высоте забора. Двойные заборы высотой 4 м собирают до 650—700 м³/м снега, а высотой 5 м — до 1000 м³/м.

Средства защиты пути от снега выбирают в зависимости от степени заносимости (табл. VI. 5). Экономическую эффективность различных видов снеговых защит определяют среднегодовыми затратами денежных средств на 1 км ограждаемого участка.

VI.18. Организация снегоборьбы

На участках первой и второй категорий заносимости при снегопадах и метелях возможны такие большие снежные отложения, что они могут стать причиной дезорганизации движения поездов и маневровых операций на станциях.

Для очистки пути от снега на перегонах широко используются снегоочистители, а для удаления снега со станционных путей — снегоуборочные машины и средства автоматической очистки стрелок. При первых признаках появления снежных переметов по перегонным путям проезжают снегоочистители по диспетчерскому графику. Они следуют

перед графиковыми пассажирскими и грузовыми поездами (на правах восстановительного поезда).

Станционные пути очищают от снега строго поочередно. К первой очереди относятся главные, приемо-отправочные и сортировочные пути, пути отстоя пожарных и восстановительных поездов, тракционные и ходовые пути подачи локомотивов к поездам и уборки их от поездов с примыкающими стрелочными переводами. Во вторую очередь очищают пути грузовых дворов, пути ремонта и отстоя пассажирских составов, пути, ведущие к складам, мастерским. К третьей очереди относятся прочие станционные пути.

Пути первой очереди начинают очищать сразу же с момента возникновения опасности их заноса. Очистка должна быть завершена к исходу 8-го часа после окончания снегопада. Пути второй очереди очищают в течение последующих трех суток.

Снегоборьбу организуют по заранее разработанному оперативному плану, в который входят: схематическая карта ограждения заносимых участков пути; ведомости расстановки и использования снегоочистителей и других машин и механизмов; план привлечения рабочей силы и транспортных средств для очистки и уборки снега; план организации снегоборьбы по всем крупным станциям и узлам.

Схематическую карту ограждения заносимых участков составляют в масштабе 1:50 000 по длине и 1: 20 000 по ширине, указывая категории заносимости каждого места и расположение средств защиты.

В ведомости расстановки и использования техники указывают: типы механизмов, места их приписки и районы действия; порядок работы снегоочистителей на перегонах и промежуточных раздельных пунктах; состав постоянных и резервных бригад и фамилии руководителей; станции, оборудованные пневмообдувкой и электрообогревом стрелок.

Для каждой станции второго класса и выше начальник дистанции пути вместе с начальником станции разрабатывает оперативный план организации снегоборьбы. Технологические процессы очистки и уборки снега учитывают расписание движения поездов, данные технико-распорядительного акта, технологию работы каждой станции, а также снегоуборочных машин и механизмов. Сетевое планирование позволяет координировать деятельность всех служб и диспетчеризацию.

Разрабатывают три варианта технологических процессов для толщины снежного покрова 10, 20 и 30 см. Затем выбирают вариант, наиболее соответствующий фактическому отложению снега.

В плане организации работ учитывают очередность очистки путей. Для наглядности очищаемые в первую очередь пути обозначают на схеме станции, прилагаемой к оперативному плану, красным цветом, во вторую — синим, в третью — зеленым.

При очистке станций не должен нарушаться график движения поездов. Ответственность за беспрепятственный пропуск машин по установленным маршрутам несут работники станции.

В плане организации работ по очистке станции указывают: очередность, объем и порядок очистки путей, стрелочных переводов, горловин с разделением территории станции на отдельные, однородные по способу выполнения работ участки с указанием лиц, ответственных за организацию работ, как от дистанции пути, так и от станции; потребность в механизмах, подвижном составе, инвентаре и рабочей силе из расчета очистки всей территории станции и уборки снега в срок не более трех суток; расстановку машин и механизмов, порядок выезда на работу, маршруты вывозки снега и места выгрузки; пункты сбора и порядок вызова, прибытия и расстановки рабочих и автогужевого транспорта, фамилии руководителей, пункты снабжения рабочих инструментом, места отдыха и получения горячей пищи, места заправки и стоянки автомашин и др.

На каждой крупной станции полезно иметь не менее двух снегоразгрузочных тупиков, которые должны обладать достаточной снегоемкостью и быть не короче 850 м. Очистка путей станции и уборка снега ведутся в 2—3 смены.

VI.19. Снегоочистители, снегоуборочные машины и устройства для очистки стрелок

На перегонах путь от снега очищают вручную только в тех местах, где нельзя пропустить снегоочистители в рабочем положении (переезды, мосты и др.).

Наибольшее распространение получили плуговые снегоочистители СДП (рис. VI.17), предназначенные для очистки

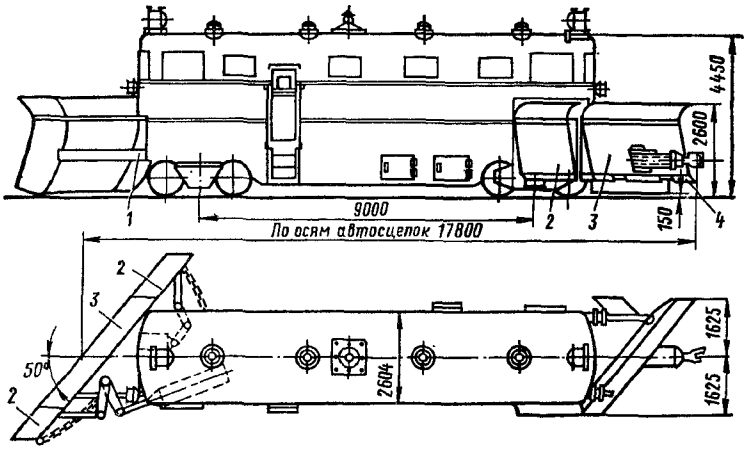


Рис. VI.17. Плуговой снегоочиститель СДП
1 — рама; *2* — крылья; *3* — передний щит; *4* — нож

пути от снега с высотой слоя до 1,5 м на двухпутных и многопутных участках при рабочей скорости до 70 км/ч. Снегоочиститель имеет цельнометаллический кузов, смонтированный на сварной раме, установленной на двух 2-осных тележках. Передний щит при закрытых крыльях позволяет даже в больших заносах пробить траншею по габариту подвижного состава. Управление машиной пневматическое и ручное. Нож в рабочем положении опускается ниже головки рельса на 50 мм.

Для расчистки снежных заносов высотой до 4,5 м используют трехроторные снегоочистители (рис. VI.18). Питатели (роторы) и подрезной нож режут снег, который под напором подается на выбросной ротор. Под действием центробежной силы вращающегося (выбросного) ротора снег выбрасывается через снегоотводящие рукава в сторону от пути до 50 м.

Снегоуборочные машины могут быть самоходные СМ-3 и СМ-4 и перемещаемые тепловозом (СМ-2 и снегоуборщик конструкции ЦНИИ). В качестве рабочего органа используются боковые крылья и щеточный ротор (СМ-4, снегоуборщик ЦНИИ) или комбинированный, в котором, кроме боковых крыльев и щеточного ротора, есть еще и подрезной нож.

В настоящее время наиболее распространены снегоуборочные поезда СМ-2. Такой поезд состоит из головной машины, двух-трех промежуточных и концевого вагонов. Общая вместимость 400—500 м^3.

Головная машина СМ-2 (рис. VI.19) представляет собой четырехосный полувагон без торцовых стенок. На раме впереди размещено заборно-очистительное устройство, состоящее из щеточного барабана-питателя и подрезного ножа с цилиндром его подъема, двух боковых крыльев с цилиндрами подъема и поворота. Машина снабжена дизельной электростанцией мощностью 200 кВт. Привод щеточного барабана-питателя, продольного транспортера, боковых щеток — электрический, а других механизмов — пневматический. Стрелочные переводы очищают при поднятом подрезном ноже и опущенном щеточном барабане. Летом машину СМ-2 используют на уборке с пути и междупутий мусора и загрязненного балласта, а также для сметания с балласта загрязнителей.

Снегоуборочная машина СМ-2 снабжена промежуточными полувагонами с кузовом вместимостью по 140 м^3, имеющими помимо основной рамы специальную, на которой смонтирован транспортер. Лента транспортера составлена из волнистых металлических пластин. Наибольшая толщина снега на ленте транспортера 1,95 м.

Концевой разгрузочный полувагон (рис. VI. 20) отличается от промежуточного наличием трех транспортеров: загрузочного, транспортера-питателя и разгрузочного, каждый из которых имеет скорость перемещения ленты в несколько раз большую, чем предыдущий. Привод транспортеров осуществляется через редукторы электродвигателями. Выбросной транспортер может поворачиваться поперек пути.

Для очистки станций от снега применяются также путевые струги, струги-снегоочистители, снегоочистители, путевые уборочные машины конструкции В. Х. Балашенко, электрические и пневматические устройства для очистки стрелок.

Электрообогреватель представляет собой трубку, в которой помещена нихромовая спираль, изолированная от трубки окисью магния, обладающей большой теплопроводностью. Количество обогревателей определяется маркой стрелочного перевода. Поверхность трубок нагревается до 350 °С, снег тает и испаряется. Питается система от источ-

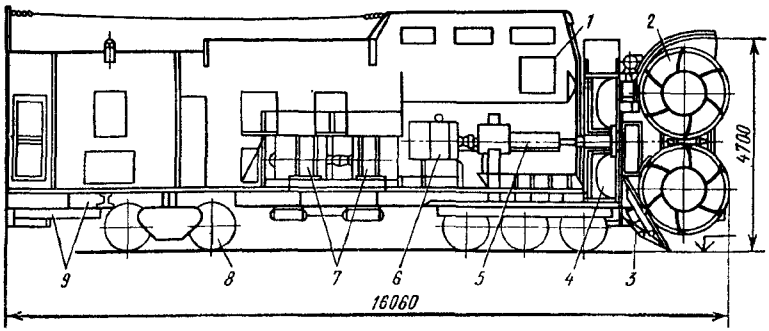


Рис. VI.18. Трехроторный электрический снегоочиститель:

1 — кабина управления; *2* — питатели (роторы); *3* — подрезной нож; *4* — выбросной ротор; *5* — вал выбросного ротора; *6* — электродвигатель; *7* — моторгенераторная группа; *8* — ходовые тележки; *9* — рама

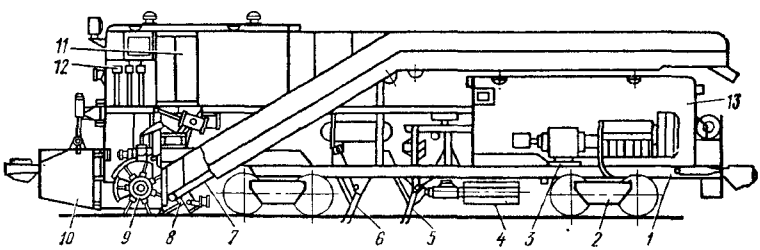


Рис. VI.19. Снегоуборочная машина СМ-2:

1 — рама; *2* — двухосные тележки; *3* — дизельная электростанция; *4* — боковые щетки; *5* — боковое льдоскалывающее устройство; *6* — среднее льдоскалывающее устройство; *7* — ленточный транспортер; *8* — подрезной нож; *9* — щеточный барабан-питатель; *10* — боковые крылья; *11* — краны управления; *12* — кабина управления; *13* — кузов машинного помещения

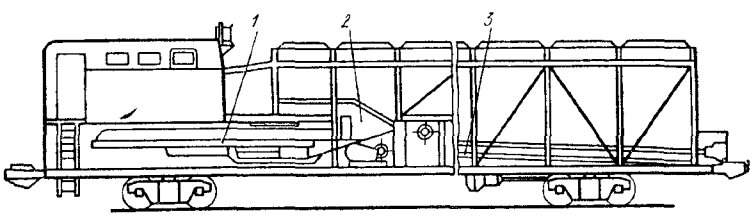


Рис. VI.20. Концевой разгрузочный полувагон снегоуборочного поезда:

1 — выгрузочный транспортер; *2* — транспортер-питатель; *3* — погрузочный транспортер

ника переменного тока напряжением 220 или 36 В. Потребляемая мощность в зависимости от климатических условий 4,5 — 10 кВт.

Пневматические устройства для очистки стрелок от снега управляются дистанционно при помощи электропневматического клапана ЭПК-64 конструкции «Гипротранссигналсвязь». Воздухопроводы к ним укладываются от компрессоров вдоль путей. Стрелка обдувается за 4—6 с. В комплекте аппаратуры управления обдувкой имеется ячейка с шаговым искателем (реле), поочередно включающая клапаны ЭПК-64 обдуваемых стрелок.

Кроме этого, используются ручные воздуходувки, представляющие собой трубу диаметром 12 мм, длиной 1—1,1 м с насаженным соплом, имеющим обдувное отверстие 30 мм^2. Посредством гибкого шланга труба подсоединяется к воздушной магистрали.

VI.20. Борьба с песчаными заносами

В районах Средней Азии, Закавказья и Астраханской области железные дороги пролегают в зонах пустынь и полупустынь, где под влиянием ветра пески перемещаются и могут занести путь.

От песчаных заносов путь защищают двумя способами. Наиболее надежный способ — посев травяной или древесной растительности на полосе шириной до 1600 м по обе стороны пути. Породы растительности подбирают по местным почвенным и климатическим условиям. Наибольшее распространение получили кустарники — саксаул, черкез, песчаная акация, гребенщики-тамариксы, шелюга и травы — песчаный овес, песчаная полынь и др.

Другой способ — установка сплошных или решетчатых заборов, щитов, защит из досок, камыша, ветвей кустарника. Принцип их работы такой же, как и при борьбе со снежными заносами. Искусственные защитные полосы выставляют на расстоянии до 50 м от пути в 1—2 ряда и более в зависимости от местных условий. Однако они не в состоянии остановить накопление песка, поэтому применяются как временная мера. Иногда поверхность песков закрепляют битумной эмульсией, а также устилочными защитами из пучков трав.

VI.21. Защита пути от размывов при паводках

Весенние и ливневые воды могут нарушить целостность земляного полотна, повредить искусственные сооружения, вызвать перерывы в движении поездов. Поэтому каждый километр пути, каждое сооружение тщательно подготавливают к таянию снега, подъему уровня воды в реках и ледоходу.

До начала таяния снега по опыту предыдущих лет устанавливают перечень опасных мест и заготавливают в этих местах кули и мешки с песком, камнем, бревна и другие материалы. При первых признаках таяния все водоотводные канавы и кюветы вскрывают, т. е. очищают от снега. Отверстия малых мостов и труб открывают, их русла очищают на длине не менее 20 м во избежание подпора воды. У мостовых опор и ледорезов скалывают лед. У насыпей и выемок, где есть опасность сплывов, откосы очищают от снега, чтобы не допустить переувлажнения грунтов.

Для предохранения откосов пойменных насыпей от ударов льдин и волн, если они не имеют надежной защитной одежды, применяют временные меры — покрывают откосы пучками фашин, камнем, кулями с песком. При начавшихся подмывах или размывах земляного полотна места разрушения забрасывают камнем, габионами, мешками с песком или грунтом.

На дистанции пути при подготовке к пропуску паводковых вод формируют поезд-летучку, состоящий из нескольких платформ с камнем, шпалами, бревнами, кулями с песком, веревками и др. и с вагонами для отдыха обслуживающего персонала.

За проходом воды и льда устанавливают непрерывный надзор, периодически промеряют русла рек в местах возможных размывов и регистрируют отметки горизонтов воды. В поймах больших рек при стеснении русла организуют бригады для подрывания льда, снабженные лодками, взрывчатыми веществами, канатами, шестами, ломами, спасательными принадлежностями.

При летних ливневых паводках возможны переполнения кюветов, водоотводных канав, подъем уровня воды в реках. Порядок пропуска ливневых вод аналогичен вышеописанному.

На период снегопадов и метелей, а также для организации пропуска паводковых вод в управлениях и отделениях

железных дорог создаются оперативные штабы, возглавляемые соответствующими начальниками. В состав штабов входят руководители предприятий, непосредственно отвечающие за организацию борьбы со стихией в пределах участка обслуживания.

Глава 6. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ В ПУТЕВОМ ХОЗЯЙСТВЕ

В СССР хозяйственная жизнь определяется и направляется планами социально-экономического развития страны. Планы железнодорожного транспорта, в том числе путевого хозяйства, являются частью единых Государственных планов. Деятельность каждого предприятия определяет производственно-финансовый план.

Главные разделы производственно-финансового плана следующие: объем работы; план эксплуатационных расходов; план по труду; план доходов и расходов по деятельности подсобных предприятий; план расходов по капитальному ремонту и капитальным вложениям; баланс доходов и расходов.

Производственная деятельность дистанции пути по эксплуатации финансируется отделением дороги, в пределах которого находится дистанция.

Капитальные работы и их объемы определяются и финансируются службой пути. Проведение инженерно-технических мероприятий на дистанциях контролирует также служба пути. Кадрами дистанции распоряжается начальник отделения дороги.

В новых условиях хозяйствования отделение дороги утверждает для дистанций пути фонд заработной платы, сумму прибыли и рентабельность. Служба пути устанавливает для дистанций объемы ремонтов пути, задание по балльной оценке, расчетную цену за объемные показатели. Остальные показатели разрабатываются на дистанциях. Для ПМС служба пути устанавливает общий объем ремонтов пути в денежном и физическом выражении.

Производственно-финансовый план разрабатывается на основании данных о наличии и состоянии устройств, обслуживаемых дистанцией пути, обоснованных норм, учитываю-

щих грузонапряженность участков, уровень механизации работ, местные условия и другие факторы.

К объемным показателям дистанций пути относятся развернутая длина главных и станционных путей, количество стрелочных переводов, протяженность искусственных сооружений, а также длина участков, на которых проводится снего-водоборьба. Качественными показателями служат балльная оценка состояния главных путей, количество отремонтированных шпал, степень выполнения задания по снижению количества и длительности предупреждений, количество дефектных рельсов и др.

Эксплуатационные расходы в путевом хозяйстве планируются по нормам на отдельные статьи установленной номенклатуры расходов с подразделением на следующие элементы затрат: заработная плата, отчисления на социальное страхование, материалы, топливо, электроэнергию, амортизацию основных фондов и прочие расходы. Эксплуатационные расходы подразделяются на основные и накладные. К основным относятся прямые затраты на текущее содержание пути и сооружений, охрану пути, на дополнительную заработную плату производственным рабочим, затраты на средства охраны труда, затраты, связанные с работой оборудования, начисления на социальное страхование, снего-водо-пескоборьбу (заработная плата, материалы и т. п.). К накладным относятся расходы на обслуживание и управление производством. Они подразделяются на общехозяйственные и административно-управленческие.

Планом по труду (штатным расписанием) устанавливается среднесписочная численность работников, годовой фонд заработной платы предприятия, среднемесячная заработная плата одного человека и уровень производительности труда.

Производственный контингент дистанции пути планируется по основным группам. Контингент по текущему содержанию рассчитывают по нормам расхода рабочей силы. Контингент работников по обслуживанию машин и механизмов определяется аналогично или по трудоемкости ремонта. Штат контор дистанции пути устанавливается по типовым штатным расписаниям для каждой группы дистанции.

Фонд заработной платы определяется численностью работников и их среднемесячной заработной платой. В путевом хозяйстве применяются две формы оплаты труда:

сдельная и повременная. Разновидности сдельной формы — прямая сдельная, сдельно-премиальная, аккордная и аккордно-премиальная. Повременная форма оплаты подразделяется на простую (по должностным окладам) и премиальную, когда помимо должностного оклада выплачиваются премии при достижении определенных показателей. Всем работникам выплачиваются надбавки по поясному коэффициенту, предусмотренному для данной местности, бригадирам—надбавки за руководство бригадой и классность, дорожным мастерам — за классность, работникам ПМС — за разъездной характер работы и др. Основа оплаты труда рабочих — тарифная система (разряды, тарифные ставки).

Одним из основных показателей для премирования монтеров, бригадиров и дорожных мастеров на дистанциях является балльность пути, которая определяется по показаниям вагона-путеизмерителя, контролирующего участок два раза в месяц.

Помимо основного и дополнительного фонда зарплаты в дистанциях пути планируют фонд заработной платы для несписочного состава, расходуемый на снего-водоборьбу.

Планом деятельности подсобных предприятий (например, мастерских) устанавливаются программа работ в денежном выражении и объемы работ по изготовлению противоугонов, пучинных карточек, текущему ремонту путевых машин, ремонту путевого инструмента и др.

По плану капитальных работ предусматривают расходы на капитальный, средний, подъемочный ремонты пути, смену рельсов, капитальный ремонт искусственных сооружений, переездов и др. на основании норм межремонтного тоннажа и сметной стоимости. Эти работы выполняются за счет амортизационных отчислений от стоимости основных фондов. Нормы амортизационных отчислений по видам основных фондов установлены отдельно на капитальный ремонт (частичное восстановление основных фондов) и на полное восстановление фондов (капитальные вложения).

В плане капитальных вложений предусматриваются затраты на капитальное строительство, приобретение и модернизацию машин и оборудования. Различают централизованные и нецентрализованные капитальные вложения. Централизованные утверждает МПС, они финансируются по Государственному плану. Нецентрализованные капи-

тальные вложения финансируются за счет средств фонда развития производства, отчислений от прибыли по фонду социально-культурных мероприятий и жилищного строительства, кредитов госбанка и местных доходов.

Баланс доходов и расходов разрабатывается на основании данных профинплана. Он включает все расходы и доходы предприятия, плановую прибыль, определяет необходимые оборотные средства, источники финансирования капитального ремонта и капитальных вложений, источники их покрытия и финансовые взаимоотношения с вышестоящей организацией.

В основе планового ведения хозяйства лежит хозяйственный расчет. Основные хозрасчетные взаимоотношения на предприятиях железнодорожного транспорта изложены в Положении о хозрасчете отделений дороги и линейных предприятий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Альбрехт В. Г., Золотарский А. Ф. Современные конструкции верхнего строения пути. М.: Транспорт, 1975 280 с.

2. Андреев Г. Е. Определение основных объемов работ текущего содержания пути.—В кн. Проблемы развития скоростного движения поездов. М.: Транспорт, 1974. 195 с.

3. Бесстыковой путь/В. Г. Альбрехт, Е. М. Бромберг, Н. Б. Зверев и др.; Под ред. В. Г. Альбрехта и Е. М. Бромберга. М.: Транспорт, 1982. 200 с.

4. Блохин К. А., Пашинин С. А. Ремонт железнодорожного пути. М.: Транспорт, 1976. 360 с.

5. Железобетонные шпалы для рельсового пути /А. Ф. Золотарский, Б. А. Евдокимов, Н. М. Исаев и др.; Под ред. А. Ф. Золотарского.М.: Транспорт, 1980. 270 с.

6. Исаев К. С., Федулов В. Ф., Щекотков Ю.М. Машинизация текущего содержания пути. М.: Транспорт, 1981. 276 с.

7. Максимов В. Г., Смыков Е. К. Укладка и смена стрелочных переводов. М.: Транспорт, 1982. 94 с.

8. Правила технической эксплуатации железных дорог Союза ССР. М.: Транспорт, 1986. 144 с.

9. Путевое хозяйство /С. М. Бельфер, Э. В. Воробьев, Л. М. Дановский и др.; Под ред. И. Б. Лехно. М.: Транспорт, 1981. 447 с.

10. Симон А. А., Путря Н. Н., Елсаков Н. Н. Современные стрелочные переводы. М.: Транспорт, 1977. 190 с.

11. Совершенствование ведения стрелочного хозяйства/ С. В. Амелин, В. И. Абросимов, Н. Н. Елсаков и др. М.: Транспорт, 1983. 238 с.

12. Устройство, ремонт и текущее содержание железнодорожного пути/С. В. Амелин, М. П. Смирнов, В. И. Рязанцев, С. М. Сильницкий. М.: Транспорт, 1981. 286 с.

13. Фришман М. А., Пономаренко Н. А., Финицкий С. И. Конструкция железнодорожного пути и его содержание. М.: Транспорт, 1980. 414 с.

14. Чернышев М. А., Крейнис З. Л. Железнодорожный путь. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Транспорт, 1985. 300 с.

15. Шахунянц Г. М. Железнодорожный путь. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Транспорт, 1969. 536 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение 3

ЧАСТЬ I. ВЕРХНЕЕ СТРОЕНИЕ ПУТИ 5

Глава 1. **Рельсы** 6

I.1. Назначение рельсов и требования к ним 6
I.2. Основные виды рельсов 7
I.3. Материал рельсов 9
I.4. Форма и размеры рельсов 11
I.5. Экономическая эффективность применения тяжелых рельсов 15
I.6. Сроки службы рельсов 17

Глава 2. **Рельсовые скрепления** 20

I.7. Назначение скреплений и требования к ним 20
I.8. Промежуточные скрепления 21
I.9. Стыки и стыковые скрепления 27

Глава 3. **Шпалы** 32

I.10. Назначение шпал и требования к ним 32
I.11. Деревянные шпалы 35
I.12. Железобетонные шпалы 38
I.13. Металлические шпалы 39

Глава 4. **Балластный слой и верхнее строение пути в целом**

I.14. Материал балластного слоя и требования к нему . . 39
I.15. Поперечные профили балластной призмы 40
I.16. Срок службы балластного слоя 43
I.17. Верхнее строение пути в целом 46

Глава 5. **Угон пути и борьба с ним** 46

I.18. Причины угона пути 46
I.19. Закрепление пути от угона 49

Глава 6. **Прогрессивные конструкции верхнего строения**

I.20. Бесстыковой путь 51
I.21. Верхнее строение с железобетонным блочным основанием 54

ЧАСТЬ II. ПРОЕКТИРОВАНИЕ И УСТРОЙСТВО РЕЛЬСОВОЙ КОЛЕИ 58

Глава 1. **Ходовые части подвижного состава. Рельсовая колея на прямых участках** 58

II.1. Особенности ходовых частей 58
II.2. Колея на прямых участках 61

Глава 2. **Рельсовая колея на кривых участках** 63

II.3. Ширина колеи 67
II.4. Возвышение наружного рельса 71
II.5. Переходные кривые 76
II.6. Укладка укороченных рельсов 80

ЧАСТЬ III. СОЕДИНЕНИЯ И ПЕРЕСЕЧЕНИЯ ПУТЕЙ

Глава 1. **Одиночные стрелочные переводы** 80

III.1. Особенности конструкции стрелочных переводов, требования к ним и виды одиночных переводов 80
III.2. Основные элементы обыкновенного стрелочного перевода и их конструкции 83
III.3. Сроки службы стрелок и крестовин 100
III.4. Определение и выбор основных размеров одиночных стрелочных переводов и компоновка их эпюр . . . 102
III.5. Стрелочные переводы для высоких скоростей движения 116

Глава 2. **Глухие пересечения** 118

III.6. Прямоугольные пересечения 118
III.7. Косоугольные пересечения 119

Глава 3. **Комбинации укладки стрелочных переводов и глухих пересечений** 122

III.8. Двойные стрелочные переводы 122
III.9. Перекрестные стрелочные переводы 124
III.10. Съезды между путями 125
III.11. Стрелочные улицы 128
III.12. Путевые поворотные устройства 131

ЧАСТЬ IV. ЗЕМЛЯНОЕ ПОЛОТНО

Глава 1. **Поперечные профили земляного полотна** . . . 133

IV.1. Общие сведения 133
IV.2. Профили насыпей 138
IV.3. Профили выемок 140
IV.4. Конструкции земляного полотна в сложных условиях 142

Глава 2. **Обеспечение стабильности земляного полотна** . . 145

IV.5. Защита земляного полотна 145
IV.6. Сбор и отвод поверхностных вод 148
IV.7. Сбор и отвод грунтовых вод 151
IV.8. Специальные способы укрепления грунтов 152

Глава 3. **Деформации земляного полотна** 153

IV.9. Классификация деформаций 153
IV.10. Деформации основной площадки 154
IV.11. Пучины 155
IV.12. Другие виды деформаций 158

ЧАСТЬ V. СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ И ВЛИЯНИЕ ИХ НА ПУТЬ

Глава 1. **Увеличение скоростей движения** 161

V.1. Перспективы повышения скоростей 161
V.2. Факторы, ограничивающие скорости движения . . . 162

Глава 2. **Условия, определяющие скорости движения** . . 164

V.3. Комфортабельность езды пассажиров 164
V.4. Безопасность движения 166
V.5. Прочность пути 167
V.6. Устойчивость бесстыкового пути 173

ЧАСТЬ VI. ОСНОВЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПУТИ

Глава 1. **Технические основы ведения путевого хозяйства и организации работ** 177

VI.1. Структура управления 177
VI.2. Классификация работ. Сроки ремонтов пути. Паспортизация 181
VI.3. Обеспечение безопасности движения поездов при производстве путевых работ 182
VI.4. Контроль за состоянием пути 183

Глава 2. **Механизация путевых работ** 188

VI.5. Основные виды машин, механизмов и инструмента . . 188
VI.6. Энергетика путевого хозяйства и подъемно-транспортные средства 196

Глава 3. **Текущее содержание пути** 198

VI.7. Планирование 198
VI.8. Объемы основных работ 200
VI.9. Организация работ 203
VI.10. Содержание бесстыкового пути 204
VI.11. Содержание стрелочных переводов, пути на искусственных сооружениях и на участках с автоблокировкой и электрической тягой 205

Глава 4. **Ремонт пути** 206

VI.12. Классификация, способы и организация работ . . 206
VI.13. Технологические процессы производства путевых работ 210
VI.14. Организация ремонта пути 211

VI.15. Выбор оптимальной продолжительности «окна» в графике движения поездов 214
VI.16. Техника безопасности при производстве путевых работ 216
Глава 5. **Защита пути от снега, песка и размывов** . . . 217
VI.17. Снегозаносимость пути и его защита 217
VI.18. Организация снегоборьбы 222
VI.19. Снегоочистители, снегоуборочные машины и устройства для очистки стрелок 224
VI.20. Борьба с песчаными заносами 228
VI.21. Защита пути от размывов при паводках 229
Глава 6. **Технико-экономические показатели в путевом хозяйстве** 230
Список литературы 233

Учебник

Степан Васильевич Амелин,
Георгий Ефимович Андреев

УСТРОЙСТВО И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ПУТИ

Переплет художника *О. М. Сорокиной*
Технический редактор *О. Н. Крайнова*
Корректор-вычитчик *Л. В. Ананьева*
Корректор *С. Ю. Свиридова*

ИБ № 3356

Сдано в набор 02.12.85. Подписано в печать 01.07.86. Т-02019
Формат 84×108 1/32. Бум. тип. № 1. Гарнитура литературная. Высокая печать. Усл. печ. л. 12,6. Усл. кр.-отт. 12,6. Уч.-изд. л. 12,67.
Тираж 18 000 экз. Заказ № 1168 Цена 85 коп. Изд. № 1-1-1/3 № 3292

Ордена «Знак Почета» издательство «Транспорт»
103064, Москва, Басманный туп., 6а

Московская типография № 4 Союзполиграфпрома
при Государственном комитете СССР
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.
129041, Москва, Б. Переяславская, 46